

Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), noviembre-diciembre 2024,
Volumen 8, Número 6.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6

ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LA INTERACCIÓN SUELO-CIMENTACIÓN EN UNA ESTRUCTURA DE ACERO-PARTE 1

**STUDY OF THE SEISMIC BEHAVIOR OF SOIL-CYMETER
INTERACTION IN A STEEL STRUCTURE**

Humberto Ramiro Morales Zuñiga

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

Wladimir José Ramírez Cabrera

Universidad Técnica de Ambato, Ecuador

Mariela Cristina Guerrero Zuñiga

Investigador Independiente, Ecuador

Alexander Daniel Morales Miranda

Investigador Independiente, Ecuador

Steven Ariel Morales Miranda

Investigador Independiente, Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i6.15293

Estudio del Comportamiento Sísmico de la Interacción Suelo-Cimentación en una Estructura de Acero-Parte 1

Humberto Ramiro Morales Zuñiga¹
morzumorales@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0003-5477-399X>
Universidad Técnica de Ambato
Ecuador

Wladimir José Ramírez Cabrera
wj.ramirez@uta.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-3478-2560>
Universidad Técnica de Ambato
Ecuador

Mariela Cristina Guerrero Zuñiga
crisguerrero13@yahoo.com
<https://orcid.org/0009-0006-3223-5316>
Investigador Independiente
Ecuador

Alexander Daniel Morales Miranda
daniel_mm95@hotmail.com
Investigador Independiente
Ecuador

Steven Ariel Morales Miranda
steven.morales.1605@gmail.com
Investigador Independiente
Ecuador

RESUMEN

Ecuador está ubicado en una zona de alta peligrosidad sísmica, por lo que amerita realizar un análisis técnico integral que permita determinar la respuesta favorable de la edificación ante un evento dinámico. Se analizaron los factores que intervienen en la interacción dinámica suelo-estructura como aceleraciones, velocidades, desplazamientos, la relación que existe entre ellas y las variaciones en el periodo fundamental de la estructura al considerar la flexibilidad del suelo de fundación. Para lo cual mediante el uso de resortes y amortiguadores (funciones de impedancia) que representan la respuesta dinámica del sistema IDSE en base al modelo de Barkan y la NEC-15, se determinó el incremento de la flexibilidad en la base de fundación del modelo de interacción suelo-estructura, con respecto al modelo de base rígida en un suelo tipo D, por medio de la simulación dinámica. Como consecuencia del presente se obtuvo un adecuado comportamiento de la cimentación de la estructura la cual fue sometida a las sollicitaciones de cargas inicialmente planteadas. Los resultados del presente estudio pueden ser empleados para mejorar las técnicas de construcción, además, de proporcionar información relevante a los profesionales del campo ingenieril sobre la interacción suelo-cimentación de las estructuras. Con la finalidad de ampliar el análisis de las condiciones antes mencionadas se pueden incluir en futuras investigaciones un análisis del comportamiento suelo-estructura.

Palabras clave: interacción, impedancia, respuesta estructural, periodo fundamental, flexibilidad del suelo

¹ Autor principal
Correspondencia: morzumorales@hotmail.com

Study of the Seismic Behavior of soil-Cymeter Interaction in a Steel Structure

ABSTRACT

Ecuador is located in a zone of high seismic hazard, which merits a comprehensive technical analysis to determine the favorable response of the building to a dynamic event. The factors involved in the dynamic soil-structure interaction were analyzed, such as accelerations, velocities, displacements, the relationship between them and the variations in the fundamental period of the structure when considering the flexibility of the foundation soil. For which, through the use of springs and dampers (impedance functions) that represent the dynamic response of the IDSE system based on the Barkan model and the NEC-15, the increase of the flexibility in the foundation base of the soil-structure interaction model, with respect to the rigid base model in a type D soil, was determined by means of dynamic simulation. As a consequence of the present study, an adequate behavior of the foundation of the structure was obtained, which was subjected to the load solicitations initially proposed. The results of the present study can be used to improve construction techniques, in addition to providing relevant information to professionals in the engineering field on the soil-foundation interaction of structures. To extend the analysis of the conditions, an analysis of the soil-structure behavior can be included in future research.

Keywords: interaction, impedance, structural response, fundamental period, soil flexibility

*Artículo recibido 18 noviembre 2024
Aceptado para publicación: 23 diciembre 2024*



INTRODUCCIÓN

La respuesta dinámica de las estructuras depende de diversos factores, las propiedades de las estructuras, las tipologías de la excitación, entre otras. Se le llama interacción dinámica suelo- estructura (IDSE) a los cambios que se generan tanto en el movimiento del terreno, así como en la respuesta dinámica de la superestructura debidas a la baja rigidez relativa del sistema suelo-cimentación, respecto a la rigidez de la estructura.

En este caso, se trata de una respuesta dinámica, es decir, las amplitudes de deformaciones y rigidez dinámicas que en este caso son muy elevadas respecto a los coeficientes de rigidez estática que en algunos casos pueden ser muy parecidas, pero además se entenderá que el sismo tenga una forma u otra, y resulta que, también cambiará la forma del resorte, es decir, estos coeficientes de rigidez dependerán de la frecuencia de vibración o de las características del movimiento de entrada y se conocerá la respuesta de la base de la edificación. Al estudiar el comportamiento sísmico de estructuras, los efectos cinemáticos y de inercia ligados a la IDSE afectan a las características dinámicas del sistema e influyen en el movimiento del suelo alrededor de la cimentación.

Se deberá considerar en el diseño de los elementos que comprenden la cimentación, las cargas totales, ya sean permanentes o transitorias, durante la vida útil de la estructura, las mismas que se conecten directamente con el suelo de fundación y la estructura de acero. Al introducir los factores de reducción por cargas sísmicas (R) y los coeficientes de balasto, los cortantes basales son afectados de acuerdo al tipo de suelo. Aquí también se debe considerar que la soldadura, el empernado y remachado son medios de unión muy utilizados en todo tipo de conexiones por sus ventajas [1].

En los análisis, las propiedades del sistema suelo - cimentación se consideraron a través de funciones de impedancia. Las funciones son dependientes de la frecuencia de la excitación ω y se modelan como resortes y amortiguadores equivalentes a las propiedades mecánicas del suelo [9].

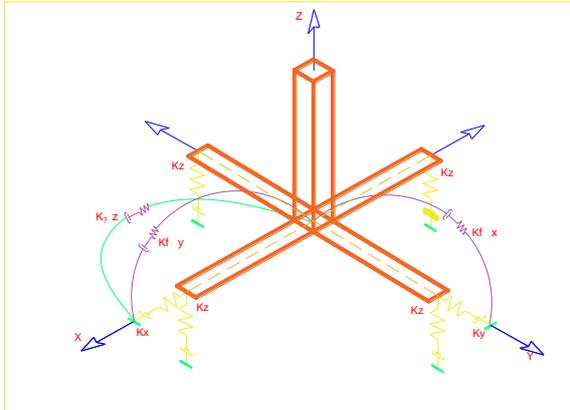
La flexibilidad de la base se introduce mediante el uso de un conjunto de muelles distribuidos a lo largo de los cimientos. Las constantes de los muelles se calculan con el concepto de rigidez dinámica (función de impedancia). Este enfoque considera la influencia de la masa y la rigidez del suelo, por lo que la rigidez dinámica del sistema suelo-cimentación depende de la frecuencia de la excitación [12].



Modelo dinámico de interacción sísmica suelo-cimentación superficial-superestructura.

Los objetivos esenciales en los modelos dinámicos de interacción suelo-cimentación-estructura es determinar tanto las rigideces como amortiguamientos del suelo, como se describe en la Figura 1.

Figura 1. Modelo dinámico de interacción sísmica suelo-cimentación superficial-superestructura [13]



Los efectos IDSE se clasifican en :

- Interacción inercial.
- Efectos de interacción cinemática.
- Efectos de flexibilidad de los cimientos del suelo.

Los términos interacción cinemática e inercial fueron introducidos en 1975 por Robert Whitman [15].

En el contexto de análisis y diseño de ingeniería, estos efectos están relacionados con:

- Rigidez y amortiguación de los cimientos.
- Variaciones entre los movimientos de entrada(*input motions*) de los cimientos y los movimientos del terreno(*ground motion*) en campo libre.
- Deformaciones de los cimientos.

Para el diseño estructural se basó en las normas que rigen en Ecuador:

- La NEC-SE-DS (Norma Ecuatoriana de la Construcción)
- Código ACI-318
- ASTM A615-68
- Estructura metálica se utilizó la NEC-2015 y AISC 360-16

METODOLOGÍA

El tipo de investigación fue experimental, correlacional, analítico y un estudio de intervención con un enfoque cuantitativo, por cuanto se determinó la interacción suelo-cimentación en una estructura metálica representativa bajo un diseño de cimentación adecuada.

DESARROLLO

Modelo de base rígida

- Modelar la estructura en el software aplicativo acorde a los planos arquitectónicos.
- Definir cargas y combinaciones con base en lo cuantificado y a la normativa.
- Obtener la respuesta estructural del análisis lineal en base a la NEC-15 considerando un modelo tradicional de base rígida.
- Analizar los resultados obtenidos del modelo de base rígida.

Modelos de Interacción Suelo-Estructura (IDSE)

- Modelar la estructura en el software aplicativo acorde con los planos arquitectónicos.
- Definir cargas y combinaciones con base en lo cuantificado y a la normativa.
- Obtener la respuesta estructural de cada modelo del análisis lineal en base a la NEC-15 [22] considerando una base flexible (interacción suelo-estructura).
- Analizar los resultados obtenidos con los modelos de IDSE considerados.

Características del suelo

Los suelos en la ciudad de Ambato son de diferentes tipos, el estudio se basó en memoria técnica que contempla un estudio geotécnico puntual de los estratos de implantación de la cimentación proyectada; abarca la clasificación SUCS de todos los estratos encontrados, las características hidrogeológicas (nivel freático), los registros de perforación, y la determinación de capacidades portantes y asentamientos para los diferentes tipos de cimentación en función de la profundidad. Así también, el estudio recomienda un diseño de cimentación acorde a las solicitudes aproximadas, con las secciones mínimas y consideraciones puntuales de uso de mejoramiento en casos que lo amerite.

Ensayos de laboratorio

Se recopiló la información técnica del proyecto, esto corresponde a los estudios de suelos de la zona de ejecución del diseño. Su resistencia al nivel de cimentación $h = - 2,00$ a partir de la boca el sondeo, tiene



un valor máximo de $q_{adm} = 1,56 \text{ kg/cm}^2$ ($156,00 \text{ KN/m}^2$), por lo que se puede asumir un q_{adm} . $1,50 \text{ kg/cm}^2$.

Análisis sismo tectónico

Las evaluaciones realizadas por la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS 2015), zonifican al País en función de la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño. Según esa zonificación, el área del proyecto se encuentra en zona sísmica V en la cual se aplica un factor sísmico de 0,4g. El número de golpes promediado calculado está entre 15 a 50, lo que equivale a un suelo tipo D. El sitio del proyecto se ubica en la zona V por lo que los Factores de amplificación dinámica del sitio, se presentan en la siguiente Tabla 2.

Tabla 2. Coeficiente de amplificación dinámica [22].

Tipo De Suelo	Zona Sísmica	Z	Fa	Fd	Fs
D	V	0,4	1,2	1,19	1,28

Cota de cimentación

Previo al desplante del cimiento se compactará con equipo mecánico (plancha vibro compactadora, sapo, rodillo, etc.) con una energía de compactación equivalente al proctor modificado y cuyo porcentaje de compactación mínimo a alcanzar será al 90 %, y se controlarán mediante pruebas de compactación en sitio. Para evitar asentamientos variables se debe colocar material de mejoramiento tipo subbase clase 2, 20 cm en una capa, al 95 % de AASTHO T -180.

Características de la cimentación

1. Tipo de cimentación: Zapata aislada
2. Estrato de apoyo de la cimentación: SM Arena limosa densa.
3. Profundidad de la cimentación: -2,00 m hacia abajo medido desde la boca del sondeo P1, P2 y P3.
4. Presión admisible del terreno natural: $1,50 \text{ Kg/cm}^2$ ($150,0 \text{ KN/m}^2$).
5. Mejoramiento suelo 50 cm entre -2,50 – 2,00 m, con subbase clase 2.
6. Factor de seguridad: $FS=3,0$
7. Asentamiento máximo 2,50 cm.
8. Coeficiente de balasto $1,40 \text{ Kg/cm}^3$.
9. Angulo de fricción interna 27° .



Cargas gravitacionales

Para el cálculo de las cargas que serán ingresadas a la estructura se ha realizado un análisis del peso de las losas, mamposterías, acabados y carga viva, basados en las cargas establecidas por el código vigente, de acuerdo a los planos arquitectónicos.

Carga muerta

La carga muerta será considerada todos los pesos fijos de la estructura tales como peso propio de los elementos estructurales, pesos de las mamposterías, acabados e instalaciones.

El peso propio de los elementos los determina el programa automáticamente por la condición de la carga *DEAD* que tiene el programa de diseño, la cual determina automáticamente esta condición.

La sobrecarga por paredes y demás calculada para este proyecto es de 260,0 kg/m².

Carga viva

La carga viva para el presente proyecto será de 200,0 kg/m² como nos determina la normativa vigente para vivienda según lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción en el capítulo de Cargas Gravitacionales

Irregularidades de la estructura

Las irregularidades de la estructura se determinaron según lo expuesto en la NEC-SEDS literal 5.2.3. En el caso de estructuras irregulares se usarán los coeficientes de configuración estructural que “penalizan” al edificio con la finalidad de tener en cuenta la irregularidad, responsable de un comportamiento estructural deficiente ante la ocurrencia de un sismo.

Irregularidad en planta

La irregular en planta de Tipo 2. Retrocesos excesivos en las esquinas, menciona que un entrante en una esquina se considera excesivo cuando las proyecciones de la estructura, a ambos lados del entrante, son mayores que el 15% de la dimensión de la planta de la estructura en la dirección del entrante [9].

Es decir, se tiene que cumplir que: $A > 0.15B$ y $C > 0.15$

Irregularidad en elevación

La edificación presenta irregularidades en elevación geométricas y de masas. Se penaliza y se asigna el valor de $\phi_e = 0.9$



Variables de respuesta o resultados esperados

La estructura de acero podrá ser relacionada con un análisis profundo basado en el modelo matemático, considerando los factores de diseño, logrando entender el comportamiento estructural y su relación directa suelo-estructura con base en un diseño de cimentación adecuada, de esta forma se comprobará que los períodos de vibración del suelo con relación a los de la estructura serán distintos y de esta forma no entren en resonancia, caso contrario conllevaría al fallo inmediato de la misma.

Análisis lineal de la estructura

Para analizar la estructura en su rango lineal se ha utilizado el software de modelación estructural, se manejó de acuerdo a la reglamentación de la NEC-15 , ACSE y AISC, se realizó el prediseño usando hojas de cálculo en Excel hasta obtener la memoria de cálculo, se determinó las cargas de acuerdo a las sollicitaciones de la norma NEC-15 [22], se definió los materiales según las especificaciones, las secciones de los elementos, se determinó el cortante basal estático, se calculó y definió el espectro de respuesta sísmico con base en la norma NEC-15 [22].

Definición de materiales

Para la modelación de la estructura en estudio es preciso definir de los materiales con sus respectivas características en el software.

Estos materiales se resumen a continuación:

Tabla 3. Propiedades del Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$ [24].

	Módulo de elasticidad	Relación de Poisson	Esfuerzo a la compresión
Hormigón $f'c = 240 \text{ kg/cm}^2$.	253456	0.2	240 kg/cm^2 .

Tabla 4. Propiedades del Acero de refuerzo ASTM – A615 [24].

Material	Módulo de elasticidad	Relación de Poisson	Esfuerzo a la tensión	Esfuerzo a la fluencia mínimo	Alargamiento %
Acero de refuerzo ASTM A615.	2038901 kg/cm^2	0.28	6327 kg/cm^2	4218 Kg/cm^2	En 200 mm: 14%.

Tabla 5. Propiedades del Acero ASTM A992 Gr 50 [24].

Material	Módulo de elasticidad	Relación de Poisson	Esfuerzo a la tensión	Esfuerzo a la fluencia	Alargamiento %
Perfiles de acero ASTM A992 Gr 50	2111000 kg/cm ²	0.3	4588 kg/cm ²	3518 kg/cm ²	En 50 mm (2''): 21%

Definición de secciones

Se definen las secciones de columna de hormigón armado, columnas de acero, secciones de vigas tipo I, muros, placas base.

Asignación de cargas gravitacionales

Se asignan las cargas actuantes correspondientes a sobrecarga y cargas vivas respectivamente.

Asignación de cargas dinámicas

Se asignan las fuerzas externas de magnitud variable, este tipo de cargas son los fenómenos naturales: un sismo, etc.

a. Definición del cortante basal estático

Se calcula el periodo de vibración aproximado de la estructura definido por el método 1 establecido en la NEC-SE-DS [22].

$$T = C_t * h_n^\alpha$$

Donde:

T = Período fundamental de vibración de la estructura.

C_t = Coeficiente que depende del tipo de edificio.

h_n = Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura.

α = Impedancia del semi espacio.

$$T = 0,321 s$$

Para este periodo de vibración de $T = 0,321 s$, se calcula la aceleración $S_a = 1,1904g$, mediante una hoja de cálculo mostrado en la figura 2.



Figura 2. Cálculo de la aceleración.

CÁLCULO DE ACELERACIÓN					
			$T_o = 0.10 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$		$T_c = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$
			NEC 2015		ESTUDIO DE SUELOS
		Fa=	1,20		1,2
		Fd=	1,19		1,19
		Fs=	1,28		1,28
		To=	0,13		0,127 seg
		Tc=	0,70		0,698 seg
			$S_a = \eta * Z * F_a$		PARA $0 \leq T \leq T_c$
			$S_a = \eta * Z * \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$		PARA $T \geq T_c$
		$\eta =$	2,48		
		$r =$	1		
			Sa=	1,1904	Sec. 3.3.1

Una vez definidos todos los parámetros se procede a calcular el valor del coeficiente para el método estático C :

$$C = \frac{I * S_a}{R * \phi_p * \phi_e} \quad C = 0.2449$$

Este coeficiente se ingresa en el software [24], en las direcciones X y Y para definir el cortante basal.

b. Acción sísmica

Espectro de respuesta sísmico

El espectro es cargado al software.

c. Corrección de cortante basal Estático y Dinámico

A continuación, se realiza la corrección del cortante basal estático y cortante basal dinámico. Se calcula el valor del cortante en base al peso reactivo de la estructura y el coeficiente basal con un valor de 0.244, para las direcciones X, Y. Los valores pueden cambiar según el sistema estructural.

e. Modificación de la masa participativa para el sismo

La masa participativa que esta debajo del suelo se mueve junto con el suelo, mientras que la masa participativa que está por encima del suelo vibra producto del sismo como el péndulo invertido [30].

f. Ajustes al modelo [30]

La discretización nos ayuda a obtener resultados más cercanos a la realidad [30].

Modelo de base rígida

El modelo común de diseño de base rígida con empotramientos en las bases de las columnas, se restringen las traslaciones y rotaciones en estos puntos base de la estructura.



a. Periodo de vibración

Se realizó un análisis modal [24], para obtener el valor del periodo de vibración de la estructura.

Tabla 6. Valores de periodos [24].

Resultados de valores de periodos					
Case	Mode	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
		sec	cyc/sec	rad/sec	rad ² /sec ²
Modal	1	0,402	2,485	15,617	243,883
Modal	2	0,38	2,631	16,529	273,213
Modal	3	0,296	3,379	21,232	450,801

b. Derivas base rígida-dinámico.

Una vez ejecutado el programa [24] nos presenta los resultados de derivas dinámicas tanto en x como en y, el cual se muestran en las Figuras 3, 4 y Tablas 7 y 8.

Tabla 7. Valores de derivas en eje x [24].

Derivas eje sentido x						
Story	Elevation	Location	X-Dir	Porcentaje	Y-Dir	Porcentaje
Story7	7,2	Top	0,003131	1,409%	0,0014	0,652%
		Máxima		1,409%	Máxima	0,652%
Permisible		2,00%	Conclusión			Cumple

Figura 3. Derivas en eje x [24].

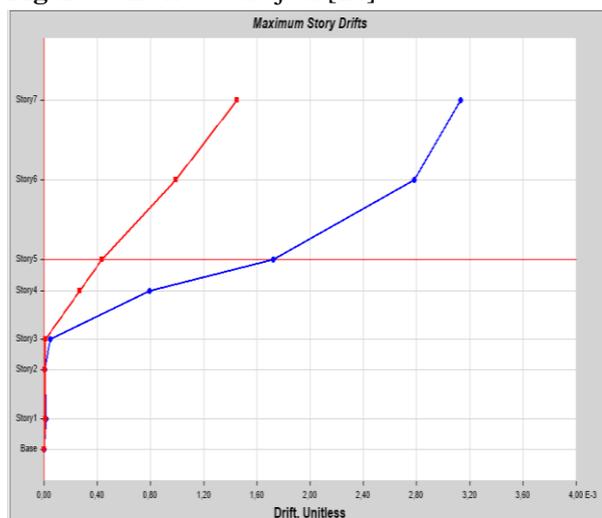
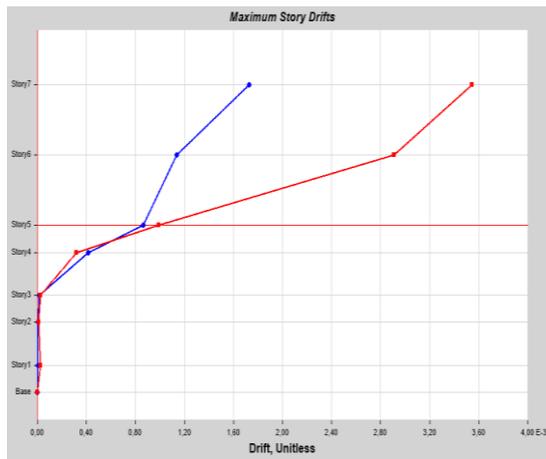


Tabla 8. Valores de derivas en eje y [24].

Derivas eje sentido y						
Story	Elevation	Location	X-Dir	Porcentaje	Y-Dir	Porcentaje
Story7	7,2	Top	0,0017272	0,78%	0,0035439	1,60%
Máxima				0,78%	Máxima	1,60%
Permisible		2,00%	Conclusión		Cumple	

Figura 4. Derivas en eje Y [24].



c. Desplazamientos base rígida.

Una vez ejecutado el programa [24] nos presenta los resultados de desplazamientos dinámicos tanto en x e y, el cual se muestran a continuación en las Tablas 9 y 10.

Tabla 9. Desplazamientos en x [24]

Story	Elevation	Location	X-DIR	Y-DIR
Piso 7	7,2	Top	0,0229	0,0083
Máxima			0,0229	0,0083

Tabla 10. Desplazamientos en y [24]

Story	Elevation	Location	X-Dir	Y-Dir
Piso 7	7,2	Top	0,0107	0,0208
Máxima			0,0107	0,0208

d. Elementos estructurales columnas

La superestructura será metálica conformada de columnas tipo cajón, de secciones 25x25x0,8mm y 30x30x1,0cm, se chequeó columna fuerte viga-débil con la columna de mayor Luz 9,40 metros.

e. Elementos estructurales vigas

De acuerdo a las especificaciones parte de la estructura metálica están conformadas de vigas tipo I de sección compacta o sísmica, elaboradas en taller y que cumplen con las condiciones mínimas de la AISC 360 para la fabricación de los mismos. Serán unidas con el proceso SMAW, electrodo E70-18, cordón continuo, deberá respetar las especificaciones de la norma AWS D 1.1 y el uso de WPS, WPQ y PQR para soldadura durante el armado y montaje de estructura.

f. Elementos estructurales losas

Se utilizó placas de acero galvanizado con relieves en su superficie que es utilizada como losa de acero de entrepiso y para losa cubierta. Se utilizó conectores de cortante para lograr resultados de viga compuesta y aumentar la capacidad propia de la losa colaborante.

g. Elementos estructurales Placa base

En el diseño de la placa base se utilizó la Norma AISC 2005 (*American Institute of Steel Construction*); que es un código de práctica estándar para los edificios y puentes de acero. Placa base para columna más crítica de 300x300 será de 500x500x25, mientras que para el resto de las columnas será de 500x500x19.

Detalle de elementos estructurales, conexiones precalificadas

Tanto para el armado de elementos estructurales ya sean columnas, vigas, placas base, gradas, conexiones ya sean diseñadas o conexiones precalificadas, procesos de montaje, etc.; se deberán tomar en consideración las normas establecidas particulares para cada caso, y lograr obtener estructuras seguras, y sobre todo versatilizar el tiempo, disminuir costos de operación y mano de obra.

Modelo de interacción suelo – estructura por BARKAN

La interacción modifica las propiedades dinámicas relevantes que tendría la estructura supuesta con base indeformable, como por ejemplo el periodo fundamental, así como las características del movimiento del suelo en la vecindad de la cimentación. Se modela la edificación teniendo en cuenta la interacción suelo – estructura, para lo cual se implementaron el modelo dinámico desarrollado por Barkan [23] y [34] y se consideró lo recomendado por la norma ASCE 41-17. En el presente trabajo, se calcularon los coeficientes de rigidez del suelo en las direcciones X, Y, Z, y además alrededor de los



ejes X, Y, restringiendo el giro alrededor del eje Z. Se tienen las características del suelo de fundación, como se describe en la Tabla 11.

Tabla 11. Características del suelo de fundación [24].

Tipo de suelo	Arena limosa (ML)		
Perfil del suelo	D		
Capacidad admisible	q_a	15	Tn/m ²
Densidad del suelo	ρ	1.733	Tn/m ³
Coefficiente de Poisson del suelo	μ	0,4	
Módulo de elasticidad del suelo	E	40	MPa
Ángulo de fricción del suelo	ϕ	27	grados

a. Cálculo de las masas de las zapatas aisladas

En la interacción suelo-estructura la cimentación debe ser descrita como una masa puntual en el centro de gravedad de la zapata aislada. Se presenta los tres niveles de la estructura. Se describen las dimensiones de las zapatas aisladas, como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12. Zapatas aisladas.

Zapata	A (m)	B (m)	H (m)
Central	2,10	2,10	0,40

Para el cálculo de masas de rotación y traslación se utilizan las siguientes expresiones:

Masa de traslación (M_T):

$$M_T = M_x = M_y = M_z = \frac{P_{zapata}}{g}$$

Masa de rotación:

$$M_{Rx} = M_T \left(\frac{H}{2} \right)^2 + \frac{M_T (B^2 + H^2)}{12}$$

$$M_{Ry} = M_T \left(\frac{H}{2} \right)^2 + \frac{M_T (A^2 + H^2)}{12}$$

$$M_{Rz} = \frac{M_T (A^2 + B^2)}{12}$$

Tabla 13. Masas de las zapatas.

Zapata	Traslación		Rotación	
	$M_T (T*s^2/m)$	$M_{R_x} (T*s^2/m)$	$M_{R_y} (T*s^2/m)$	$M_{R_z} (T*s^2/m)$
Central	0,43156	0,18161	0,18161	0,31720

b. Cálculo de coeficientes de rigidez – Modelo de Barkan [23]-Suelo tipo D

Se determina la presión estática (ρ), para cada una de las zapatas de la estructura mediante la expresión:

$$\rho = \frac{P_{u+} P_{zapata}}{A_{zapata}}$$

El nivel de cimentación es -1,40 m, y se considera el peso de la columneta para el cálculo de la presión estática(ρ), para columnas de acero.

$$P_{col} = \gamma_{hormigón} * Vol$$

El peso de la zapata se calcula con la siguiente expresión:

$$P_{zapata} = \gamma_{hormigón} * Vol$$

La presión estática para cada una de las zapatas del modelo estructural. El coeficiente de balasto vertical sin amplificar C_0 , Barkan [23] lo obtuvo experimentalmente luego varios ensayos, para arenas de grano fino, mediano y grueso e independientes de su densidad y humedad con un valor de $C_0 = 1,8 \text{ kg/cm}^3$, de acuerdo con la Figura 5.

Figura 5. Valores del coeficiente C_0 cuando, $\rho_0 = 0,2 \text{ kg / cm} [23]$.

Tipo de perfil	Característica de la base de fundación	Suelo	$C_0(\text{kg / cm}^3)$
S1	Roca o suelos muy rígidos	Arcilla y arena arcillosa dura ($I_L < 0$)	3,0
		Arena compacta ($I_L < 0$)	2,2
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa	2,6
S2	Suelos intermedios	Arcilla y arena arcillosa plástica ($0,25 < I_L \leq 0,5$)	2,0
		Arena plástica ($0 < I_L \leq 0,5$)	1,6
		Arena polvorosa medio densa y densa ($e \leq 0,80$)	1,4
		Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de su densidad y humedad	1,8
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad ($0,5 < I_L \leq 0,75$)	0,8
		Arena plástica ($0,5 < I_L \leq 1$)	1,0
		Arenas polvorosa, saturada, porosa ($e > 0,80$)	1,2
S4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda ($I_L > 0,75$)	0,6
		Arena movediza ($I_L > 1$)	0,6

Se determina el coeficiente D_0 , mediante la hoja de cálculo, y se presenta en la Tabla 14, con un valor



de $\mu = 0.4$ coeficiente de Poisson.

$$D_0 = \frac{1 - \mu}{1 - 0,5\mu} * C_0$$

Tabla 14. Cálculo del coeficiente d0.

$\mu =$	0,4	
$C_0 =$	1,8	Kg/cm ³
$D_0 =$	1,35	Kg/cm ³
$\Delta =$	0,01	cm
$\rho_0 =$	0,2	Kg/cm ²

Posteriormente, se calculan los coeficientes de compresión por medio de las ecuaciones del modelo de Barkan [23], y se presentan en las Tablas 4-14, 4-15 y 4-16.

$$C_x = D_0 \left[1 + \frac{2(A + B)}{\Delta * A_{zapata}} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_z = C_0 \left[1 + \frac{2(A + B)}{\Delta * A_{zapata}} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$$C_\varphi = C_0 \left[1 + \frac{2(A + 3B)}{\Delta * A_{zapata}} \right] \cdot \sqrt{\frac{\rho}{\rho_0}}$$

$\Delta =$ Coeficiente empírico, asumido para cálculos prácticos igual a $\Delta = 0.01 \text{ cm} = 1 \text{ m}^{-1}$.

Luego, los coeficientes de rigidez equivalentes se calculan por medio de las siguientes expresiones del modelo de Barkan [23].

$$K_x = C_x \cdot A_{zapata}$$

$$K_z = C_z \cdot A_{zapata}$$

$$K_\varphi = C_\varphi \cdot I_{inercia}$$

Tabla 15. Coeficientes de rigidez equivalentes subsuelo 1.

Subsuelo 1 Cimentación					
LABEL		Kx=Ky	Kz	K_{φx}	K_{φy}
ETABS	Zapata	(Tn/m)	(Tn/m)	(Tn/m)	(Tn/m)
C34	D4	52618,23	70157,65	116162,66	116162,66



Con respecto al coeficiente de rigidez equivalente para el eje Z, el modelo de Barkan [23] restringe la rotación en Z, por esta razón no se determina y se restringe el giro en Z en la modelación de la edificación.

c. Definición de zapatas

El modelo de interacción suelo-estructura Barkan [23] considera la cimentación como infinitamente rígida Genner Villareal [23] recomienda usar un módulo de elasticidad del material igual a $9 \times 10^8 \text{ Tn/m}^2$ y un coeficiente de Poisson igual a 0.05.

d. Definición de secciones de las zapatas

Teniendo definido el material de las zapatas, se procede a asignar las secciones determinadas por el diseño estructural de la edificación en estudio.

e. Definición de coeficientes de rigidez

Primeramente, se procede a la asignación de las masas de las zapatas calculadas previamente. Luego, se ingresan los coeficientes de rigidez calculados anteriormente, de acuerdo al modelo de Barkan [23].

Modelo de interacción Suelo-Estructura por Artur Pais & Eduardo Kausel

Las formulaciones de Artur País & Kausel, se determinan por la incorporación en los modelos de valores de rigidez equivalente en el cálculo intervienen factores propios de la cimentación y del suelo. La rigidez y el amortiguamiento de la ISE, son representadas usando las funciones de impedancia comparativamente simples o a través de una serie de resortes y amortiguadores. Las presentes rigideces consideran características como las dimensiones de la cimentación, el módulo de cortante del suelo, el coeficiente de Poisson y los factores de corrección por profundidad de cimentación y por rigidez dinámica, ofreciendo una apropiada aproximación al problema. [28].

a. Funciones de impedancia

Las funciones de impedancia se definen como la relación en estado estacionario entre la fuerza para una orientación rígida sin masa y excitada armónicamente [26]. Las ecuaciones consideran la frecuencia de interacción suelo-cimentación -estructura. A la presencia de un terremoto las fuerzas inerciales de la superestructura y cimentación se activan generándose traslaciones y giros en la cimentación, la misma que termina convirtiéndose en una fuente de amortiguación de la estructura [26].

Se calculan las rigideces elásticas y los factores de corrección para las rigideces estáticas.



Tabla 16. Ingreso de datos.

Ingreso de datos			
Ancho cimentación	B	2,1	m
Largo cimentación	L	2,1	m
Módulo de Poisson	ν	0,4	
Velocidad de corte	V_s	180	m/s
Peso específico	γ	17	KN/m ³
Módulo de elasticidad	E_s	4800	t/m ²
Valor de la gravedad	g	9,807	m/s ²
Profundidad de desplante	D	1,4	m
Espesor de la zapata	d_w	0,4	m
Profundidad desde el centroide de la zapata hasta el nivel del suelo	z_w	1,2	m
Frecuencia de vibración natural no amortiguada	w	32,04	rad/seg
($w.B$) / V_s	a_o	0,373	
mayor 2.5	ψ	2,449	
Área de zapata	A_w	6,72	m ²
Cortante de suelo máx.	$G_{máx}$	56163,96	Mpa
Modulo dinámico de corte efectivo obtenido como % de $G_{máx}$.	G	28081,982	Mpa

Tabla 17. Resultados de valores de rigideces elásticas.

Rigideces elásticas			
Traslación eje z	K_z	461948,61	KN/m
Traslación eje y	K_y	339089,94	KN/m
Traslación eje x	K_x	339089,94	KN/m
Torsión eje z	K_{zz}	2161158,75	KN.m/rad
Rotación eje y	K_{yy}	1733781,58	KN.m/rad
Rotación eje x	K_{xx}	1733781,58	KN.m/rad

Tabla 18. Resultados de valores de factores de corrección para las rigideces estáticas.

Factores de corrección para las rigideces estáticas		
Traslación eje z	n_z	1,271
Traslación eje y	n_y	2,207
Traslación eje x	n_x	2,207
Torsión eje z	n_{zz}	2,819
Rotación eje y	n_{yy}	2,193
Rotación eje x	n_{xx}	2,193

Se determinan los modificadores de rigidez dinámica y amortiguamiento por radiación de las ondas para cimentaciones, como se muestran en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de valores de modificadores de rigidez dinámica y amortiguamiento por radiación de ondas para cimentaciones

Modificadores de rigidez dinámica		
Traslación eje z	αz	0,993
Traslación eje y	αy	1,000
Traslación eje x	αx	1,000
Torsión eje z	αzz	0,951
Rotación eje y	αyy	0,964
Rotación eje x	αxx	0,964
Amortiguación por radiación		
Traslación eje z	βz	0,235
Traslación eje y	βy	0,130
Traslación eje x	βx	0,130
Torsión eje z	βzz	0,006
Rotación eje y	βyy	0,006
Rotación eje x	βxx	0,006

Se calcula los modificadores de rigidez dinámica por radiación de las ondas para cimentaciones embebidas

Tabla 20. Resultados de valores de modificadores de rigidez dinámica por radiación de ondas para cimentaciones embebidas.

Modificadores de rigidez dinámica por radiación de ondas para cimentaciones embebidas		
Traslación eje z	βz_{emb}	0,288
Traslación eje y	βy_{emb}	0,194
Traslación eje x	βx_{emb}	0,194
Torsión eje z	βzz_{emb}	0,010
Rotación eje y	βyy_{emb}	0,027
Rotación eje x	βxx_{emb}	0,031

Tabla 21. Resultados de valores de coeficientes de amortiguamiento por radiación de ondas para cimentaciones embebidas.

Coeficientes de amortiguamiento		
Cz	8230,84	seg*KN/m
Cy	3810,22	seg*KN/m
Cx	3810,22	seg*KN/m
Czz	7516,60	m ² seg*KN/m
Cyy	6098,92	m ² seg*KN/m
Cxx	6098,92	m ² seg*KN/m

Calculo de los factores de rigidez y amortiguamiento corregidos por embebido, como se muestran en las Tablas 22 y 23.

Tabla 22. Resultados de valores de modificadores de rigidez dinámica y amortiguamiento por radiación de ondas para cimentaciones embebidas.

Rigideces equivalentes por efectos de embebido (Según factores de amortiguamiento de Pais y Kausel)		
<i>Kz emb</i>	58513,01	Tn/m
<i>Ky emb</i>	75120,19	Tn/m
<i>Kx emb</i>	75120,19	Tn/m
<i>Kzz emb</i>	581410,24	m.Tn/rad
<i>Kyy emb</i>	367952,10	m.Tn/rad
<i>Kxx emb</i>	367952,10	m.Tn/rad

Tabla 23. Resultados de valores de coeficientes amortiguamiento corregidos para cimentaciones embebidas.

Coeficientes de amortiguamiento corregidos por efectos de embebido (Según factores de amortiguamiento de Pais y Kausel)		
<i>CZ_{emb}</i>	1234,87	s. Tn/m
<i>Cy_{emb}</i>	1145,78	s. Tn/m
<i>Cx_{emb}</i>	1145,78	s. Tn/m
<i>CZZ_{emb}</i>	2173,50	m.s. Tn/rad
<i>Cyy_{emb}</i>	1764,95	m.s. Tn/rad
<i>Cxx_{emb}</i>	1869,50	m.s. Tn/rad

Ya definido los resortes se asignan a los nudos correspondientes de la base de las zapatas.



Análisis y discusión de resultados

Una vez realizados los modelos estructurales con el software, de la edificación en estudio se procede a examinar los resultados obtenidos.

Es importante destacar el modelo estructural analizado en la presente investigación, por cuanto su implantación está sustentada en tres niveles de cimentación lo que ha permitido tomar ciertos análisis particulares.

Los pórticos en el sentido x, presentan luces con respecto a las luces de los pórticos del eje en el sentido y, que son de menores dimensiones, también debiendo considerar la implantación de la cimentación en los dos sentidos x e y, en este modelo fueron modelados por medio de zapatas aisladas y en una forma escalonada. Lo que nos permite indicar que a la presencia del sismo en los dos sentidos se contrarresta los efectos de daño estructural, los mismos que disminuyen afectando de esta manera en daño en menor proporción de la presente estructura.

a. Desplazamientos

Una vez realizado la modelación estructural y de acuerdo a los resultados presentados por el programa de cálculo se muestran los desplazamientos en base al análisis modal espectral.

Figura 6. Desplazamientos en el sentido del eje x [24].

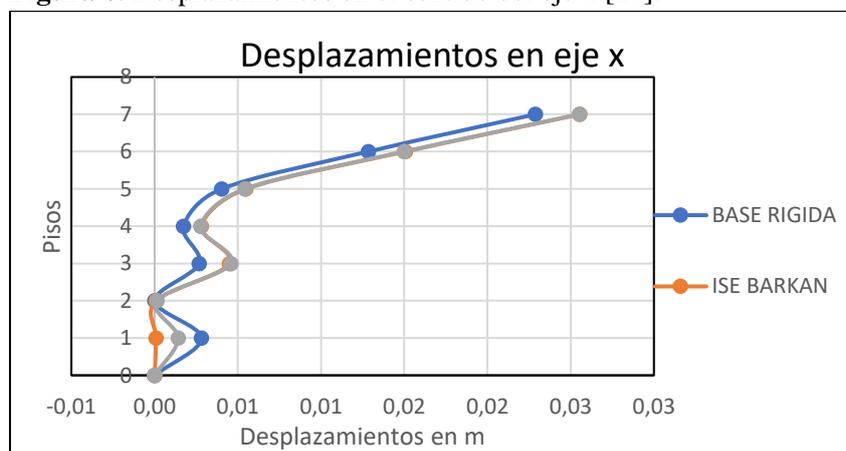


Tabla 24. Desplazamientos en el sentido x [24].

Base Rígida	ISE Modelo BARKAN	ISE Modelo Pais Y KAUSEL
0,0229	0,0255	0,0255

Figura 7. Desplazamientos en el sentido del eje y [24].



Tabla 25. Desplazamientos en el sentido y [24].

Base Rígida	ISE Modelo BARKAN	ISE Modelo Pais Y KAUSEL
0,0208	0,0235	0,0215

b. Periodo de vibración

Se realizó un análisis modal [24], para obtener los valores de periodos de vibración de la estructura considerando los tres modelos de base rígida y de los modelos ISE Barkan e ISE Pais y Kausel objeto del presente estudio, el cual se muestran a continuación en las Figuras 8 y Tabla 26.

Figura 8. Periodos de vibración [24].

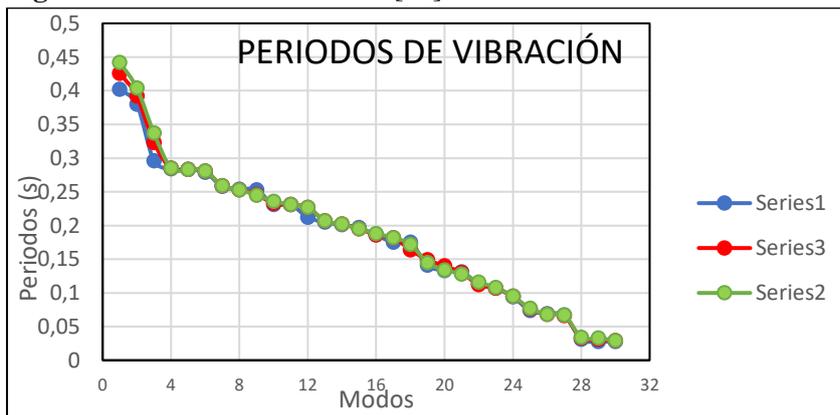


Tabla 26. Periodos de vibración(s) [24].

Base Rígida	ISE Modelo BARKAN	ISE Modelo Pais Y KAUSEL
0,402	0,442	0,426

De acuerdo a la investigación realizada por Morales L. y Espinoza A. [29], el periodo de vibración de la estructura aumenta cuando se considera la flexibilidad del suelo a nivel de la base de fundación. Se presenta que entre los dos modelos de interacción suelo – estructura (ISE) existe una variación del periodo de vibración igual a 3.62 %.

Revisando la NEC-SE-DS [22] indica que el periodo de vibración calculado con el método 2 no debe ser mayor en un 30% al periodo calculado con el método 1 que en nuestro caso se obtuvo $T_{a1}=0.321$ s, en este caso $T_{a2} \text{ máx}=0.402$ s.

Por lo tanto, el modelo de base rígida cumple con esta condición de la norma, mientras que los modelos ISE Barkan e ISE Pais y Kausel no la cumplen.

c. Derivas de piso

Para el análisis de las derivas de piso se utiliza el máximo valor de la respuesta inelástica en desplazamientos de la estructura generados por el sismo de diseño. Se analizan las derivas generadas por el análisis modal espectral, se muestran en las figuras 9,10 y tablas 27,28.

Tabla 27. Derivas inelásticas en el sentido eje x [24].

Base rígida		ISE Barkan		ISE Pais y Kausel	
X-Dir	%	X-Dir	%	X-Dir	%
0,0031	1,41%	0,0036	1,66%	0,0033	1,49%

Figura 9. Derivas inelásticas en el sentido eje x [24].

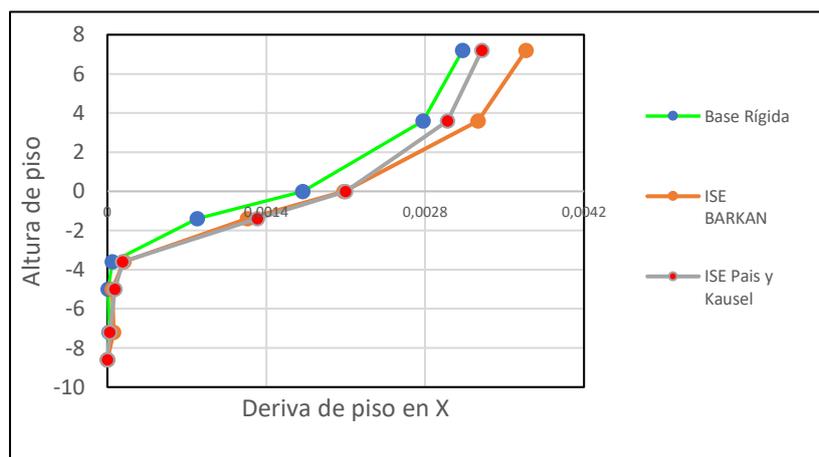


Figura 10. Derivas inelásticas en el sentido eje Y [24].

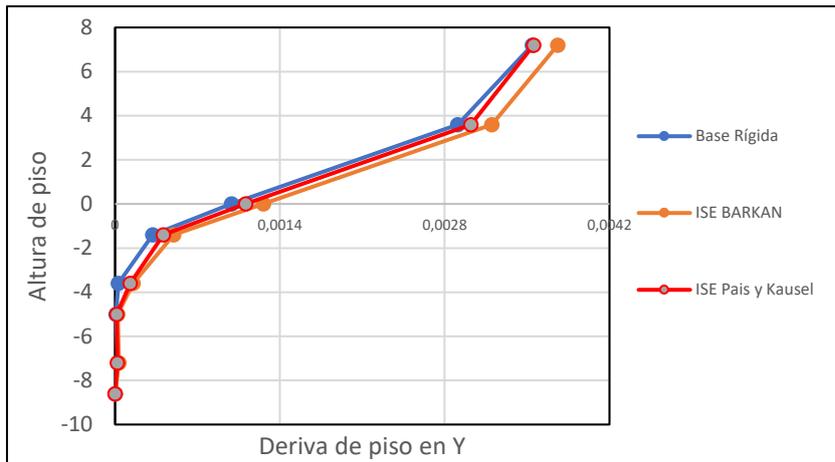


Tabla 28. Derivas inelásticas en el sentido eje y [24].

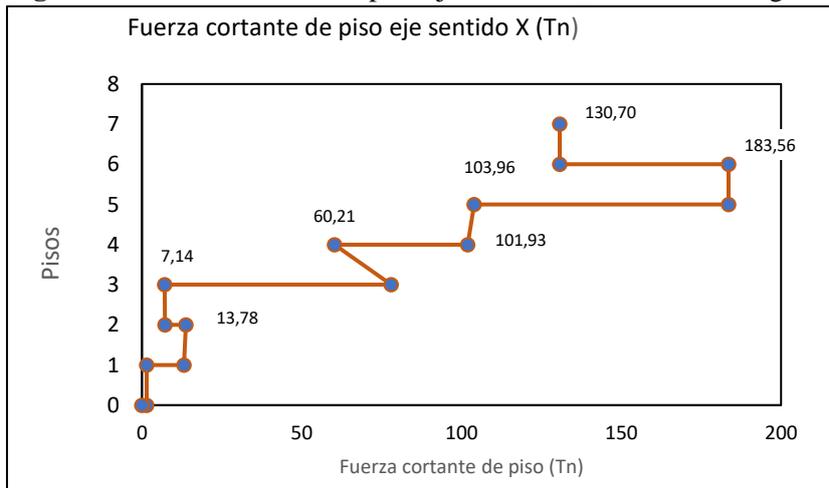
Y-Dir	Base rígida	ISE Barkan		ISE Pais y Kausel	
	%	Y-Dir	%	Y-Dir	%
0,0035	1,60%	0,0037	1,69%	0,0035	1,60%

d. Cortante por piso

Se obtiene el cortante en el piso 6 en las direcciones X del análisis modal espectral, como se describen en las figuras 11,12 y 13 [24] y tabla 29.

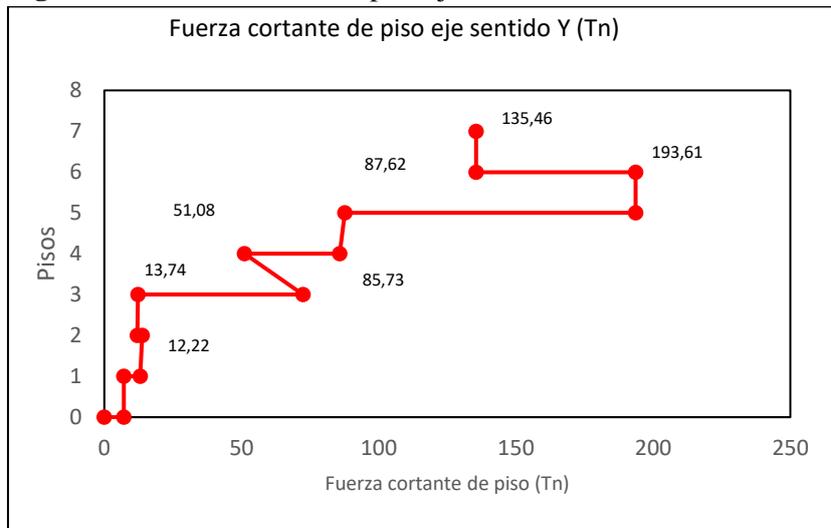
▪ **Fuerza cortante de piso Modelo base rígida, eje sentido X.**

Figura 11. Fuerza cortante de piso eje sentido X, modelo base rígida (Tn).



▪ **Fuerza cortante de piso Modelo Barkan, eje sentido x.**

Figura 12. Fuerza cortante de piso eje sentido X, modelo ISE Barkan (Tn).



▪ **Fuerza cortante de piso Modelo ISE Pais y Kausel, eje sentido X.**

Figura 13. Fuerza cortante de piso eje sentido X, modelo ISE Pais Kausel (Tn).

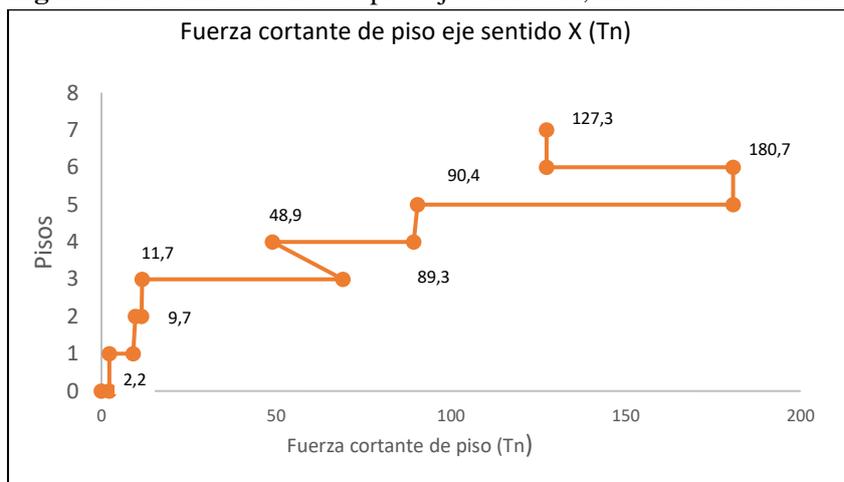


Tabla 29. cortante por piso en las direcciones x.

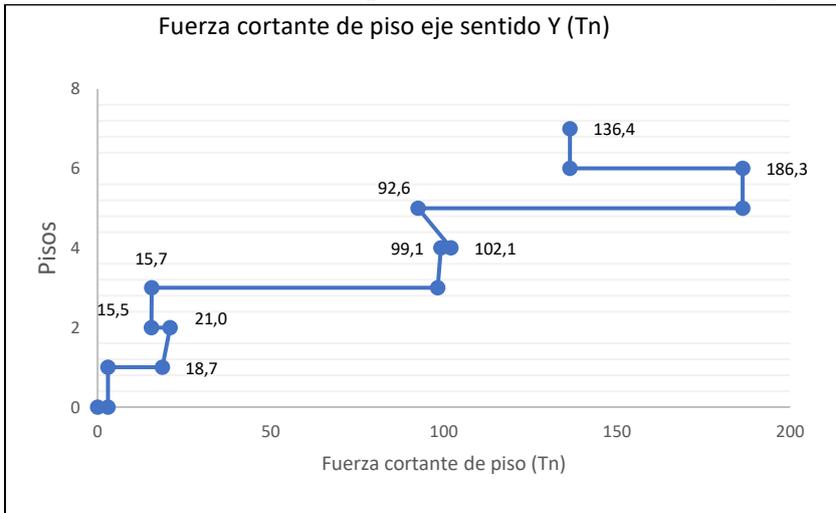
Base rígida X- Dir (Tn)	ISE Barkan X- Di (Tn)	ISE Pais y Kausel X- Dir (Tn)
183,56	193,61	180,7

Se obtiene el cortante por piso en las direcciones Y del análisis modal espectral, como se describen en las Figuras 14,15, 16 y tabla 30[24].



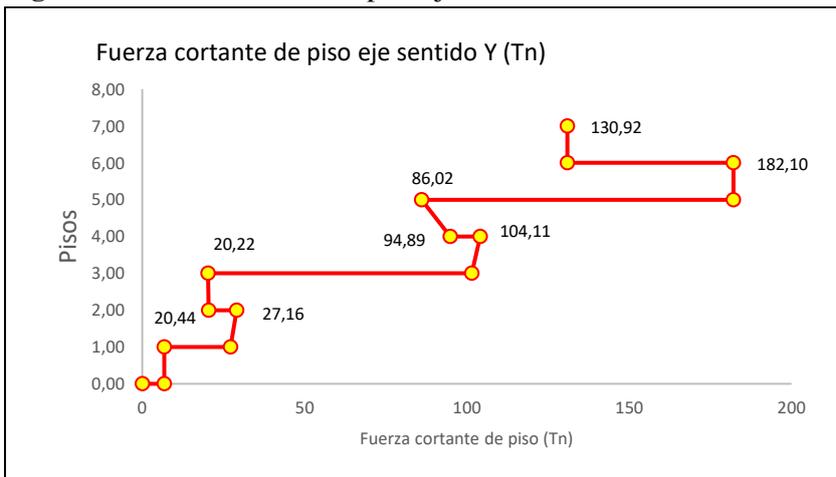
- **Fuerza cortante de piso Modelo base rígida, eje sentido Y.**

Figura 14. Fuerza cortante de piso eje sentido Y, modelo base rígida (Tn).



- **Fuerza cortante de piso Modelo Barkan, eje sentido Y.**

Figura 15. Fuerza cortante de piso eje sentido Y, modelo ISE Barkan (Tn).



- **Fuerza cortante de piso Modelo ISE Pais y Kausel, eje sentido Y.**

Figura 16. Fuerza cortante de piso eje sentido Y, modelo ISE Pais Kausel (Tn).

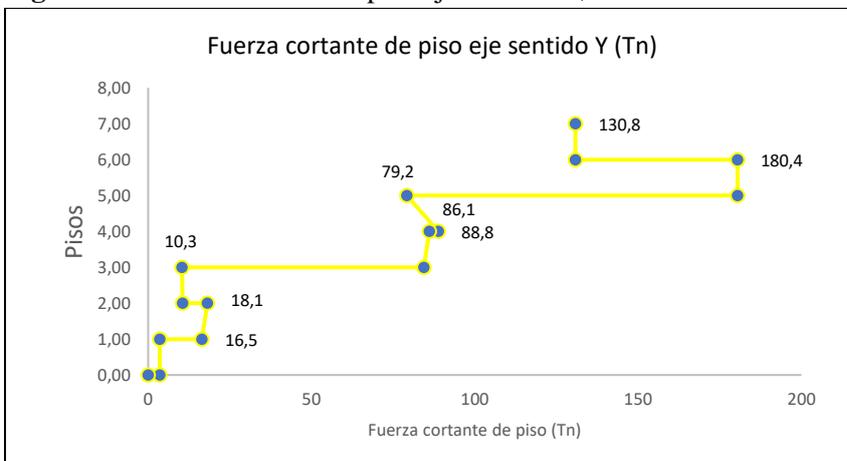


Tabla 30. cortante por piso en las direcciones x.

Base rígida X- Dir (Tn)	ISE Barkan X- Di (Tn)	ISE Pais y Kausel X- Dir (Tn)
186,3	182,1	180,4

e. Participación de masas

De acuerdo a la Norma Ecuatoriana NEC-15 capítulo: Peligro Sísmico, indica que la sumatoria de todos los modos que considera la masa modal acumulada sea al menos el 90% de la masa total de la estructura en las direcciones horizontales [22]. Chequeo del índice de estabilidad (Q).

De acuerdo a la norma NEC-SE-DS el índice de estabilidad debe cumplir $Q_i \leq 0.30$, de los modelos IDSE Barkan y modelo IDSE de Pais y Kausel y modelo tradicional de base rígida sí cumplen con lo establecido en la Norma ecuatoriana de la construcción, como se presenta en las Tablas 31, 32 y 33.

Tabla 31: Chequeo de índice de estabilidad Q, modelo de base rígida [22].

Chequeo índice de estabilidad Q					
Story	P tonf	Def cm	V	H	Q
Story7	264,70	2,29	-136,38	360	0,012
Story6	485,82	1,28	-186,26	360	0,009
				Máx. Q	0,012
La NEC dice que $Q \leq$		0,30			
Indice De Estabilidad		Cumple			

Tabla 32. Chequeo de índice de estabilidad Q, modelo de BARKAN [22].

Chequeo índice de estabilidad Q					
Story	P tonf	Def cm	V	H	Q
Story7	264,70	2,55	- 135,46	360	0,014
Story6	485,82	1,51	- 193,61	360	0,010
				Máx. Q	0,014
La NEC dice que $Q \leq$		0,30			
Indice De Estabilidad		Cumple			



Tabla 33. Chequeo del índice de estabilidad Q, modelo de PAIS y KAUSEL [22].

Chequeo índice de estabilidad Q					
Story	P tonf	Def cm	V	H	Q
Story7	264,70	2,550	- 127,29	360	0,015
Story6	485,82	1,499	- 180,67	360	0,011
				Máx. Q	0,015
La NEC dice que $Q \leq$		0,30			
Indice de estabilidad		Cumple			

De acuerdo a los resultados obtenidos los valores de índice de estabilidad (Q) de los modelos IDSE de Barkan y de Pais & Kausel con respecto al modelo tradicional de base rígida, son mayores lo que indica que tiene poca probabilidad de volcarse el edificio, y no tiene problemas por efectos P-Delta.

Según la NEC, los efectos P-delta no necesitan ser considerados cuando el índice de estabilidad $Q < 0.1$

f. Aceleraciones por piso

Las aceleraciones de piso pueden utilizarse para controlar el daño de los contenidos de los modelos estructurales, se presentan los resultados a continuación en las Tablas 24,35 y Figuras 17 y 18.

Tabla 34. Aceleraciones por piso eje sentido x [24].

BASE RÍGIDA cm/sec²	BARKAN cm/sec²	PAIS Y KAUSEL cm/sec²
5,67	5,25	5,57
4,93	7,46	4,31
3,15	2,76	2,75
1,63	1,81	2,54
6,16	11,35	7,21
0,66	2,42	1,33
6,53	1,94	4,43
0	0,11	0,03



Tabla 35. Aceleraciones por piso eje sentido y [24].

Story cm/sec ²	Story cm/sec ²	Story cm/sec ²
2,99	2,69	2,56
2,23	2,07	1,98
2,05	1,51	1,46
0,8	0,89	0,65
1,16	0,99	1,38
0,36	0,57	0,23
1,97	1,98	0,22
0	0,04	0,01

Figura 17. Aceleración de piso eje sentido x, m/s² [24].

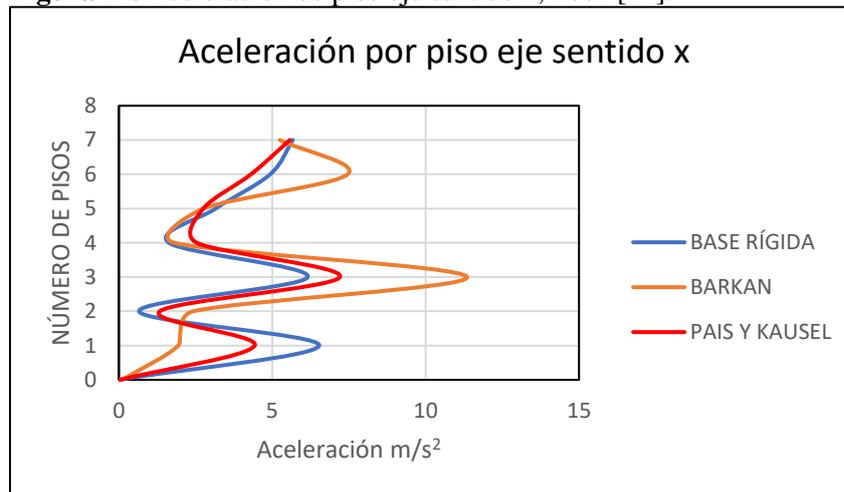
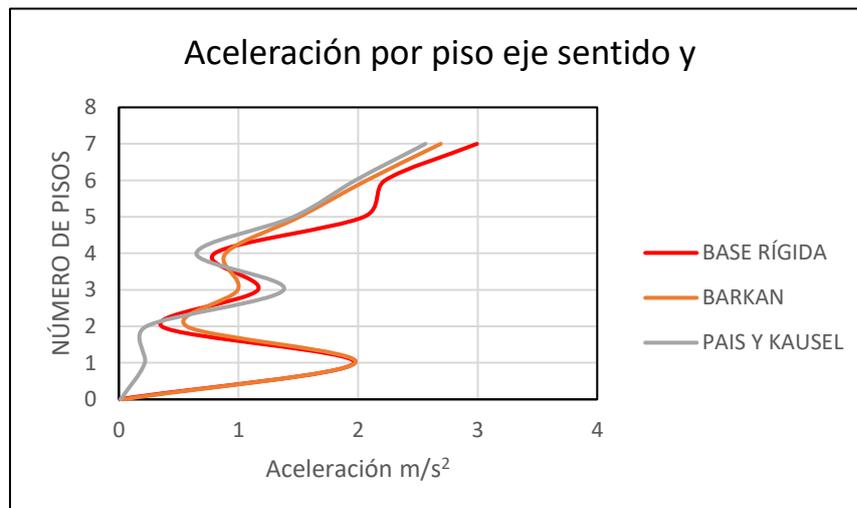


Figura 18. Aceleración de piso eje sentido y, m/s² [24].



g. Diseño de los elementos estructurales

Se procede a realizar el diseño de los elementos estructurales [24] considerando el modelo de tradicional base rígida, modelo IDSE de Barkan y del modelo Pais & Kausel obteniéndolos siguientes resultados.

En base a los resultados desplegados, se concluye que de acuerdo a los ratios de las vigas metálicas de los modelos IDSE Barkan y modelo IDSE de Pais y Kausel con respecto al modelo tradicional de base rígida cumplen con el diseño establecido en los tres modelos, por cuánto los valores son semejantes.

En lo referente a las secciones y cuantías de acero longitudinal en cadenas se evidencia el aumento en de los modelos IDSE Barkan y modelo IDSE de Pais y Kausel con respecto al modelo tradicional de base rígida, debiéndose rediseñarse en los modelos IDSE.

CONCLUSIONES

La modelación estructural tradicional no está considerando ciertos factores eminentes, por cuanto el suelo natural no es completamente rígido, la respuesta estructural al considerar la interacción suelo-estructura IDSE se modifica con la aplicación de los modelos de Barkan y Pais & Kausel con relación al modelo tradicional de base rígida:

En esta investigación se consideró dos modelos de interacción suelo-estructura como son los modelos de los investigadores Barkan y Pais & Kausel, en los que se incluyó las funciones de Impedancia.

Considerando la interacción suelo-estructura IDSE se obtuvieron resultados que se compararon con el modelo de base rígida entre estos, el periodo del primer modo de vibración se incrementa en un 9.95%, la fuerza cortante en el piso 6 de la estructura presenta un aumento de 5.48%, los desplazamientos al nivel superior de la estructura muestran un aumento de 12.68% y la deriva inelástica máxima de piso se incrementa en un 17.8%, , cabe indicar que a mayor número de niveles o número de plantas los resultados serán relativos.

Una vez determinados los resultados de aceleraciones por piso en los dos sentidos al considerar la interacción suelo-estructura IDSE, la aceleración de piso en el eje sentido x aumenta en los pisos 3 con un 84.35 % y en el piso 6 con un 51.18 % en el modelo IDSE Barkan con respecto al modelo de base rígida.

Al considerar la interacción suelo-estructura IDSE, la aceleración de piso en el eje Y, del piso 7 fue 10.11% menor el modelo IDSE Barkan con respecto al modelo de base rígida, mientras que en el piso



1 la aceleración del modelo de Pais & Kausel es menor con un 89% respecto al modelo de base rígida, mientras que el modelo de Pais y Kausel es menor con un 14.38% en el piso 7 respecto al modelo de base rígida.

Los diferentes elementos estructurales como columnas compuestas acero-H°S°, vigas de acero, pedestales de H°A°, cadenas de H°A°, se vieron modificados debiéndose rediseñar los modelos IDSE de Barkan y modelo Pais & Kausel al considerar la interacción suelo-estructura IDSE para alcanzar secciones y cuantías de acero necesarias para un ideal comportamiento estructural.

Las cuantías de acero y secciones de varios elementos estructurales que componen la estructura del modelo ISE Barkan aumentaron.

Los elementos componentes de la subestructura del modelo IDSE Barkan presento cambios tanto en secciones como en cuantías de acero.

Los modelos IDSE de Barkan y modelo Pais & Kausel presentan valores muy similares entre sí, en algunos casos incluso son iguales o menores en los resultados obtenidos con el desarrollo del presente trabajo de investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] S. Fuentes-Sánchez, L. González-Díaz, F. Calderín-Mestre, y Y. Sánchez- Zamora, «Consideraciones acerca del diseño sismorresistente de edificios de acero encuba», *Cienc. En Su PC*, vol. 1, n.º 4, pp. 11-26, 2018.
- [2] <https://es.scribd.com/document/100251265/Interaccion-Suelo-estructura> CFE -Avilés
- [3] P. Quinde Martínez, E. Reinoso Angulo, P. Quinde Martínez, y E. Reinoso Angulo, «Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca», *Ing. Sísmica*, n.º 94, pp. 1-26, jun. 2016.
- [4] L. R. Fernández Sola y J. Avilés López, «Efectos de interacción suelo- estructura en edificios con planta baja blanda», *Ing. Sísmica*, n.º 79, pp. 71-90, dic.2008.
- [5] J. Avilés, «Interacción suelo-estructura: concepto de diseño*», *Rev. Ing. Sísmica*, n.º 61, Art. n.º 61, jul. 1999, doi: 10.18867/ris.61.243.
- [6] D. Guerdouh, S. Khalfallah, D. Guerdouh, y S. Khalfallah, «Efecto de la interacción suelo-estructura en el rendimiento sísmico de estructuras de marco», *Rev. Constr.*, vol. 18, n.º 2, pp. 349-



363, jul. 2019, doi: 10.7764/rdlc.18.2.349.

- [7] R. Aguiar, D. Mora, y M. Rodríguez, «Análisis of structure withdissipator spectra under design and control», *Rev. Int. Méto. Numér. Para Cálculo Diseño EnIng.*, vol. 33, n.º 4, dic. 2017, doi: 10.1016/j.rimni.2016.04.008.
- [8] <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/view/2391> .
- [9] Http://www.scielo.org.mx/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S0185-092X2015000100001
- [10] <Https://revistas.unica.cu/index.php/uciencia/article/view/1001/2334> .
- [11] <Https://www.researchgate.net/profile/Luciano-Fernandez>
Sola/publication/260592195_INFLUENCIA_DE_LA_INTERACCION_DINAMICA_SUELO_E_STRUCTUREN_EL_COMPORTEINELASTICO_DE_MARCOS_DE_ACERO/links/00b7d531a40d45948b000000/INFLUENCIA-DE-LA-INTERACCION-DINAMICA-SUELO_ESTRUCTURA-EN-EL-COMPORTEINELASTICO-DE-MARCOS-DE-ACERO.pdf
- [12] <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/1282>
- [13] <https://cimec.org.ar/~mstorti/MECOM2018/paper-5679.pdf>
- [14] http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2017000100001
- [15] <http://www.wcee.nicee.org/wcee/article/16WCEE/WCEE2017-2314.pdf>
- [16] <http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n96/0185-092X-ris-96-00018.pdf>
- [17] <https://eprints.whiterose.ac.uk/102933/1/Optimum%20lateral%20load%20distribution%20for%20seismic%20design%20of%20nonlinear%20shear-buildings%20considering%20soil-structure%20interaction.pdf>
- [18] https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877705817333969?token=BF861217B616106FD22015B364D9E7FD30BDD0D3AD6825A54A3333BFCE15F3894C47E32719F3174D258206B38BCFCA5&originRegion=us-east_1&originCreation=20220228031828
- [19] https://es.slideshare.net/Consultora_KECSAC/ingeniera-sismoresistente-sesin-1-anlisis-ssmico-de-edificaciones-28097069
- [20] https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec_norma_ecuadoriana-de-la-construcción/



- [21] G. Villarreal, “Interacción Suelo Estructura En Edificaciones Con Zapatas Aisladas,” *Rev. Int. Ing. Estructuras*, 2009, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.24133/riie.v25i3.1689>.
- [22] Software de modelación estructural ETABS.
- [23] El proyecto arquitectónico que se utilizó para la realización del presente trabajo, fue una colaboración de un profesional que se lo mantendrá como Anónimo.
- [24] M. Guerra, M. Guerra, “Diseño sismorresistente de edificios de hormigón armado utilizando ETABS”, 2020. ISBN:978-9942-38-538-3.
- [25] Sísmica Institute, E, Guánchez. Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Curso en Ingeniería sísmica Geotécnica e Interacción Suelo-estructura.2022.
- [26] http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/view/1900/1498.
- [27] L. Morales and A. Espinosa, “Influencia de la Interacción Suelo Estructura (ISE) de Cimentaciones Superficiales en Suelos no Cohesivos en el Comportamiento Estructural de una Edificación de 8 Pisos y un Subsuelo,” *Ingenio*, vol. 3, no. 1, pp. 5–26, 2020, doi: 10.29166/ingenio.v3i1.2391.
- [28] C. Mercado, CEINTPERU, CURSO DISEÑO DE CIMENTACIONES EN LADERAS M2. segunda versión. 2023.

