



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS DE INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA DEL EDIFICIO DEL BLOQUE
G DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR,
MEDIANTE LA NORMA NIST GCR 12-917-21 - GAZETAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingenieros Civil

AUTORES: Luis Roberto Dueñas Cazar
Stalin Leonel Jumbo Veintimilla

TUTOR: Wilson Ramiro Torres Berni

Quito - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Luis Roberto Dueñas Cazar con documento de identificación N° 1723485841 y Stalin Leonel Jumbo Veintimilla con documento de identificación N° 1724008907; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 25 de julio del 2023

Atentamente,



Luis Roberto Dueñas Cazar
1723485841



Stalin Leonel Jumbo Veintimilla
1724008907

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Luis Roberto Dueñas Cazar con documento de identificación N° 1723485841 y Stalin Leonel Jumbo Veintimilla con documento de identificación N° 1724008907; expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Análisis de Interacción Suelo - Estructura del edificio del Bloque G de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur, mediante la Norma NIST GCR 12-917-21 - GAZETAS”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingenieros Civiles, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de julio del 2023

Atentamente,



Luis Roberto Dueñas Cazar

1723485841



Stalin Leonel Jumbo Veintimilla

1724008907

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Wilson Ramiro Torres Berni con documento de identificación N° 1710259845, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA DEL EDIFICIO DEL BLOQUE G DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR, MEDIANTE LA NORMA NIST GCR 12-917-21 - GAZETAS, realizado por Luis Roberto Dueñas Cazar con documento de identificación N° 1723485841 y Stalin Leonel Jumbo Veintimilla con documento de identificación N° 1724008907, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 25 de julio del 2023

Atentamente,



Ing. Wilson Ramiro Torres Berni, PhD
1710259845

ANÁLISIS DE INTERACCIÓN SUELO - ESTRUCTURA DEL EDIFICIO DEL BLOQUE “G” DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, SEDE QUITO, CAMPUS SUR, MEDIANTE LA NORMA NIST GCR 12-917-21 - GAZETAS

ANALYSIS OF THE SOIL – STRUCTURE INTERACTION THE BUILDING IN BLOCK “G” OF THE THE UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, QUITO, SOUTH CAMPUS, USING NIST STANDARD GCR 12-917-21 - GAZETAS

Luis Dueñas-Cazar¹, Stalin Jumbo-Veintimilla²

Resumen

El objetivo de esta investigación es determinar el comportamiento de la estructura “Bloque G” de la Universidad Politécnica Salesiana ante un análisis suelo-estructura más realista, mediante la aplicación de resortes equivalentes en cada uno de sus seis grados de libertad. Para las propiedades físicas del suelo se tomaron cálculos de un estudio anteriormente realizado por Jaramillo y Naranjo [19]. La norma NIST GCR 12-917-21 se utiliza para comprender y calcular los valores de rigidez de los resortes para cada grado de libertad. El modelo realizado en software SAP2000 nos permite calcular los valores resultantes de corte basal, deriva y periodo de la estructura, los cuales serán comparados entre una base rígida y una base flexible. Para el espectro elástico y las combinaciones de carga aplicados al modelado en software se empleó la NEC (Normativa Ecuatoriana de la Construcción), y obtener una respuesta bajo cargas sísmicas.

Palabras Clave:

Interacción suelo-estructura, derivas, rigidez, resortes equivalentes.

Abstract

The objective of this research is to determine the behavior of the structure "Block G" of the Salesian Polytechnic University before a more realistic soil-structure analysis, through the application of equivalent springs in each of its six degrees of freedom. For the physical properties of the soil, calculations were taken from a study previously carried out by Jaramillo and Naranjo [19]. NIST GCR 12-917-21 is used to understand and calculate spring stiffness values for each degree of freedom. The model made in SAP2000 software allows us to calculate the resulting values of basal cut, drift and period of the structure, which will be compared between a rigid base and a flexible base. For the elastic spectrum and the load combinations applied to the software modeling, the NEC (Ecuadorian Construction Regulations) was used, and to obtain a response under seismic loads.

Keywords:

Soil-structure interaction, drifts, stiffness, equivalent springs

¹ Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador

² Estudiante de Ingeniería Civil - Universidad Politécnica Salesiana - Quito, Ecuador

Autor para correspondencia: lduenasc@est.ups.edu.ec; sjumbov@est.ups.edu.ec

1. Introducción

Uno de los principales enfoques de la ingeniería civil es comprender el comportamiento del suelo en relación con las estructuras. Actualmente hay varios estudios sobre los efectos de interacción suelo-estructura, que han utilizado el método de la norma NIST GCR 12-917-21 [1], contiene información para ayudar a evaluar estructuras mediante el modelado de resortes y amortiguadores.

La estructura consta de 2 bloques separados por juntas de dilatación. Para hacer posible el análisis, se modela en SAP2000 la mencionada estructura.

El modelo estructural de base rígida está basado en la NEC [10], utilizando el espectro sísmico, la importancia de la estructura y el factor de reducción.

En el modelo estructural de base flexible implementamos la norma NIST GCR 12-917-21 [1], mediante el método de GAZETAS [2] determinamos la rigidez de los resortes equivalentes en sus seis grados de libertad, logrando una aproximación del comportamiento de la estructura más cercanas a la realidad. Este procedimiento considera las dimensiones de la cimentación y las propiedades físicas del suelo, para un análisis en conjunto.

La implementación de resortes equivalentes proporcionados por GAZETAS [2], son importantes en este estudio, para comparar el comportamiento ante un modelado de base rígida, dicha comparación expondrá los resultados más realistas ante un análisis de interacción suelo-estructura.

El análisis estructural se lo realiza en ambas direcciones tanto x-x e y-y, para determinar el porcentaje de variación entre corte basal, derivas y periodos entre los 2 modelos analizados.

2. Materiales y Métodos

2.1 Objetivos

Revisar y aplicar la interacción suelo-estructura, en el bloque G, mediante la norma NIST GCR 12-917-21, para determinar los efectos producidos ante los eventos sísmicos.

Revisar los efectos producidos al incrementar el periodo, debido a la flexibilidad del suelo, mediante un modelo en el software de análisis SAP2000 y evaluar las respuestas en las demandas sísmicas.

Determinar los efectos en el modelo numérico al implementar el amortiguamiento en la cimentación, para comprobar la reducción de la demanda sísmica sobre la estructura.

2.2. Descripción de la estructura

En la Universidad Politécnica Salesiana, Campus Sur en la ciudad de Quito, se encuentra ubicado el edificio o la estructura "Bloque G".

Está conformado por dos subsuelos, una planta baja, tres plantas altas y una cubierta accesible, y está conformado por dos bloques, el bloque oriental y el bloque occidental en el que se encuentra un ascensor y gradas de servicio.

2.3 Metodología

2.3.1 NIST GCR 12-917-21

Para llevar a cabo este método se realizó los cálculos de la norma NIST GCR 12-917-21[1]. Con los siguientes temas:

Cálculo de Velocidad de onda de corte efectiva (V_s):

Para la profundidad efectiva la NIST GCR 12-917-21 propone la ecuación (1).

$$Z_p = (B^3 * L)^{0.25} \quad (1)$$

Donde:

B: Es la mitad del ancho total de la cimentación (m),

L: Es la mitad de la longitud de la cimentación (m).

Para la profundidad efectiva de la estructura se debe sumar la profundidad de empotramiento (e) y la profundidad efectiva (Z_p) anteriormente planteada.

Con los respectivos estudios de suelos efectuados a los diferentes estratos, se determina las velocidades de ondas de corte, El ASCE/SEI 7-16 [15] nos proporciona la ecuación (2).

$$V_{so} = \frac{\sum d_i}{\sum \left(\frac{d_i}{V_{si}}\right)} \quad (2)$$

Donde:

- d_i = Espesor de cada estrato (m),
- V_{si} = Velocidad de onda de corte que presenta cada estrato (m/s).

La ASCE/SEI 7-16 propone la tabla 1 sobre la relación de aceleración máxima efectiva. Con la Tabla 1 reconocemos la relación de velocidad de onda de corte efectiva V_S/V_{SO} .

Tabla 1. Relación de velocidad de onda de corte efectiva [9].

Clase de sitio	Aceleración máxima efectiva $S_{DS}/2.5^2$			
	$S_{DS}/2.5 = 0$	$S_{DS}/2.5 = 0.1$	$S_{DS}/2.5 = 0.4$	$S_{DS}/2.5 \geq 0.8$
A	1.00	1.00	1.00	1.00
B	1.00	1.00	0.97	0.95
C	1.00	0.97	0.87	0.77
D	1.00	0.95	0.71	0.32
E	1.00	0.77	0.22	b
F	b	b	b	b

Utilice la interpolación lineal para los valores intermedios de $S_{DS}/2.5$.

Se realizará una investigación geotécnica específica del emplazamiento y análisis dinámicos de la respuesta del emplazamiento.

Con los resultados del estudio de suelo efectuados por Jaramillo y Naranjo [19], determinamos que se encuentra en una velocidad entre $360\text{m/s} > V_S < 180\text{m/s}$ dando como resultado un suelo de tipo D según la NEC [10].

El siguiente paso es la evaluación de la aceleración espectral de diseño $S_{DS}/2.5$.

Por último, determinamos la velocidad de onda mediante la ecuación (3).

$$V_S = \left(\frac{V_S}{V_{SO}}\right) * (V_{SO}) \quad (3)$$

Donde:

- V_{SO} = Velocidad promedio de onda de corte (m/s)
- $\left(\frac{V_S}{V_{SO}}\right)$ = Relación de onda de corte efectiva.
- $V_{SO} \left(\frac{m}{s}\right) = 306.89$

Se obtiene entonces una velocidad promedio de onda de corte igual a $306.89\left(\frac{m}{s}\right)$

Periodo fundamental del edificio:

La ASCE/SEI 7-16 [16] nos plantea encontrar el periodo de la estructura por medio de la ecuación (4).

$$T = T_a = Ct * h_n^x \quad (4)$$

Dónde:

- Ct = Coeficiente que depende del tipo de edificio,
- h_n = Altura del edificio (m),
- x = Coeficiente que depende del tipo de edificio.

Espectro Inelástico

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) [10] propone tabla 2 que permiten determinar los factores del espectro de diseño, para calcular los factores F_a , F_d , F_s , se toma en cuenta el tipo de suelo sobre el que se cimenta el bloque G. La Tabla 2 indica los valores de los factores de sitio para el espectro de diseño.

Tabla 2. Factores del sitio para el espectro de diseño

Factor Z - Quito		0.4
Suelo tipo D	F_a	1.2
	F_d	1.19
	F_s	1.28
Tabla NEC	η	2.48
	r	1
	I	1.3
	Φ_p	1
	Φ_e	0.9
	R	8

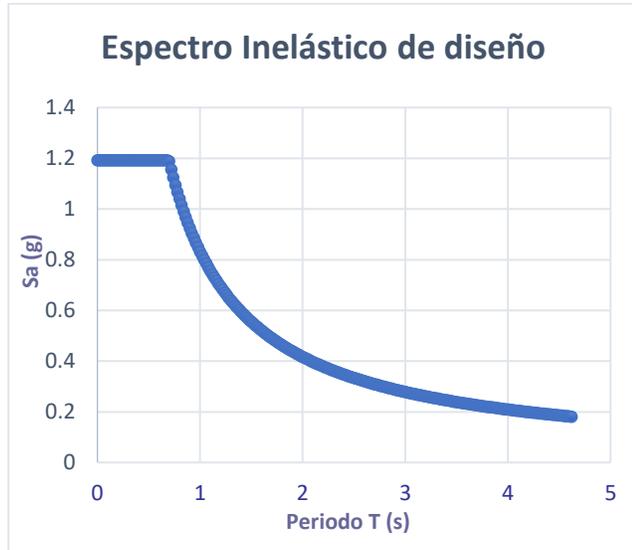


Figura 1. Espectro inelástico de diseño.

Módulo de corte:

La ASCE/SEI 41-17 [9] nos permite calcular el módulo de corte por medio de la ecuación (5).

$$G_o = \frac{\gamma v_{so}^2}{g} \quad (5)$$

Donde:

- γ = Peso unitario del suelo,
- g = aceleración de la gravedad.
- $G_o = 199899.58 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

Se obtiene entonces un módulo de corte de 199899.58 (kN/m²).

Módulo de corte efectivo

La NIST GCR 12-917-21 [10] propone la tabla 3 para obtener los valores del módulo de corte efectivo para la estructura.

Tabla 3. Valores del módulo de corte efectivo [1].

	Factor de reducción (Vs)			Factor de reducción (G/Go)		
	$S_{DS}/2.5^{(1)}$	$S_{DS}/2.5^{(1)}$	$S_{DS}/2.5^{(1)}$	$S_{DS}/2.5^{(1)}$	$S_{DS}/2.5^{(1)}$	$S_{DS}/2.5^{(1)}$
Site Class	≤ 0.1	0.4	≥ 0.8	≤ 0.1	0.4	≥ 0.8
A	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
B	1.0	0.97	0.95	1.0	0.95	0.90
C	0.97	0.87	0.77	0.95	0.75	0.60
D	0.95	0.71	0.32	0.9	0.5	0.1
E	0.77	0.22	(2)	0.6	0.05	(2)
F	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)

El (NIST) tiene como opción el método de Gazetas (1991) para evaluar la respuesta de la estructura. Gazetas [2] establece 6 ecuaciones para determinar la rigidez de la estructura en cada uno de sus 6 grados de libertad, las mismas que se pueden observar en la Tabla 4.

Tabla 4. Ecuaciones elásticas para rigideces estáticas

Grado de libertad	Gazetas (1991)
Traslación a lo largo del eje z	$K_{z,sur} = \frac{2GL}{1-\nu} \left[0.73 + 1.54 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.75} \right]$
Traslación a lo largo del eje y	$K_{y,sur} = \frac{2GL}{2-\nu} \left[2 + 2.5 \left(\frac{B}{L} \right)^{0.85} \right]$
Traslación a lo largo del eje x	$K_{x,sur} = K_{y,sur} - \frac{0.2}{0.75-\nu} GL \left(1 - \frac{B}{L} \right)$
Torsión sobre el eje z	$K_{zz,sur} = GJ_t^{0.75} \left[4 + 11 \left(1 - \frac{B}{L} \right)^{10} \right]$
Rotación sobre el eje y	$K_{yy,sur} = \frac{G}{1-\nu} (I_y)^{0.75} \left[3 \left(\frac{L}{B} \right)^{0.15} \right]$
Rotación sobre el eje x	$K_{xx,sur} = \frac{G}{1-\nu} (I_x)^{0.75} \left(\frac{L}{B} \right)^{0.25} \left[2.4 - 0.5 \left(\frac{B}{L} \right) \right]$

Donde:

- G = módulo de corte (reducido para grandes efectos de deformación),
- $J_t = I_x + I_y$ Momento polar de inercia del suelo-cimentación superficie de contacto,
- I_t = momento de inercia del área de contacto suelo-cimentación, denota alrededor de qué eje tomar la superficie.

Gazetas [2] también nos presenta la Tabla 5 para determinar el coeficiente amortiguador de radiación para los 6 grados de libertad.

Tabla 5. Ecuaciones para coeficiente amortiguador de radiación.

Grado de libertad	Coefficiente amortiguador de radiación
Translación a lo largo del eje z	$C_z = (\rho V_{La} A_b)$
Translación a lo largo del eje y	$C_y = (\rho V_s A_b)$
Translación a lo largo del eje x	$C_x = (\rho V_s A_b)$
Rotación sobre el eje z	$C_{rx} = (\rho V_{La} I_{bx})$
Rotación sobre el eje y	$C_{ry} = (\rho V_{La} I_{by})$
Rotación sobre el eje x	$C_t = (\rho V_s I_{bz})$

La NIST GCR 12-917-21 [10] nos ofrece la Tabla 6 con factores de corrección para incorporar a las rigideces los efectos de la cimentación ya que la estructura posee sótano.

Tabla 6. Factores de Corrección por empotramiento para la Rigidez Estática de Cimentaciones Rígidas.

Grado de libertad	Gazetas (1991)
Translación a lo largo del eje z	$n_z = \left[1 + \frac{D}{21B} \left(1 + 1.3 \frac{B}{L} \right) \right] \left[1 + 0.2 \left(\frac{A_w}{4BL} \right)^{2/3} \right]$
Translación a lo largo del eje y	$n_y = \left[1 + 0.15 \sqrt{\frac{D}{B}} \right] \left[1 + 0.52 \left(\frac{Z_w A_w}{BL^2} \right)^{0.4} \right]$
Translación a lo largo del eje x	Misma ecuación para n_y pero A_w cambia de términos $B \neq L$
Rotación sobre el eje z	$n = 1 + 1.4 \left(1 + \frac{B}{L} \right) \left(\frac{d_w}{B} \right)^{0.9}$
Rotación sobre el eje y	$n_{yy} = 1 + 0.92 \left(\frac{d_w}{B} \right)^{0.6} \left[1.5 + \left(\frac{d_w}{D} \right)^{1.9} \left(\frac{B}{L} \right)^{-0.6} \right]$
Rotación sobre el eje x	$n_{xx} = 1 + 1.26 \frac{d_w}{B} \left[1 + \frac{d_w}{B} \left(\frac{d_w}{D} \right)^{-0.2} \sqrt{\frac{B}{L}} \right]$

Donde:

- d_w = altura del contacto efectivo con la pared lateral (puede ser menor que la altura total de los cimientos),
- Z_w = Profundidad desde el centroide de la zapata hasta el nivel del suelo,
- A_w = área de contacto de la pared lateral sólida, para constante altura de contacto efectiva.

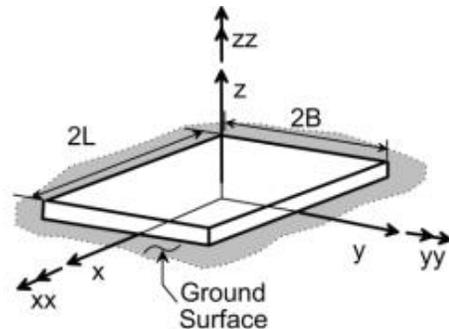


Figura 2. Grados de libertad y dimensiones de la cimentación [10].

2.3 Modelado en SAP2000:

Se realizó el modelado de la edificación con las respectivas especificaciones que presenta el plano estructural como se presenta en la Figura 3 y 4, en la Tabla 7 se detalla las propiedades de los materiales y las dimensiones, tales como tipo de losa, altura entre piso.

Tabla 7. Propiedades del edificio bloque “G”.

Bloque	1	2
$f'c$ (kgf/cm ²)	280	280
f_y (kgf/cm ²)	4200	4200
Dimensiones de elementos estructurales, cm		
Vigas	45x70	45x70 40x70
Columnas		70x70
Losa	Alivianada	e:30cm
Plantas		
Subsuelo	2	
Pisos	4	5
Nivel – altura entre piso, m		
N+18.83		3.7
N+15.13		3.6
N+11.53		3.6
N+7.93		3.6
N+4.33		3.6
N-0.73		4
N-3.27		4
N-7.27		-

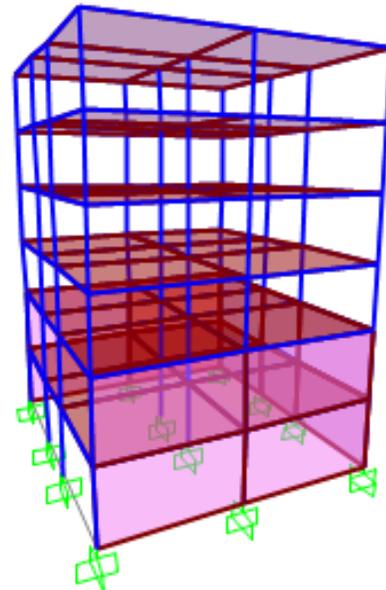


Figura 3. Modelo del bloque 1 en Sap2000

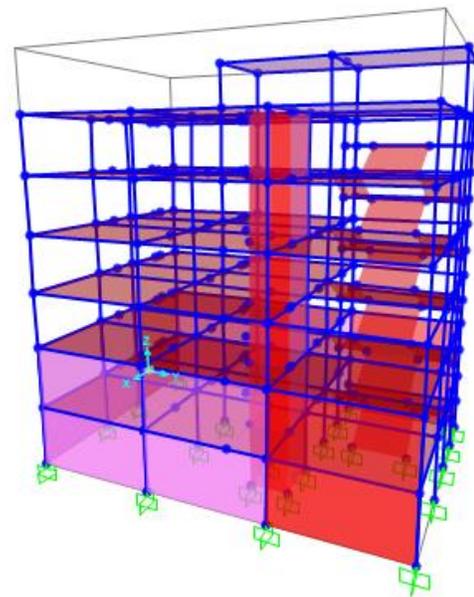


Figura 4. Modelo del bloque 2 en Sap2000

3. Resultados y Discusión

En cuanto a la rigidez Gazetas [2] nos plantea los factores de corrección para las rigideces de los resortes los cuales poseen efectos de empotramiento, la Tabla 8 permite visibilizar los valores de rigidez con y sin corrección de los elementos, tanto en traslación como en rotación. Se pone a comparación los resultados de los métodos Pais & Kausel planteados por Abril y Avilés [20] y el método Gazetas [2].

Tabla 8. Comparación de rigideces traslacionales kxx, kyy y kzz. Comparación de rigideces rotacionales kxx, kyy, y kzz del bloque 2.

	Pais & Kausel por Abril y Avilés	Método Gazetas Resortes	Variación %
RIGIDEZ - TRASLACIÓN EN EL EJE Z (kN/m)	7,00E+06	6,92E+06	1,10
RIGIDEZ - TRASLACIÓN EN EL EJE Y (kN/m)	6,08E+06	6,00E+06	1,26
RIGIDEZ - TRASLACIÓN EN EL EJE X (kN/m)	5,96E+06	5,68E+06	4,32
RIGIDEZ - ROTACIÓN EN EL EJE Z (kN*m/rad)	1,23E+09	1,21E+09	2,06
RIGIDEZ - ROTACIÓN EN EL EJE Y (kN*m/rad)	8,97E+08	8,80E+09	1,93
RIGIDEZ - ROTACIÓN EN EL EJE X (kN*m/rad)	6,34E+08	6,09E+08	4,03

Corte basal:

Se presentan los valores resultantes del modelo con base rígida y base flexible, ante un análisis sísmico del bloque occidental y oriental, utilizando un espectro NEC para el modelo empotrado y la NIST GCR 12-917-21 [10] con el método de Gazetas [2] para el modelo de base flexible. La figura 5, 6, 7 y 8 nos detalla los valores resultantes.

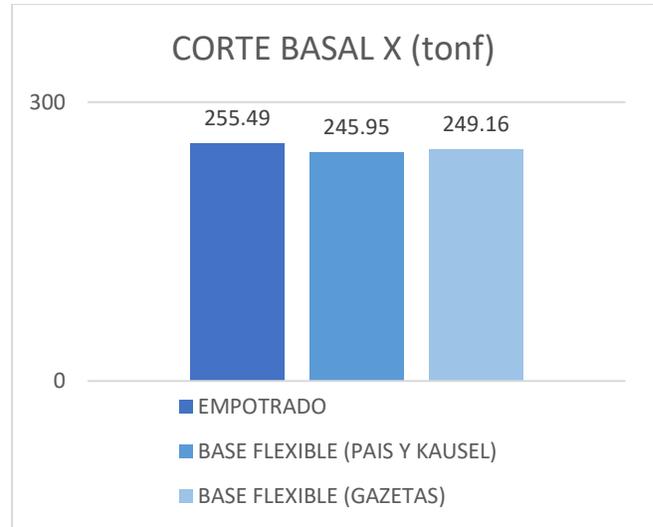


Figura 5. Cortante basal sentido x del bloque 1.

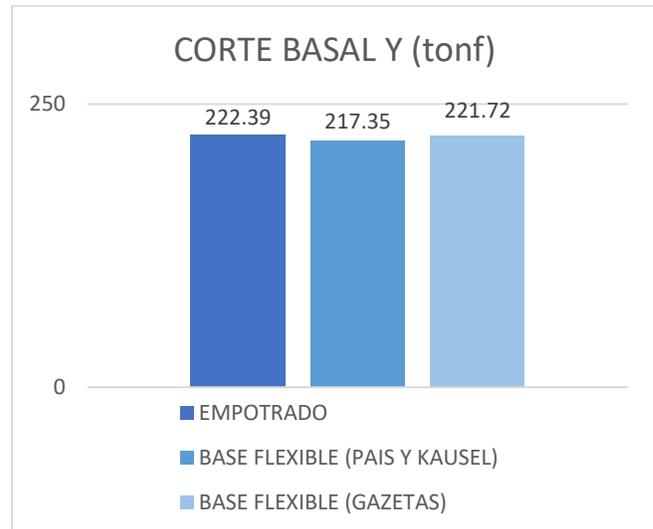


Figura 6. Cortante basal sentido y del bloque 1.

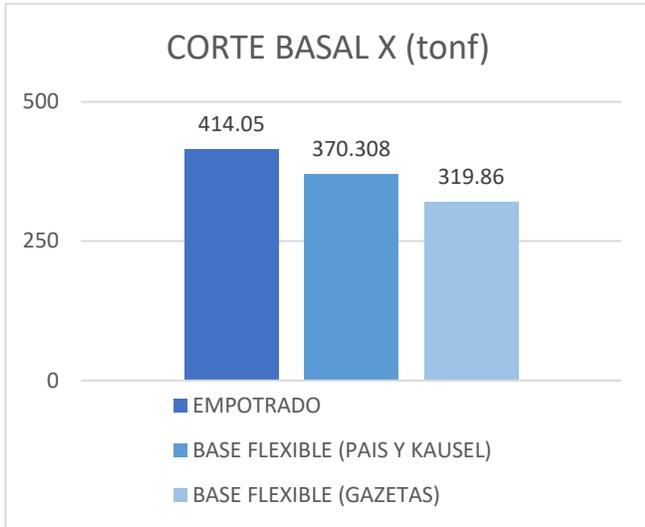


Figura 7. Cortante basal sentido x del bloque 2.

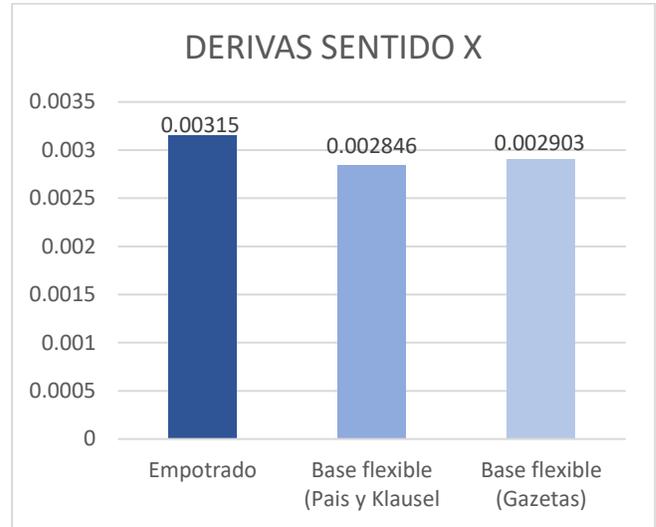


Figura 10. Comparación de derivas en el sentido X.

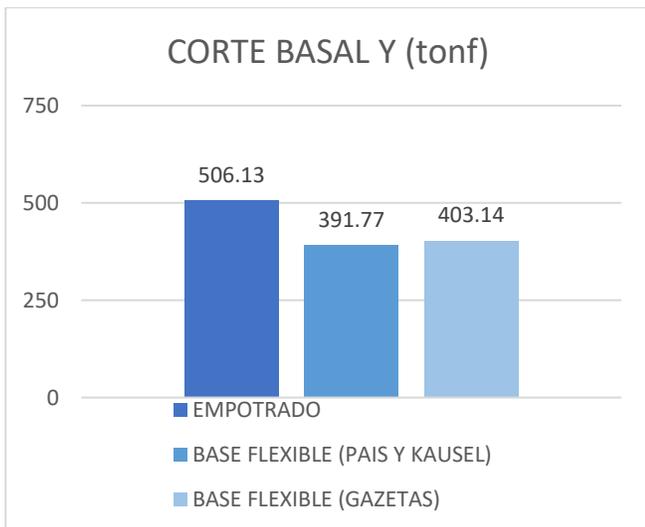


Figura 8. Cortante basal sentido y del bloque 2.

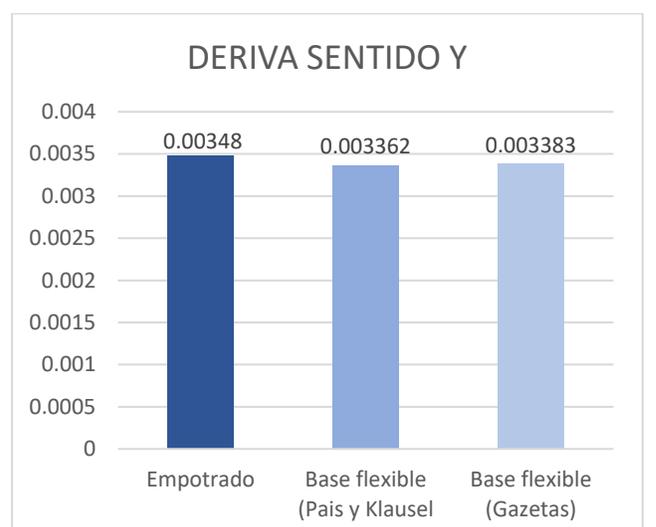


Figura 11. Comparación de derivas en el sentido Y.

Las derivas presentan una disminución con respecto al análisis de base rígida bajo el espectro de la NEC, en la Figura 10 y 11 se presenta la variación de derivas con la implementación de resortes tanto por el método Pais & Kausel planteados por Abril y Avilés [20] y el método Gazetas [2].

Al analizar los periodos implementando los métodos propuestos por la NIST GCR 12-917-21 [10], implementando la rigidez, el amortiguamiento y los factores de corrección, se determina un incremento en el periodo de vibración de la estructura. En la Figura 12 y 13 claramente se puede evidenciar la variación que existe entre un modelo empotrado, y un modelo con resortes con el incremento de sus periodos.

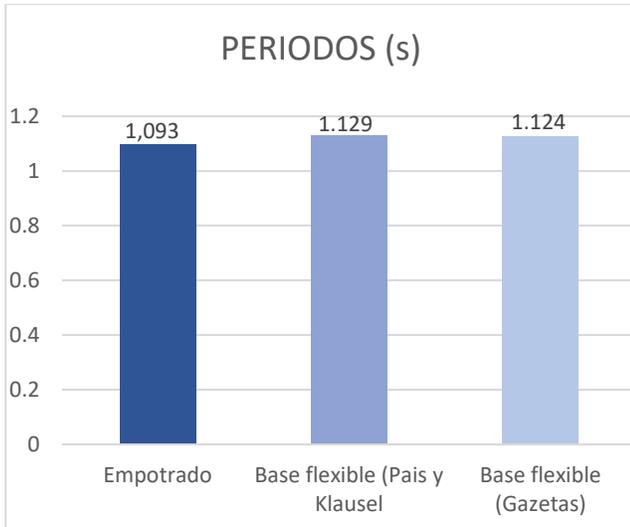


Figura 12. Comparación de periodos bloque 1

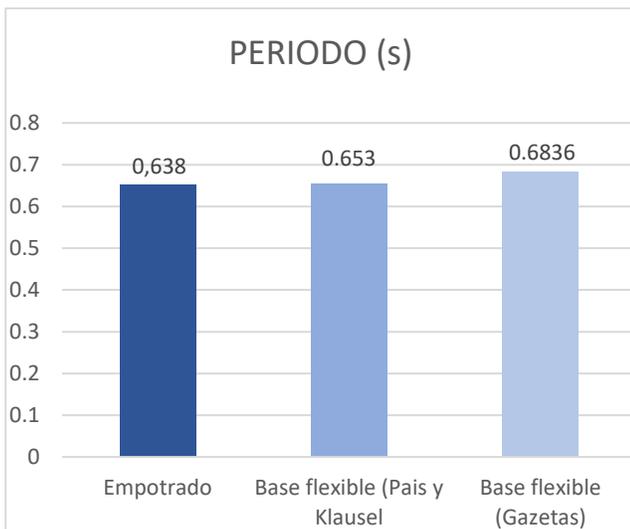


Figura 13. Comparación de periodos bloque 2

Diferencia entre método Pais y Kausel (1988) y Gazetas (1991).

Para el análisis de las Ecuaciones elásticas para rigideces estáticas Pais y Kausel lo plantean tomando como variable el módulo de corte, la relación de Poisson y la velocidad de ondas transversales, mientras Gazetas también toma como variable los momentos de inercia del área de la superficie real de contacto suelo-cimentación. En las ecuaciones de los factores de corrección Pais y Kausel toma como variable la profundidad de desplante, mientras que Gazetas toma la profundidad desde el centroide de la zapata hasta el

nivel del suelo y el área de contacto de la pared lateral sólida, para una altura de contacto efectiva constante, d_w , a lo largo del perímetro.

4. Conclusiones

El modelo empotrado es el más empleado al ejecutar un análisis estructural, pero la implementación de una base flexible permite conocer el verdadero comportamiento de la estructura tomando en consideración el suelo de fundación. La metodología expuesta por la norma NIST GCR 12-917-21 con el análisis de GAZETAS permite llegar a un estudio aproximado a la realidad.

Utilizando el modelo de base flexible de Gazetas el modelo nos presenta resultados de rigidez estructural más cercanos a la realidad, dándonos como 2.21% su variación porcentual mayor.

Con el análisis de respuesta del cortante basal por medio de un espectro inelástico proporcionado por la NEC se determinó que el modelo empotrado presenta una mayor demanda ante el modelo de base flexible de Gazetas.

La implementación de una base flexible al análisis estructural expone que el periodo de vibración aumenta en comparación con el modelado empotrado, debido a que la rigidez en el apoyo se reduce considerando una fuente adicional de flexibilidad.

Ante la disminución de la fuerza sísmica debido a la implementación de resortes equivalentes las derivas disminuyen en comparación con el modelo empotrado sin presentar un riesgo de colapso para la estructura.

Un complemento a este estudio representaría el análisis del desempeño de las diferentes opciones planteadas con base en la definición del punto de desempeño de la estructura a partir de un nivel de amenaza sísmica, o mediante un an

álisis tiempo historia no lineal de las alternativas aquí estudiadas.

Referencias

- [1] NIST GCR 12-917-21 U.S. Department of Commerce, "Soil-Structure Interaction for Building Structures", Gaithersburg, MD 20899, 2012.
- [2] G. Gazetas. "FORMULAS AND CHARTS FOR IMPEDANCES OF SURFACE AND EMBEDDED FOUNDATIONS", ASCE reviewers, University of New York, 1983.
- [3] J León Freire, "Análisis comparativo del diseño de una edificación de hormigón armado considerando el sistema de base rígida versus la interacción suelo – estructura," Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Central del Ecuador, Quito, 2016.
- [4] P. Guardia, "Determinación de la Superficie de Acoplamiento Sísmico Interplaca en el borde occidental del Perú," Tesis de Ingeniero Geofísico, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, 2011.
- [5] C. Jurado Cabañes, "Problemas de interacción suelo estructura en cimentaciones y muros de contención", Tesis de Doctorado, Universidad Politécnica De Madrid, Madrid, 2012.
- [6] A. Soriano, "Interacción suelo-estructura. Modificación del movimiento", Artículo Académico, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 1989.
- [7] D. Diaz, F Espinoza, R Sánchez y C Huerta, "Respuesta dinámica de un edificio considerando el efecto de interacción suelo-estructura", Monografía de Ingeniería Sísmica, Barcelona, 2012.
- [8] APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL, "A Practical Guide to Soil-Structure Interaction", FEMA P-2091, Washington D.C., 2020.
- [9] A. S. of C. E. ASCE, ASCE STANDARD ASCE/SEI 7-16 Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures, no. 7 98. 2016.
- [10] Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-SE-DS Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente. 2015.
- [11] G Villareal, y C Águila, "SOIL-STRUCTURE INTERACTION AND ITS INFLUENCE ON THE SEISMIC RESPONSE OF RC BUILDINGS," Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras Vol. 26,3 426-471, 2021. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/rii/article/view/2336/1775>.
- [12] P Marín, "Interacción dinámica suelo-estructura aplicada a distintas geometrías de cimentación (vibración transmitida del suelo a la estructura)", Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria, Cd, Mx, 2016. https://www.ri.unam.mx/contenidos/interaccion-dinamica-suelo-estructura-aplicada-a-distintas-geometrias-de-cimentacion-vibracion-transmitida-del-suelo-429120?c=pgvgDN&d=false&q=*&i=2&=1&t=search_0&as=0.
- [13] F. Calderín-Mestre, "Consideración del fenómeno interacción suelo-estructura en edificio prefabricado", Artículo Científico, Universidad de Oriente, Cuba, 2020. <https://www.redalyc.org/journal/1813/181366194007/html/#:~:text=Resumen%3A%20La%20Interacci%C3n%20Suelo%2DEstructura,la%seguridad%20de%20las%20estructuras>.
- [14] R. Curioso y A. Torres, "Influencia de la interacción suelo-estructura en edificaciones aporricadas (oficinas) de 4,8 y 12 pisos en perfiles de suelo S1, S2 y S3 de Lima – Perú bajo la normativa americana NIST GCR 12-917-21", Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2020. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/653063/Curioso_CR.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- [15] A. Espinosa, J. Carrión y L. Morales, "Influencia de la interacción suelo estructura de cimentaciones superficiales en

suelos no cohesivos en el comportamiento estructural de una edificación de 8 pisos y un subsuelo”, Título de Grado de Magister en Geotecnia Aplicada, Universidad Central Del Ecuador, Quito, 2019.

<https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/INGENIO/article/view/2391>.

- [16] J. García, “Evaluación de daño en edificios considerando los efectos de Interacción Suelo – Estructura”, Tesis de Maestría de Ingeniería Civil, Instituto Politécnico Nacional, México DF, 2012.
<https://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/12813>
- [17] C. Castro y G. Pérez, “Análisis de la interacción suelo - estructura estática para una edificación regular de hormigón armado y 3 tipos de suelos.” Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2020.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18193>
- [18] N. Gamarra. “Análisis de la Interacción Sísmica Suelo - Estructura en edificación de albañilería estructural”, Tesis de Ingeniería Civil, Universidad nacional del centro del Perú, Huancayo, 2014.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/410>
- [19] K. Jaramillo and Y. Naranjo, “Correlaciones Múltiples Entre Propiedades Geomecánicas, Velocidades De Onda De Compresión (Vp), Corte (Vs) Y Datos De Clasificación Sucs En El Suelo De Comentación Del Bloque G De La Universidad Politécnica Salesiana See Quito - Campus Sur,” 2021.
- [20] J. Abril y D. Avilés, “Análisis de la interacción suelo-estructura aplicando la guía práctica fema P-2091 en el bloque “G” de la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Quito, Campus Sur,” 2022.
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23073>