

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 2**

**STUDY OF THE SEISMIC BEHAVIOR OF SOIL-CYMENTER
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.v8i6.15296

Estudio del Comportamiento Sísmico de la Interacción Suelo-Cimentación en una Estructura de Acero-Parte 2

Humberto Ramiro Morales Zuñiga¹morzumorales@hotmail.com<https://orcid.org/0009-0003-5477-399X>

Universidad Técnica de Ambato

Ecuador

Wladimir José Ramírez Cabrerawj.ramirez@uta.edu.ec<https://orcid.org/0000-0002-3478-2560>

Universidad Técnica de Ambato

Ecuador

Mariela Cristina Guerrero Zuñigacrisguerrero13@yahoo.com<https://orcid.org/0009-0006-3223-5316>

Investigador Independiente

Ecuador

Alexander Daniel Morales Mirandadaniel_mm95@hotmail.com

Investigador Independiente

Ecuador

Steven Ariel Morales Mirandasteven.morales.1605@gmail.com

Investigador Independiente

Ecuador

RESUMEN

La presente investigación como continuación de la parte 1 está enfocada en un estudio comparativo de la respuesta estructural de una edificación con dos modelos dinámicos de interacción sísmica suelo-estructura como fueron Modelo IDSE Barkan y modelo IDSE Pais y Kausel, en una estructura de acero con 2 niveles de sótanos y tres niveles de fundación con zapatas aisladas, una vez realizada la comparación de los modelos descritos sumando el análisis con el modelo tradicional de base rígida, ya con los resultados obtenidos se procede con el rediseño y análisis del modelo IDSE Barkan, obteniendo resultados notables tanto en los elementos de la estructura como en la subestructura, los mismos que nos permitieron determinar las secciones y cuantías de columnas, vigas, principalmente de cadenas, zapatas, pedestales. Las estructuras se apoyan sobre sus sistemas de fundación, mediante estos elementos se encargan de transmitir las cargas al suelo. Debido a estas cargas, las estructuras sufren deformaciones induciendo esfuerzos sobre los elementos que lo componen; en cambio, los efectos del sismo al suelo de fundación son los encargados de transmitir las ondas vibratorias a la estructura.

Palabras clave: modelos dinámicos, deformaciones, velocidad de onda de corte del terreno, desplazamiento del suelo, derivas máximas de piso

¹ Autor principal

Correspondencia: morzumorales@hotmail.com

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

ABSTRACT

The present research as a continuation of part 1 is focused on a comparative study of the structural response of a building with two dynamic models of soil-structure seismic interaction such as IDSE Barkan model and IDSE Pais and Kausel model, in a steel structure with 2 levels of basements and three levels of foundation with isolated footings, Once the comparison of the described models was made, adding the analysis with the traditional rigid base model, and with the results obtained, we proceeded with the redesign and analysis of the IDSE Barkan model, obtaining remarkable results both in the elements of the structure and in the substructure, which allowed us to determine the sections and amounts of columns, beams, mainly of chains, footings, pedestals. The structures are supported on their foundation systems, by means of which these elements are responsible for transmitting the loads to the ground. Due to these loads, the structures suffer deformations inducing efforts on the elements that compose it; on the other hand, the effects of the earthquake on the foundation soil are in charge of transmitting the vibratory waves to the structure.

Keywords: dynamic models, deformations, ground shear wave velocity, soil displacement, maximum floor drifts

*Artículo recibido 20 noviembre 2024
Aceptado para publicación: 22 diciembre 2024*



INTRODUCCIÓN

Es pertinente considerar parámetro como: velocidad de onda de corte del terreno, período de vibración esperado de la estructura y altura de la edificación, para determinar si es posible o no realizar un análisis de interacción. Los mecanismos de apoyo no fueron de base rígida, sino de base flexible con lo que se obtuvo las componentes verticales, horizontales y rotacionales y cada vez que se llegue a este punto, siempre se presenta la inquietud del coeficiente de balasto que tiene aplicación para cargas estáticas o de naturaleza pseudoestáticas.

La interacción suelo-cimentación-estructura metálica se debe estudiar considerando ciertos factores como las características de los diferentes tipos de suelo, calidad de materiales, normativas de diseño, etc.

A través del tiempo los calculistas han venido adoptando diversos métodos de cálculo como el LRFD (*Load and Resistance Factor Design*), ahora ya es posible aplicar el método de los criterios de Estados Límites de un Sistema Estructural, por cuanto al ser sometidos a cargas superiores originales para las cuales fueron diseñadas las secciones de los elementos se plastifiquen debido a una redistribución de los esfuerzos, sean estos por cortantes, momentos, etc. Estos elementos deben acudir a su energía residual de deformación y de esta manera la estructura no colapsa, es decir, lo ideal es aprovechar las propiedades mecánicas del acero hasta su estado plástico.

La interacción dinámica suelo-estructura tiene una relevancia significativa; este fenómeno consiste en un conjunto de efectos cinemáticos e inerciales producidos en la estructura y un suelo como resultado de su flexibilidad ante solicitaciones dinámicas [2].

En la práctica cotidiana los ingenieros estructurales diseñan superestructuras (Columnas, vigas, losas de entrepiso, escaleras, paredes cortantes, etc.) fijas en la base y transmiten las reacciones a la infraestructura para diseñar el sistema de cimentación (Pedestales, cadenas de cimentación, plintos, muros de cimentación losas de cimentación, vigas trabes, etc.) y estiman el desplazamiento del suelo sin tener en cuenta el cambio en la respuesta estructural debido a la interacción suelo-estructura [3].

Morales y Espinosa [8] en el año 2020 han considerado la interacción suelo estructura al estudiar un edificio de 8 pisos y un subsuelo en la ciudad de Quito, en el que se observó que se incrementa el



periodo de vibración hasta en un 46% respecto a un modelo tradicional de base rígida. Con todo esto, se infiere que la interacción suelo – estructura modifica la respuesta de la edificación.

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

Evolución de modelos del IDSE

Muchas normas no han considerado dicho efecto y Rusia lo consideró en 1987 y Estados Unidos recién en el 2012. Barkan [13] estudió este fenómeno hace ya un siglo, por tal razón no es un tema de reciente, pero no es o ha sido considerado. Hoy en día existe el comité de interacción suelo-estructura perteneciente a la Sociedad Internacional de Mecánica de Suelos y también ya hay un comité IDSE a nivel mundial, pero en el caso Ecuador aún no se ha incorporado.

Rediseño modelo ISE Barkan

De acuerdo al proceso de análisis empleados en la modelación, prediseño y diseño de los tres modelos estudiados anteriormente, se toma el modelo IDSE Barkan y se procede a rediseñar la superestructura, y de esta manera proceder a rediseñar la subestructura del presente modelo.

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

Se procede a corregir los valores y obtener los nuevos coeficientes de rigidez que se muestran en las Tablas 1,2 y 3, los mismos que se ingresaran al programa de cálculo [24].

Tabla 1. Presión estática en las zapatas del subsuelo 1.

Subsuelo 1 Cimentación								
LABEL ETABS	Zapata	Pu (Ton)	P (Ton)	col P (Ton)	zapata P (Ton)	P total (Ton)	Área (m ²)	ρ (kg/cm ²)
C34	D4	77,42	0,84	5,71		83,97	5,29	1,57

Tabla 2. Coeficientes de compresión elástica, subsuelo 2.

Subsuelo 1 Cimentación					
LABEL ETABS	Zapata	Cx=Cy (Tn/m ³)	Cz (Tn/m ³)	C _{φx} (Tn/m ³)	C _{φy} (Tn/m ³)
C34	D4	10992,30	14656,41	24267,16	24267,16

Tabla 3. Coeficientes de rigidez equivalentes subsuelo 1.

Subsuelo 1 Cimentación					
LABEL ETABS	Zapata	$K_x=K_y$ (Tn/m)	K_z (Tn/m)	K_{ϕ_x} (Tn/m)	K_{ϕ_y} (Tn/m)
C34	D4	58149,29	77532,38	128373,29	128373,29

Análisis de resultados

En función de las normativas NEC, AISC, ACSE, se procede a realizar los análisis de los resultados una vez que equilibrada la estructura.

Se realiza una comparación de resultados a fin de determinar la importancia de considerar la interacción suelo estructura en la modelación, análisis, prediseño y diseño de todo tipo de estructura.

a. Determinación de los desplazamientos

Figura 1. Desplazamientos en el sentido del eje x [24].

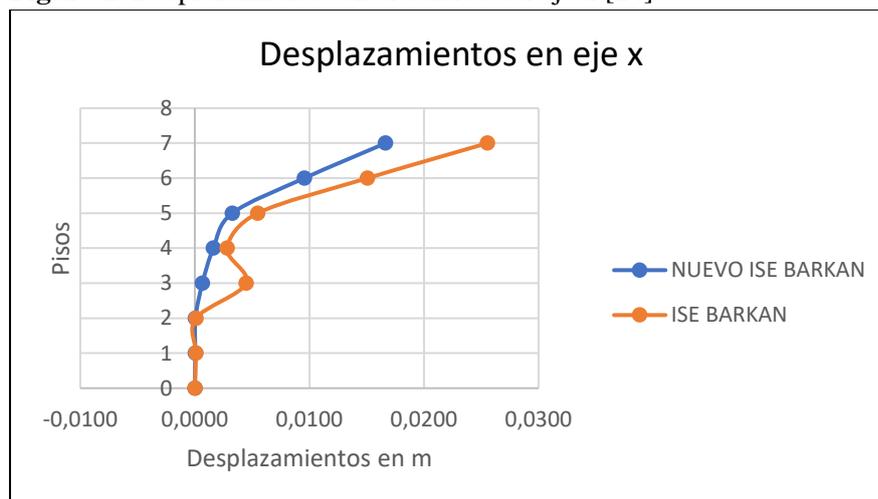


Figura 2. Desplazamientos en el sentido del eje Y [24].

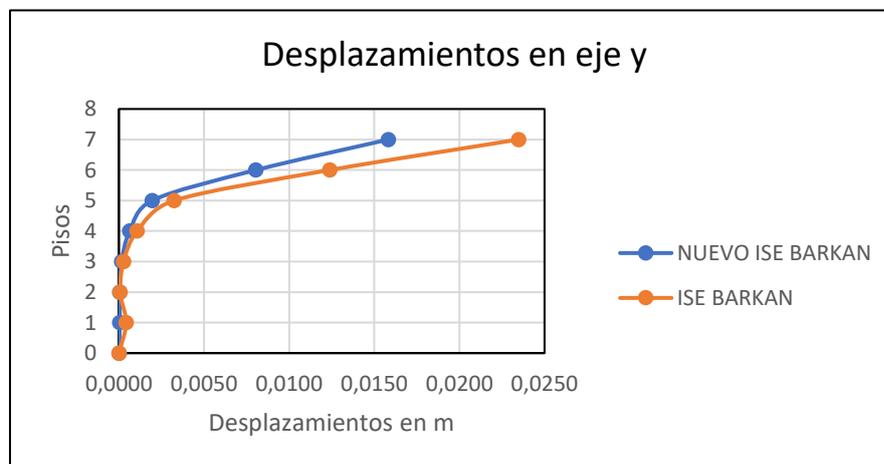


Tabla 4. Desplazamientos en el sentido x [24].

PISO	Desplazamientos en X Nuevo ISE modelo Barkan	ISE Modelo BARKAN
7	0,0167	0,0255

Se determina que los desplazamientos son menores con un 53% en eje del sentido x una vez rediseñado el modelo, como se muestran en la Tabla 4 y Figura 1.

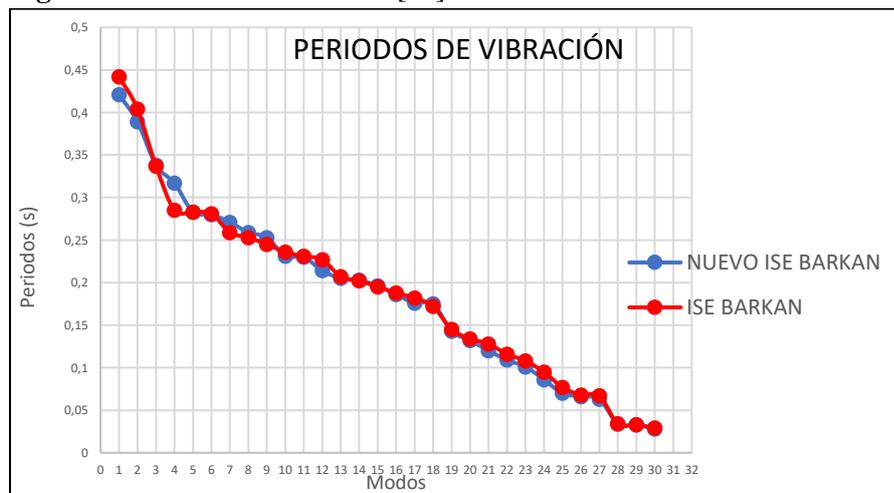
Tabla 5. Desplazamientos en el sentido y [24].

PISO	Desplazamientos en Y Nuevo ISE modelo BARKAN	ISE Modelo BARKAN
7	0,0158	0,0235

Se determina que los desplazamientos son menores con un 48% en eje del sentido Y una vez rediseñado el modelo, como se muestran en la Tabla 5 y Figura 2.

b. Periodos de vibración

Figura 3. Periodos de vibración [24].



Se puede apreciar que la estructura es más estable por cuanto sus modos de vibrar son menores en 4.99%, como se muestran en la Figura 3 Tabla 6.

Tabla 6. Periodos de vibración(s) [24].

Mode	Periodo	
	Nuevo ISE BARKAN	ISE Modelo BARKAN
1	0,421	0,442
2	0,389	0,404
3	0,338	0,337

c. Derivas de piso

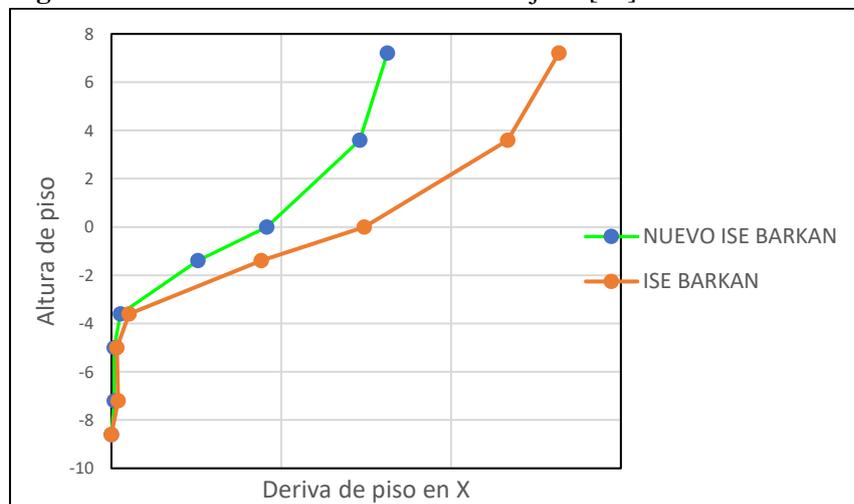
Tabla 7. Derivas inelásticas en el sentido eje x [24].

Nuevo ISE BARKAN		ISE BARKAN	
X-Dir	%	X-Dir	%
0,0022	1,02%	0,0036	1,66%

Tabla 8. Derivas inelásticas en el sentido eje y [24].

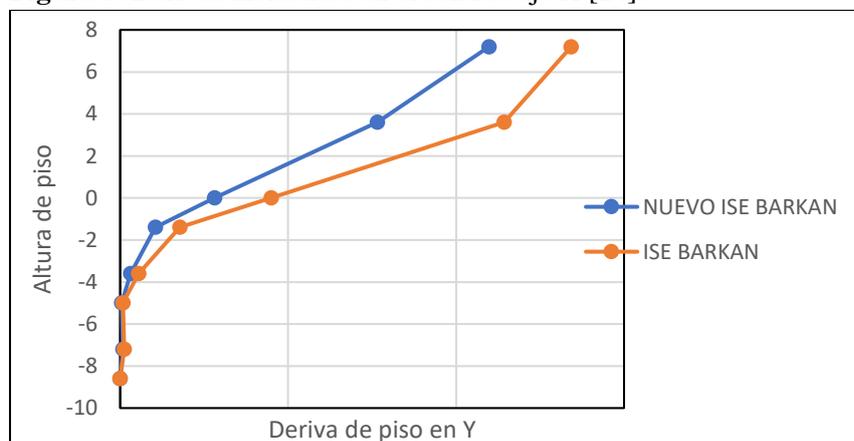
Nuevo ISE BARKAN		ISE Barkan	
Y-Dir	%	Y-Dir	%
0,003	1,38%	0,0037	1,69%

Figura 4. Derivas inelásticas en el sentido eje X [24].



Se ha controlado que las derivas máximas de piso se vean reducidas lo que garantiza mayor estabilidad y seguridad, se redujeron en el eje en el sentido x en un 62% y en el eje en sentido y en un 22%, como se muestran en las Figuras 4,5 y Tablas 7 y 8.

Figura 5. Derivas inelásticas en el sentido eje X [24].



d. Cortantes por piso

Los cortantes por piso disminuyeron notablemente con el rediseño, como se muestran en las Figuras 6 y 7.

Figura 6. Fuerza cortante de piso eje sentido X, nuevo modelo ISE Barkan (Tn).

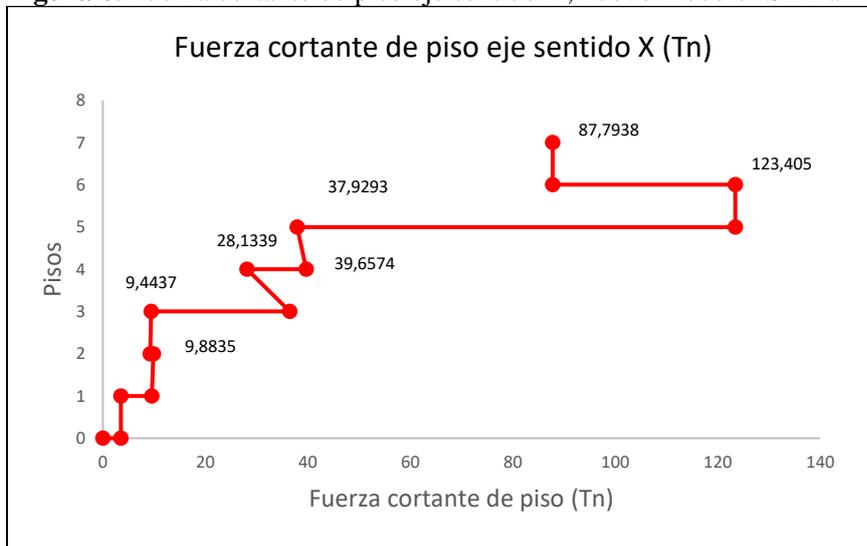
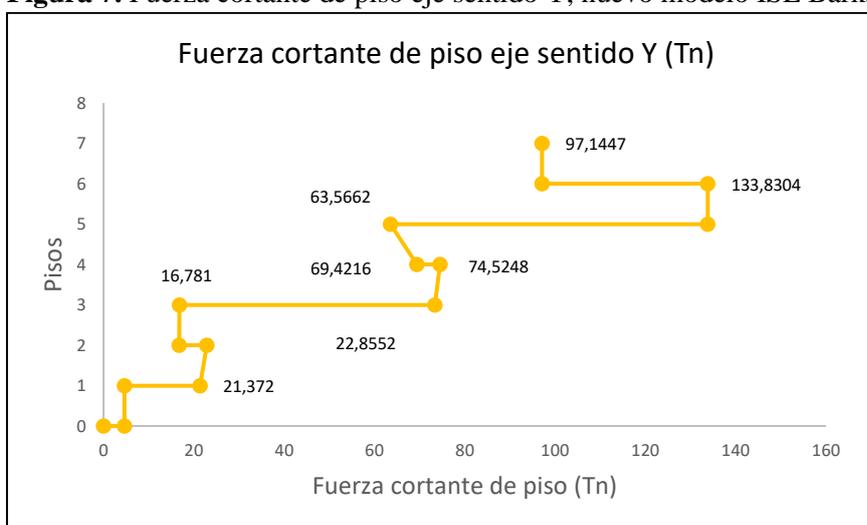


Figura 7. Fuerza cortante de piso eje sentido Y, nuevo modelo ISE Barkan (Tn).



e. Participación de masas

La participación de masas en el modelo sufre un notable cambio, se realiza varias interacciones no logrando cumplir con lo que establece la norma NEC, debe ser por el modelo particular de tres niveles de cimentación, por razones arquitectónicas es imposible disponer de elementos estructurales como diagonales, cruces de San Andrés.

f. Chequeo de índice de estabilidad(Q)

Tabla 9. Chequeo de índice de estabilidad Q, modelo de BARKAN [22].

Chequeo índice de estabilidad Q					
Story	P tonf	Def cm	V	H	Q
Story7	264,4361	1,6651	87,7938	360	0,0139
Story6	486,3357	0,9562	123,405	360	0,0105
				Máx. Q	0,0139
La NEC dice que $Q \leq$		0,30			
Indice De Estabilidad		Cumple			

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 9, los valores de índice de estabilidad (Q) de los modelos IDSE de Barkan 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 $Q < 0.1$

g. Aceleraciones por piso

Tabla 10. Aceleraciones por piso eje sentido X e Y [24].

Story	Nuevo BARKAN cm/sec²	BARKAN cm/sec²
7	3,77	5,25
6	4,66	7,46
5	1,90	2,76
4	1,24	1,81
3	2,84	11,35
2	1,56	2,42
1	0,52	1,94
Max	0,07	0,11
7	1,86	2,69
6	1,97	2,07
5	1,03	1,51
4	0,56	0,89
3	0,67	0,99
2	0,39	0,57
1	0,55	1,98
Max	0,03	0,04

Figura 8. Aceleración de piso eje sentido x, m/s^2 [24].

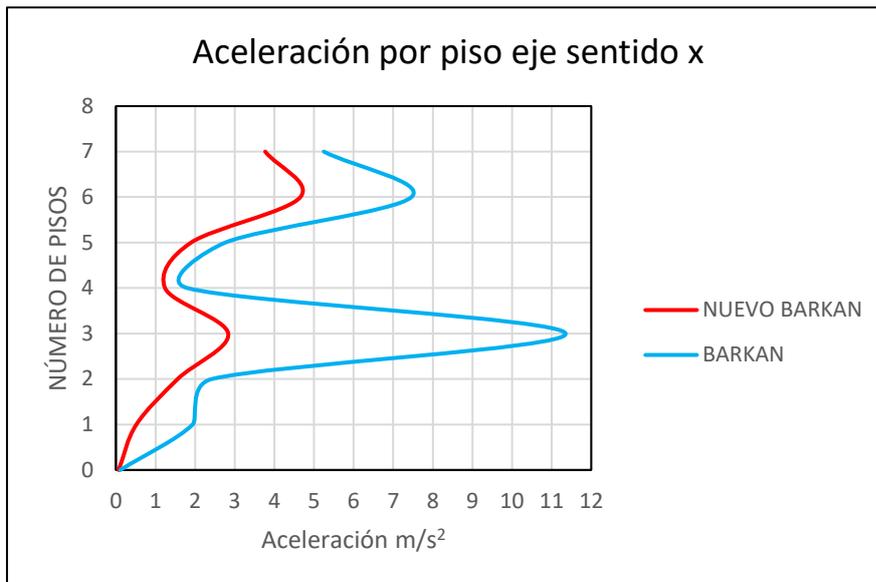
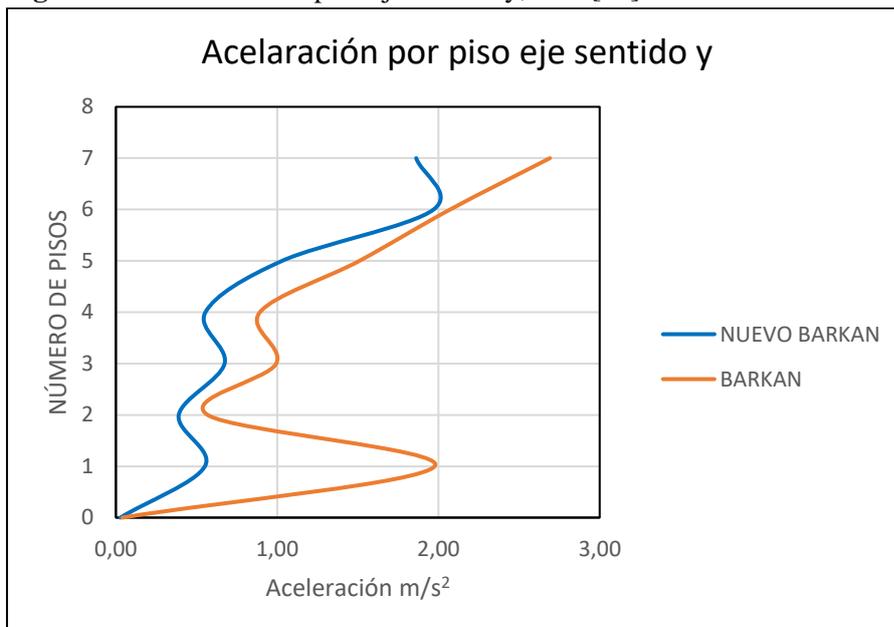


Figura 9. Aceleración de piso eje sentido y, m/s^2 [24].



Las aceleraciones por piso se obtienen del modelo ejecutado, y se muestran en las Figuras 8, 9 y Tabla 10.

Diseño de la cimentación modelo ISE Barkan

Una vez realizado el análisis de la estructura de Modelo de base rígida se sustenta en la misma para realizar el complemento tanto del modelado, prediseño y diseño del modelo ISE Barkan, se toma como base y se van verificando las condiciones de servicio propias del prediseño (desplazamientos, periodos de vibración, derivas, participaciones de masas, índices de estabilidad Q, se realizan verificaciones y se

pasan a los ajustes de acuerdo a lo que establecen las normas de la construcción NEC 15, ACI-318, AISC, ACSE.

Dentro de la modelación estructural y del análisis, una vez equilibrada la estructura, pasamos al prediseño de la subestructura, en el presente proyecto la implantación será algo particular, por cuanto se trata de un terreno laderoso con una pendiente significativa, por el relieve y las solicitaciones arquitectónicas se fundará en un suelo tipo D, para el cual se dispone del estudio de suelos para el lugar específico, todo el estudio se sustentará en el mismo.

Para la temática principal como fue el estudio y la aplicación de la Interacción Suelo- Estructura se recibió información muy importante de parte de Sísmica Institute, impartida por el Ing. Edison Guánchez profesor de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Curso en Ingeniería sísmica Geotécnica e Interacción Suelo-estructura.2022[27]

Para el presente estudio se buscó información relacionada a la temática no logrando encontrar satisfactoriamente, se obtuvo gran parte de la misma del curso Diseño de Edificaciones en Laderas por CEINTPERU impartido por el Ing. Carlos Mercado [30], logrando avanzar en el presente estudio.

Fue muy provechosa la impartición de conocimientos del curso de cimentaciones y diseño de estructuras impartidas por el ing. Edison Chávez.

Se destaca la impartición de conocimientos por parte del Dr. Pablo Caiza instructor de la asignatura Diseño de Cimentaciones, Maestría en Ingeniería Civil, mención Estructuras Metálicas, FICM-UTA.

De acuerdo a las solicitaciones propias del terreno el diseño arquitectónico se sustentó en tres desniveles, lo que implicó diseñar tres niveles de cimentaciones tal como se indica en los planos arquitectónicos, de acuerdo al prediseño y diseño en el modelo inicial de base rígida se determinó un sistema de zapatas aisladas, ya para la modelación del modelo ISE Barkan se mantuvo la misma, los resultados obtenidos tanto de prediseño como de diseño se irá presentando más adelante.

Una vez haber cumplido con las condiciones anteriores de servicio pasamos al diseño de tal manera que pasamos a cumplir las condiciones últimas o por resistencia.

Basado en criterios de diseño de cimentaciones realizado por algunos investigadores como Terzaghi, Hansen, Meyerhof entre otros, sumado la AASHTO, nos ayudan a determinar los posibles esfuerzos admisibles del terreno y los posibles asentamientos.



Se procede a realizar un prediseño para la cual nos sustentamos en la Tabla 4-52.

Determinación de un Q promedio, utilizando diferentes métodos realizados por varios investigadores, se muestran a continuación en las Tablas 11 hasta la Tabla 16 y Figura 10.

Tabla 11. Datos del edificio [31].

Referencia:	Braja, M. D. (2013). Fundamentos de ingeniería geotécnica. [32]		
	Hugo Bonifaz et		
Autores:	al.		
Datos			
Datos De Edificio			
Ubicación:	AMBATO		
Tipo de suelo:	arena -limosa		
Tipo de suelo:	SM		
f_c =	240	Kg/cm ²	
$E_c=12000\sqrt{f_c}$	185903,201	Kg/cm ²	

Tabla 12. Datos del suelo [31].

Datos del suelo			
Cohesión del suelo	c =	0	T/m ²
Peso específico del suelo	γ =	1,7	T/m ³
Profundidad de la cimentación	D_f =	1,4	m
Ángulo de fricción del suelo	ϕ =	27	°
Dimensión de cada lado/ diámetro	B =	2,1	m
Factor de seguridad	FS =	3	

Tabla 13. Cálculo de cargas [31].

Cálculo de la cargas		
N° pisos	2	
Altura piso:	3,6	m
Losa	13	cm
DEP	0,2	t/m ²
Inaccesible:	0,1	t/m ²
CD (sobrecarga):	0,3	t/m ²
CV:	0,26	t/m ²

Tabla 14. Cálculo de cargas muertas [31].

Cargas	
Elemento	tonf
Losa	11,62
Viga	0,00
Columnas	1,16
Paredes	5,81
Acabados	4,65
Carga Muerta	45,39
Carga Ultima:	70,58

Tabla 15. Ancho del cimiento vs Presión de contacto [31].

Df	B	P	A zapata	Presión de Contacto <math>q_{adm}</math>
[m]	[m]	[t]	m ²	T
1,4	1,2	70,58	1,44	49,01
1,4	1,3	70,58	1,69	41,76
1,4	1,4	70,58	1,96	36,01
1,4	1,5	70,58	2,25	31,37
1,4	1,6	70,58	2,56	27,57
1,4	1,7	70,58	2,89	24,42
1,4	1,8	70,58	3,24	21,78
1,4	1,9	70,58	3,61	19,55
1,4	2	70,58	4	17,64
1,4	2,1	70,58	4,41	16,00
1,4	2,2	70,58	4,84	14,58
1,4	2,3	70,58	5,29	13,34
1,4	2,4	70,58	5,76	12,25
1,4	2,5	70,58	6,25	11,29
1,4	2,6	70,58	6,76	10,44
1,4	2,7	70,58	7,29	9,68
1,4	2,8	70,58	7,84	9,00
1,4	2,9	70,58	8,41	8,39
1,4	3	70,58	9	7,84

Figura 10. Ancho del Cimiento Vs Presión de Contacto [31].

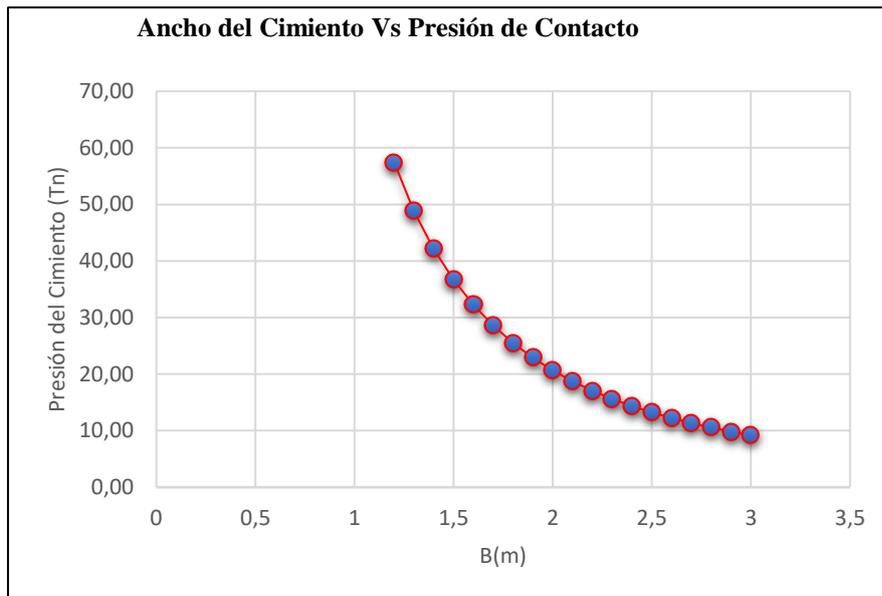


Tabla 16. Tabla comparativa Qadm. [31].

Tabla comparativa					
	TERZAGHI	MEYERHOF	HANSEN	VESIC	AASHTO
Nq	15,90	23,94	23,94	23,94	23,94
Nc	29,24	13,20	13,20	13,20	13,20
Ny	13,15	9,46	9,32	12,43	12,43
Sc	---	1,53	1,55	1,55	1,55
Sq	---	1,27	1,51	1,51	1,51
Sy	---	1,27	0,60	0,60	0,60
Df/B	---	---	0,67	0,67	0,667
K	---	---	0,7	0,7	---
Dc	---	1,22	1,27	1,27	---
Dq	---	1,11	1,20	1,20	---
Dy	---	1,11	1,00	1,00	---
Qu	56,62	67,82	67,01	70,34	60,73
FS	3	3	3	3	3
Qadm	18,87	22,61	22,34	23,45	20,24
Qadm promedio	21,50				

Determinación de los asentamientos posibles por varios métodos de investigadores, se muestra el procedimiento en las Tablas 17 hasta la Tabla 20.

Tabla 17. Asentamiento por método de Meyerhof [31].

Referencias:	Braja M. Das (2012). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. Séptima edición		
Autores:	Abalco Estefany, Guamán Evelyn, Narváez Bryan, López Andrés		
Asentamiento por método DE MEYERHOF			
Cohesión del suelo	$c=$	0,00	[Ton/m ²]
Peso específico del suelo	$\gamma=$	1,70	[Ton/m ³]
Profundidad de la cimentación	$D_f =$	1,40	[m]
Ángulo de fricción del suelo	$\phi=$	27,00	°
Dimensión de cada lado/ diámetro	$B=$	2,10	[m]
Dimensión de cada lado/ diámetro	$L=$	2,10	[m]
Ángulo de inclinación	$\theta=$	0	°
N60 en la profundidad de la influencia de esfuerzo	$N_{60}=$	24	
Nivel freático	$D_w=$	0	

Tabla 18. Q adm [31].

MÉTODOS	Q adm tonf/m²	Q neta KN/m²
TERZAGHI	18,87	180,79
MEYERHOF	22,61	218,14
HANSEN	22,34	215,43
VESIC	23,45	226,53
AASHTO	20,24	194,51

Tabla 19. Factor de corrección por la profundidad d_f [31].

Factor de corrección por la profundidad d_f	
MÉTODOS	F_d
TERZAGHI	1,220
MEYERHOF	1,220
HANSEN	1,220
VESIC	1,220
AASHTO	1,220



Tabla 20. Asentamiento elástico [31].

Asentamiento elástico	
MÉTODOS	Se mm
TERZAGHI	9,45
MEYERHOF	11,41
HANSEN	11,27
VESIC	11,85
AASHTO	10,17

Una vez determinado un valor de Q promedio se procede a diseñar, cabe indicar que de acuerdo al estudio de suelos realizado en el lugar de implantación de la estructura se obtuvo un q_{adm} de 150 KN/m^2 , y comparado con el Q promedio obtenido anteriormente nos indica que necesariamente se deberá realizar un mejoramiento del suelo natural a fin de proceder a implantar la estructura.

Tabla 21. Diseño de zapatas cuadradas aisladas [31].

Diseño de zapatas cuadradas aisladas		
$P_D =$	829	KN
$P_L =$	195	KN
$P_S =$	60	KN
$P_u =$	1332,7	KN
$a =$	50	cm
$b =$	50	cm
$cover =$	7,5	cm
$f_c' =$	24	MPa
$g_c =$	15	KN/m^3
$g_s =$	15	KN/m^3
$f_y =$	420	MPa
$l =$	1	
$q_{acarg\ vert} =$	215	KN/m^2
$q_{diseño} =$	279,5	KN/m^2
$d_{grade} =$	1,2	m
$h_{prueba} =$	40	cm
$d =$	28,69	cm
$q_e =$	261,5	KN/m^2
$l_{min} =$	2,04	m
$l =$	2,1	m
$q_u =$	302,2	KN/m^2
$select\ h =$	40	cm
$d =$	28,69	cm
$M_u =$	203,0781	m-KN
$R_n =$	1,30539	MPa
$r =$	0,00321	
$A_{s, flexure} =$	19,37	cm^2
$A_{s, t\&s} =$	15,12	cm^2
$A_{s, min} =$	20,08	cm^2
$A_s =$	20,08	cm^2

Cortante bidireccional			
	$V_{u2} =$	1145,6	KN
	$b_o =$	314,76	cm
	$a_s =$	40	
	$b_c =$	1	
	$d_{2, shear} =$	30,02	cm
	$d_{2, shear} =$	19,42	cm
	$d_{2, shear} =$	21,14	cm
	$d_2 =$	30,02	cm
	$h_2 =$	38,52	cm
	$h_{prueba} - h_{2, shear} =$	1,48	

Cortante unidireccional			
	$V_{u1} =$	325,62	KN
	$d_{1, shear} =$	25,27	cm
	$h_{1, shear} =$	33,77	cm
	$h_{prueba} - h_{1, shear} =$	6,23	cm

d [mm]	no. teórico	no. de barras
10	25,75	26
12	17,77	18
14	13,04	14
16	9,99	10
20	6,4	7
25	4,09	5

Tabla 22. Resultados diseño de zapatas cuadradas aisladas [31].

$select\ h =$	40	cm		d [mm]	no. teórico	no. de barras	s, cm
$d =$	28,69	cm		10	25,75	26	8
				12	17,77	18	11,5
				14	13,04	14	15,5
$M_u =$	203,0781	m-KN		16	9,99	10	20
$R_n =$	1,30539	MPa		18	7,91	8	25
$r =$	0,00321			20	6,4	7	30,5
$A_{s, flexure} =$	19,37	cm ²		25	4,09	5	45,8
$A_{s, t\&s} =$	15,12	cm ²		Seleccione un diámetro de varilla y espaciamiento de la Tabla más arriba			
$A_{s, min} =$	20,08	cm ²					
$A_s =$	20,08	cm ²					

Resultados obtenidos por el diseño automático con el programa de cálculo [24].

El diseño de concreto se fundamenta en el ACI 318-19, revisamos las preferencias y empieza el chequeo y diseño de las zapatas.

Adicionalmente en las opciones de visualización de resultados se puede desplegar los valores de esfuerzos por cortantes y momentos en las dos direcciones eje 1 y eje 2, los mismos que deberán cumplir con la condición de diseño que los cortantes actuantes V_a , sean menores que los cortantes resistentes V_r , al igual que los momentos M_a sean menores que los M_r , respectivamente.

Se podrá obtener las presiones que ejerce la subestructura y estructura sobre el suelo a través de las zapatas.

Se presentarán a través del interfaz las ratios de punzonamiento que no deberán exceder de 1.0, lo que indicará que se está cumpliendo con lo requerido para solventar los esfuerzos, siendo que por la acción de carga que ejerce la columna sobre la zapata tiende a traspasar por la pequeña área de contacto de la misma.

Al finalizar el programa desplegará la información referente al área de refuerzo que necesitará en cada sección para absorber los esfuerzos correspondientes.

El programa nos brindará el diseño por flexión, mediante la cual obtendremos las cuantías de acero y los espaciamientos de colocación de los refuerzos en los dos sentidos cara inferior de la zapata, esto se los realiza realizando interacciones a cumplir con los parámetros pertinentes.

La estructura conforma un modelo dual, se incluyeron dos muros de sótano en los niveles base y piso 2.

a. Cortante en la zapata D2

Cortante en la zapata D2, V13 eje x, $V_a < V_r$, Tn/m [24].

Cortante en la zapata D2, V23 eje Y, $V_a < V_r$, Tn/m [24].

Tabla 23. Resultados diseño de zapatas cuadradas aisladas [31].

Rango valor cortante		
d=	38	cm
f'c=	240	kg/cm ²
b=	100	cm
Vc=	31200,8	kg
Vc=	31,2	Tn

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'c} * b * d$$

b. Momento en la zapata D2

Momento en la zapata D2, M11 eje x, $M_a < M_r$, Tn.m/m [24].

Momento en la zapata D2, M22 eje y, $M_a < M_r$, Tn.m/m [24].

Tabla 24. Resultados distorsión angular [31].

Distorsión Angular α			
0,2	Es imperceptible		
0,67	Se espera grietas, fisuras, etc. pero no se presenta daño estructural		
0,2 y 0,67	Entre los dos anteriores valores se considera asentamiento diferencial		
Col	A3	A5	Diferencia
Uz	0,44	0,67	0,23
Luz	470		
α	0,05%	CUMPLE	
Conclusión:	No se presentan asentamientos diferenciales		
Conclusión:	No se presenta Alabeo		
Referencia:	Norma Peruana [33]		

Los presentes resultados de ratios en los tres desniveles fueron ya rediseñados y fue necesario aumentar el espesor de la zapata a 0.45m, lo cual fue corregido y adoptando como nueva dimensión.



Tabla 25. Resultados del armado de acero para zapatas cuadradas aisladas [31].

Nivel	LAYER A			
	fibra inferior		fibra superior	
	ϕ cm	espaciamiento cm	ϕ cm	espaciamiento cm
-1,4	12	20	12	20
-5	20	20	18	20
-8,6	12	20	12	20

Tabla 26. Resultados del armado de acero para zapatas cuadradas aisladas [31].

Nivel	LAYER B			
	fibra inferior		fibra superior	
	ϕ cm	espaciamiento cm	ϕ cm	espaciamiento cm
-1,4	12	20	12	20
-5	18	20	16	20
-8,6	12	20	12	20

CONCLUSIONES

El tipo de estructura analizada fue un edificio de pórticos a momento intermedios IMF emplazado en ladera de pendiente intermedia, el edificio de tres niveles se compone de columnas de acero rellenas de hormigón tipo cajón, perfiles de ala ancha como vigas principales y secundarias, muros de sótano de hormigón armado, muros a corte, vigas compuestas simplemente apoyadas, zapatas aisladas, cadena de cimentación, losa tipo con placa deck.

Es necesario incluir la IDSE en todos los modelos estructurales, sea cual sea su configuracional estructural, ya sea en planta, elevación, número de plantas, tipos de sistemas de fundación.

Se deberá considerar las estructuras fundadas en laderas, por cuanto, se podría presentar la necesidad de diseñar diferentes niveles de cimentación.

Los resultados al aplicar la interacción suelo-estructura IDSE para el tipo de suelo D y de acuerdo a la aplicación del modelo estructural en un relieve de ladera se ha determinado que se presenta un incremento en los valores de desplazamientos, periodo de vibración, y derivas máximas, cortantes de piso, los índices de estabilidad Q, determinan un incremento de valores lo que implican una mayor inestabilidad estructural; los mismos que no cumplen algunos niveles de desempeño estructural, lo que

podría ocasionar daños en los elementos estructurales y no estructurales ante los eventos sísmicos que se presentaren a lo largo de la vida útil de las estructuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] S. Fuentes-Sánchez, L. González-Díaz, F. Calderín-Mestre, e 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_STRUCTURA_EN_EL_COMPORTE_INELASTICO_DE_MARCOS_DE_ACERO/links/00b7d531a40d45948b000000/INFLUENCIA-DE-LA-INTERACCION-DINAMICA-SUELO-ESTRUCTURA-EN-EL-COMPORTAMIENTO-INELASTICO-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=BF861217B616106FD22015B364D9E7FD30BDD0D3AD6825A54A3333BFCECE15F3894C47E32719F3174D258206B38BCFCA5&originRegion=us-east_1&originCreation=20220228031828
- [19] https://es.slideshare.net/Consultora_KECSAC/ingeniera-sismoresistente-sesin-1-analisis-ssmico-de-edificaciones-28097069
- [20] https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec_norma_ecuatoriana-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.
- [29] P. Caiza, Asignatura Diseño de Cimentaciones “Maestría en Ingeniería civil, Mención estructuras metálicas, Cohorte 2021. 2021.FICM-UTA, Ambato.
- [30] Braja M. Das (2012). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. Séptima edición.
- [31] <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/viviendaurbanismo/documentos/Reglamento20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>
- [32] <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34107/1/Tesis%20I.C.%201557%20-%20Quispillo%20Moroch%20Kevin%20Adri%c3%a1n.pdf>

