

INFLUENCIA DE LA RESISTENCIA DEL SUELO MEJORADO EN EL DISEÑO DE LOSA DE CIMENTACIÓN MEDIANTE UN MODELO DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA

INFLUENCE OF IMPROVED SOIL RESISTANCE ON THE DESIGN OF FOUNDATION SLAB USING A SOIL INTERACTION MODEL-STRUCTURE

 Noe Humberto Marín Bardales¹

 Guillermo David Evangelista Benites²



Fecha de recepción: 16/06/2021

Fecha de aprobación : 19/09/2021

Resumen

El crecimiento urbano, ha hecho que las edificaciones se sitúen sobre suelos flexibles, la cual su resistencia es pequeña, para las edificaciones que se desea proyectar, generando problemas de asentamiento de las estructuras y sobre esfuerzos de diseño en las losas de cimentación. Como alternativa de solución, los ingenieros civiles, colocan capas de material de préstamo (afirmado) sobre el suelo natural, para luego ser compactado. Esta técnica logra incrementar la resistencia del suelo en su conjunto, debido a que el estrato compactado, su resistencia es mayor a la del suelo natural, pero no es utilizado en el diseño de la losa de cimentación. El problema estudiado es ¿En qué medida la resistencia del suelo mejorado influye en el diseño de la losa de cimentación mediante un modelo de interacción suelo-estructura de Pasternak?. El objetivo de la investigación es determinar la influencia de la resistencia del suelo mejorado en el diseño de losa de cimentación mediante un modelo de interacción suelo-estructura. El diseño de investigación es descriptivo, no experimental. Los resultados encontrados muestran que la resistencia del suelo se incrementa en un 30.54% respecto a la resistencia del suelo natural con el material de afirmado de la cantera "Racarrumi" y el modelo dinámico N.G.Shariya expresa las condiciones de flexibilidad del suelo. Se concluye que el suelo mejorado de la cantera Racarrumi logra incrementar la resistencia de diseño en un 30.54% a una altura de capa compactada de 65 cm.

Palabras clave: Suelo mejorado; suelo flexible; losa de cimentación; interacción suelo-estructura

Abstract

Urban growth has caused buildings to be placed on flexible soils, which have a small resistance, for the buildings to be planned, generating problems of settlement of the structures and on design efforts in the foundation slabs. As an alternative solution, civil engineers place layers of loan material (affirmed) on the natural soil, to later be compacted. This technique manages to increase the resistance of the soil as a whole, because the compacted stratum, its resistance is greater than that of the natural soil, but it is not used in the design of the foundation slab. The problem studied is to what extent does the resistance of the improved soil influence the design of the foundation slab using a Pasternak soil-structure interaction model? The objective of the research is to determine the influence of improved soil strength on the foundation slab design using a soil-structure interaction model. The research design is descriptive, not experimental. The results found show that the resistance of the soil increases by 30.54% with respect to the resistance of the natural soil with the affirmed material of the quarry "Racarrumi" and the dynamic model NGShariya expresses the soil flexibility conditions. It is concluded that the improved soil of the Racarrumi quarry manages to increase the design resistance by 30.54% at a compacted layer height of 65 cm.

Keywords: Improved soil; flexible soil; Foundation slab; soil-structure interaction

¹ Magíster en Ingeniería Civil con mención en Estructuras, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, La Libertad, nhmarinb@untru.edu.pe, <https://orcid.org/0000-0003-3423-1731>

² Doctor en Ciencias e Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo, La Libertad, Perú, david_gdeb@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1955-6565>

1. Introducción

El crecimiento urbano ha generado que las construcciones de edificaciones se sitúen sobre espacios de suelo de baja resistencia; dichos suelos en mención han sido de uso agrícola. Este tipo de suelo presenta un alto contenido de material fino (Granados, 2018). Estos suelos en mención genera un gran problema en la cimentación de dichas construcciones, como son asentamientos diferenciales y sobre esfuerzos de diseño; para ello las cimentaciones que se propone por lo general es la losa de cimentación, que son utilizadas para cimentar estructuras sobre suelos cohesivos con o sin presencia de napa freática (Alva, 2018). Luego (Tenorio, 2019) (Municipalidad Provincial de Lambayeque, 2016) mencionan que gran parte de la zonas urbanas nuevas, logran ocupar espacios, donde han sido de uso agrícola, donde construyen sus edificaciones, sin darles el tratamiento de reforzamiento adecuado y reducir así la vulnerabilidad de estas edificaciones.

Por mencionar algunos hechos, se tiene el informe del diario BBC Mundo-Sección México, que expresa que los edificios construidos por profesionales y cumpliendo con lo normativo en su mayoría se han derrumbado en el sismo del 2017, ello responde a que la Ciudad de México DF, muchos edificios se han construido sobre lechos de antiguos lagos y este tipo de suelo no ha recibido el tratamiento adecuado para la exigencia sísmica (BBC Mundo, 2017). Luego en el Perú, en la Provincia de Lima, Distrito Surquillo, las edificaciones de la Urbanización Limatambo están cimentadas sobre un suelo flexible, la cual ocasiona que las edificaciones se estén hundiendo, generando fallas estructurales en la cimentación y súper estructura (Diario El Comercio, 2017).

El problema estudiado es ¿En qué medida la resistencia del suelo mejorado influye en el diseño de la losa de cimentación mediante un modelo de interacción suelo-estructura de Pasternak?. La hipótesis planteada es la resistencia del suelo mejorado influye al incrementar el valor de la capacidad portante para ser utilizada en el diseño la losa de cimentación a través de un modelo de interacción suelo estructura de Pasternak.

Los objetivos de la investigación fueron: Identificar las características geotécnicas del suelo mejorado de las canteras Tres Tomas, La Victoria, Siete Techos, La Viña, Las Delicias, Racarrumi. Identificar las características geotécnicas del edificio "B" (suelo natural). Determinar la resistencia del suelo mejorado mediante ensayos de laboratorio. Determinar la influencia del suelo mejorado en la losa de cimentación en sus esfuerzos de diseño estructural a través del modelamiento de interacción suelo-estructura de D.D.Barkan-O.A.Savinov, A.E.Sargsian y N.G.Shariya y analizar la influencia del suelo mejorado en la súper estructura (edificación) en sus fuerzas de diseño a través del modelamiento de interacción suelo-estructura de D.D.Barkan-O.A.Savinov, A.E.Sargsian y N.G.Shariya.

Como antecedentes de investigación, referentes al mejoramiento del suelo, tenemos a (Souto y Losada, 2016) que realizan una investigación sobre el proceso constructivo de sustitución parcial o total del suelo de cimentación, donde hace referencia que es una actividad muy usual en la construcción de obras civiles y cuya finalidad es proporcionar un lecho impermeable y uniforme donde se coloque la cimentación, la investigación concluye que este proceso permite reducir las deformaciones por asentamientos diferenciales y es ideal para realizarse en suelos que tiene como material predominantes arcillas, limos, arenas y cuyo ángulo de fricción interna oscila entre 30° a 32° grados. Luego (Espinoza y Torres, 2019) hacen una investigación de la mejora de la capacidad de resistencia del suelo por medio de técnicas de compactación dinámica e inserciones rígidas de material granular, donde concluye que la capacidad del suelo luego del tratamiento de compactación se incrementó de 0,8 kg/cm² a 2,5 kg/cm². Además (Herminio et al., 2020) realiza un estudio sobre la variabilidad de la densidad relativa del suelo natural y del suelo compactado, donde concluye el suelo en su estado natural o inicial, su densidad relativa oscila entre un 35% a 70% y luego de ser compactados alcanza un 60% a 80%, respecto a parámetros de densidad del suelo descritos en las

normativas de construcción.

Luego investigaciones referentes al modelo de interacción suelo estructura tenemos a (Llano y Farias ,2015) hacen un estudio de utilizar el método del punto material (modelo de interacción suelo – estructura) con la finalidad de resolver problemas geotécnicos cuasi estáticos de pequeñas deformaciones y problemas dinámicos que generan grandes distorsiones, donde concluye que el modelo de punto material muestra de manera más completa el comportamiento del suelo frente a la estructura de cimentación. De forma adicional (Fernández et al.,2015) estudió la relación de las cargas estáticas crecientes en un análisis no lineal y la influencia de la interacción suelo-estructura en marcos de acero, donde llegan a la conclusión que la interacción suelo-estructura muestra una reducción de la ductilidad de la súper estructura frente al modelo de base rígida donde los apoyos son empotrados.

Luego Jines (2017) estudia la aplicación y comparación de los diversos modelos de interacción suelo-estructura en edificaciones de sistema estructural dual y cimentación de zapatas aisladas en la ciudad de Moquegua, donde llega a concluir que los desplazamientos laterales, fuerzas sísmicas por piso, fuerzas internas y distorsiones de entre piso están en función a los coeficientes de rigidez del suelo. Luego (Tapia et al.,2017) estudia la comparación de los modelos de diseño de cimentación de base rígida y flexible en estructuras de acero, la cual llega a concluir que el modelo de base rígida no responde cuando se expone a sollicitaciones sísmica más complejas, sobre suelos blandos.

Se suma la investigación de (Rodríguez et al.,2017), que hace un estudio sobre cuantificar la ductilidad cíclica de los sistemas de un grado de libertad en su análisis no lineal bajo el modelo de interacción suelo-estructura, la conclusión que llega la investigación es que el modelo de interacción suelo-estructura genera períodos mayores, debido a considera la flexibilidad del suelo. Luego (Benedetti, Zúñiga y Opazo, 2017) investiga la consideración del modelo de interacción suelo estructura, donde concluye que se debe tomar en cuenta este modelo para el diseño de cimentación, cuando el estrato de suelo de suelo flexible es superior a los 3 metros de profundidad y la edificación es mayor a 30 metros de altura. A la vez (Villareal ,2018) describe en su libro los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura basados en los modelos de Winkler y Pasternak, donde hace referencia que los componentes del modelo dinámico de Pasternak idealizan con mayor detalle las condiciones del suelo y su influencia con la cimentación y súper estructura.

Se suma las investigaciones como (Villavivencio y Peñafiel, 2019) hacen referencia de los parámetros de rigidez que considera los modelos de interacción suelo-estructura, están relacionados a las propiedades del suelo y su característica de la cimentación, lo cual consolida en uno solo relacionando la participación entre ellos, actuando como un solo elemento. Luego (Guerdouh y Khalfallah , 2019) en su estudio sobre el comportamiento de suelo en relación a su estructura, donde concluye que las estructuras cimentadas sobre suelos rígidos el modelo de empotramiento es el ideal para su idealización y para suelo flexibles el modelo de interacción suelo estructura; donde el componente de análisis es la dirección “z” para representar el suelo.(Morales , Carrión y Espinoza, 2019) demuestran que la interacción suelo-estructura aumenta los periodos de vibración y derivas de entre piso en función a la estructura a proyectar, ya que influye otros parámetros como la altura, irregularidades estructurales y propuesta arquitectónica .

Por último (Rodríguez , 2019) investigó la relación de las características del suelo que intervienen en el análisis sísmico relacionando la interacción suelo – estructura y el líquido almacenado, donde concluye que el modelo de base rígida es ideal para suelos rígidos (roca y material granular) pero no se adecua para suelo flexibles (material fino), la cual recomienda considera los los componentes de rigidez del suelo. (Pinto y Ledezma, 2019) hace un estudio sobre analizar el comportamiento sísmico de una edificación de gran altura y con sótano, bajo el

modelo de interacción suelo-estructura, la cual concluye que el modelo de interacción suelo-estructura cambia sustancialmente la distribución de presiones en la cimentación y su respuesta dinámica sobre la estructura (deformaciones laterales y distorsiones de entre piso). (López , 2019) hace referencia, que la fuerza sísmica total (cortante basal) es superior a la cortante estática a la de base rígida en suelos flexibles, en un rango de 15% a 20% lo cual genera dirige a realizar estructuras de mayor rigidez. (Tena ,2019) hace un estudio sobre la importancia de tomar en consideración la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño sismo resistente de estructura en la ciudad de México DF, llegando a concluir los ingenieros estructurales y geotecnistas cometen un error al no considerar en el diseño los efectos de la interacción suelo-estructura, generada por suelos blandos, debido que con este modelo se genera mayores fuerzas sísmicas, lo cual se logra estructuras más rigidizadas.

Referente al uso de material granular como mejoramiento del suelo y el diseño en la losa de cimentación , ello hace referencia al (Reglamento Nacional de Edificaciones , 2018) hace referencia sobre el uso de rellenos controlado o de ingeniería donde los parámetros a controlar son la densidad de campo , el cual debe ser superior al 90% del ensayo de Proctor Modificado y la utilización de dicha relleno debe ser en edificaciones cuyas áreas construidas son superiores a los 250 m² con un espesor de material de préstamo de 0,30m . (Díaz, 2015) en su investigación muestra sobre el proceso constructivo de estructuras sobre suelos saturados o blandos, la cual concluye en que cimentación, debe llevar material de préstamo(afirmado) compactado a una altura propuesta de 40 cm, lo cual incrementa la resistencia en un 15% respecto a la del suelo natural. Se suma (Jiménez, 2018) que hace una investigación referente a la cimentación en edificios de gran altura, donde considera que dichos edificios son superiores a los 30 m y su cimentación está en función a la carga a transmitir y el tipo de suelo, siendo la losa de cimentación una opción a considerar, dicha cimentación debe apoyarse sobre una plataforma de agregado granular compactado superior a los 20 cm, esta investigación no considera la resistencia que incrementa la capa de material granular. Luego el texto (Camacho y Sempertegui , 2018) sobre diseño de losas de cimentación, menciona que la verificación del diseño estructural se debe comprobar las presiones transmitidas hacia el suelo que deben ser inferiores a la capacidad portante del suelo.

La justificación de la investigación principalmente en generar conocimiento sobre la técnica utilizada de incorporar suelo de mejores características geotécnicas (afirmado) y compactarlo sobre el suelo natural, logrando incrementar su resistencia, este valor no es considerado por la normativa E050-Mecánica de Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018). De forma adicional se genera conocimiento que la mejor opción para un diseño sísmico correcto es considerar la flexibilidad del suelo y su interacción con la súper estructura a través de un modelamiento interacción suelo-estructura.

2. Materiales y Métodos

El tipo de investigación es descriptivo, no experimental debido a que se describe las características geotécnicas del suelo natural, suelo mejorado y el comportamiento de los modelos dinámicos de interacción suelo-estructura y la cimentación. El estudio presenta un enfoque cuantitativo debido a que pretende cuantificar los valores del comportamiento del suelo mejorado, la cimentación y su influencia en la súper estructura bajo un modelo de interacción suelo-estructura.

La técnica utilizada es la observación y revisión documentaria. Los instrumentos utilizados son: Equipo de clasificación de suelos, determinación de resistencia a la comprensión confinada, corte directo y ficha de recolección de datos. La población está determinada por todas las canteras de agregados de afirmado de la región Lambayeque las cuales son 6 canteras. La muestra de estudio ha sido seleccionada por conveniencia y son la totalidad de las canteras: Tres Tomas, La Victoria, Siete Techos, La Viña, Las Delicias y Racarrumi. El procedimiento de la investigación

se muestra la Figura 1, que refleja el proceso que realizó el presente estudio.



Figura 1. Procedimiento que desarrollo la investigación.
Elaboracion propia

3. Resultados

Sobre la identificación de las características geotécnicas del suelo mejorado de las canteras Tres Tomas, La Victoria, Siete Techos, La Viña, Las Delicias, Racarrumi, se muestra la Tabla 1.

Tabla 1

Resumen de las características geotécnicas del afirmado de las canteras

Características geotécnicas	Cantera “Tres Tomas”	Cantera “La Victoria”	Cantera “Siete Techos”	Cantera “La Viña”	Cantera “Las Delicias”	Cantera “Racarrumi”
Contenido de humedad (%)	0.54	1.02	3.29	1.33	2.3	1.02
Tipo de suelo	SW	SW	GP	SP	SP	SP
Límite Líquido (LL)	No presenta	21.88	21.06	No presenta	No presenta	24.54
Límite Plástico (LP)	No presenta	18.68	12.66	No presenta	No presenta	15.6
Índice plásticidad (IP)	No presenta	3.2	8.4	No presenta	No presenta	8.94
Sales solubles (ppm)	3.1	3.1	2.04	0.01	0.5	3.15
Máxima densidad seca	2.235	1.14	2.205	1.28	3.95	3.84
Óptimo contenido de humedad	5.9	11.11	8.06	9.34	5.69	7.71

La Tabla 1 muestra las características geotécnicas de los agregados de las canteras de la Región Lambayeque. Cada cantera brinda como productos los agregados en sus modalidades como “arena fina”, “arena gruesa”, “hormigón”, piedra chancada (diámetro de 1/2 ,3/4 y 1 pulgada) y afirmado. Los cuales son utilizados para obras de construcción. Entre todas las canteras resalta los agregados de la cantera “Racarrumi” que presenta el mayor valor de máxima densidad seca. Un aspecto resaltante es que las canteras en su mayoría no presentan límites de consistencia (líquido y plástico) debido a que el material estudiado en laboratorio es afirmado (arena gruesa), sobre el contenido de sales solubles cuyo valor máximo es 3.1% ppm, es inferior a lo que menciona la E060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018).

La Tabla 2 muestra las características geotécnicas del edificio “B” (suelo no mejorado).

Tabla 2

Resumen de las características geotécnicas del suelo del edificio “B”

Profundidad (m)	Muestra	Ensayo de laboratorio	
0 – 0,45	E1	Peso específico (gr/cm ³)	2,79
		Contenido de humedad(%)	5,75
		Contenido de sales	44
0,45 – 0,95	E2	Peso específico (gr/cm ³)	2,95
		Contenido de humedad(%)	7,53
		Contenido de sales	32
0,95 – 1,35	E3	Peso específico (gr/cm ³)	2,7
		Contenido de humedad(%)	12,82
		Contenido de sales	40
1,35 – 2,25	E4	Peso específico (gr/cm ³)	2,9
		Contenido de humedad(%)	14,78
		Contenido de sales	36
2,25 - 3	E5	Peso específico (gr/cm ³)	2,8
		Contenido de humedad(%)	18,55
		Contenido de sales	52
		Límite líquido (%)	36,66
		Límite Plástico (%)	20,60
		Índice de Plasticidad(%)	16,07
		Clasificación (SUCS)	CL
		Cohesión del material (C)	0,3295
		Ángulo de fricción interna (ϕ)	28,98
		Capacidad portante del suelo (Kg/cm ²)	2,17

Respecto a la resistencia del suelo mejorado, se muestra que partir de a partir de 65 cm de estrato de afirmado (ver Figura 2) , donde la cantera “Racarrumi” logra superar la resistencia de diseño.

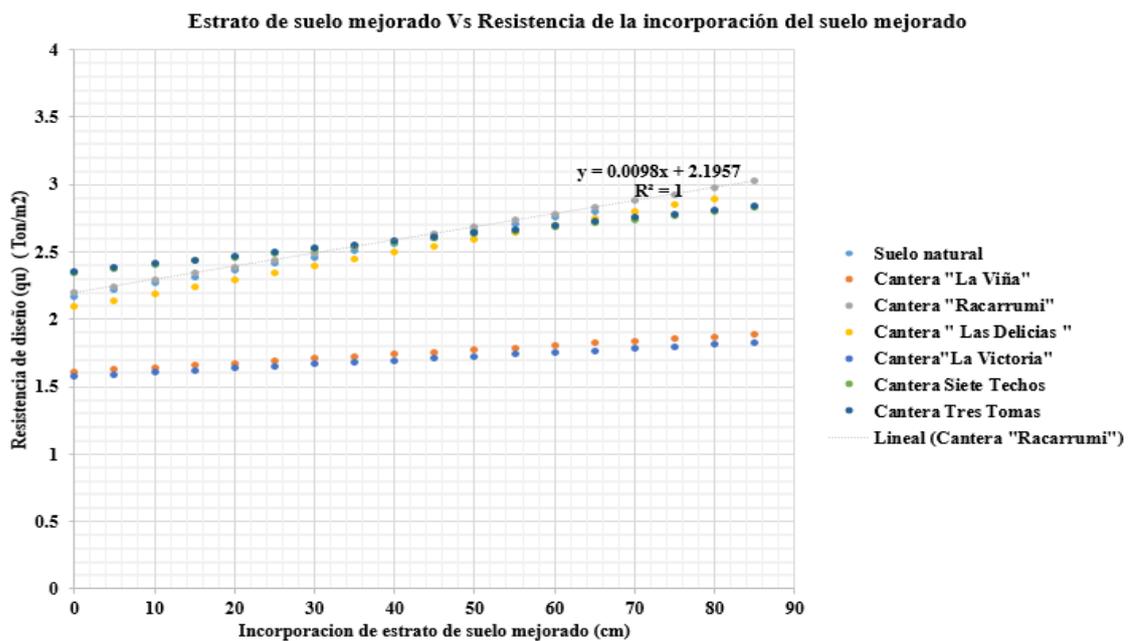


Figura 2. Relación de la incorporación de suelo mejorado Vs la Resistencia de diseño.

Elaboración propia

De la figura 2, se construye la siguiente ecuación:

$$C_{pn} = 0.0098h_{afirmado} + 2.1957 \left(\frac{Ton}{m^2} \right)$$

Donde: $h_{afirmado}$: Altura de afirmado en metros ; C_{pn} : Capacidad portante nueva del suelo (Ton/m²)

La expresión matemática está restringida para este caso particular de a partir de 65 cm lograr una notoriedad en incrementar la resistencia del suelo respecto a la del suelo natural en un 30.54%

Sobre la influencia del suelo mejorado en la losa de cimentación en sus esfuerzos de diseño a través de los modelos dinámicos D.D.Barkan-O.A.Savinov, A.E.Sargsian y N.G.Shariya se muestra la Figura 3. La Figura 3.b, los esfuerzos por gravedad reflejan una área más amplia en la losa de cimentación, mientras que aplicando la interacción suelo-estructura, en la Figura 3.f, logra una concentración de los esfuerzos de diseño por sismo que son los más exigentes.

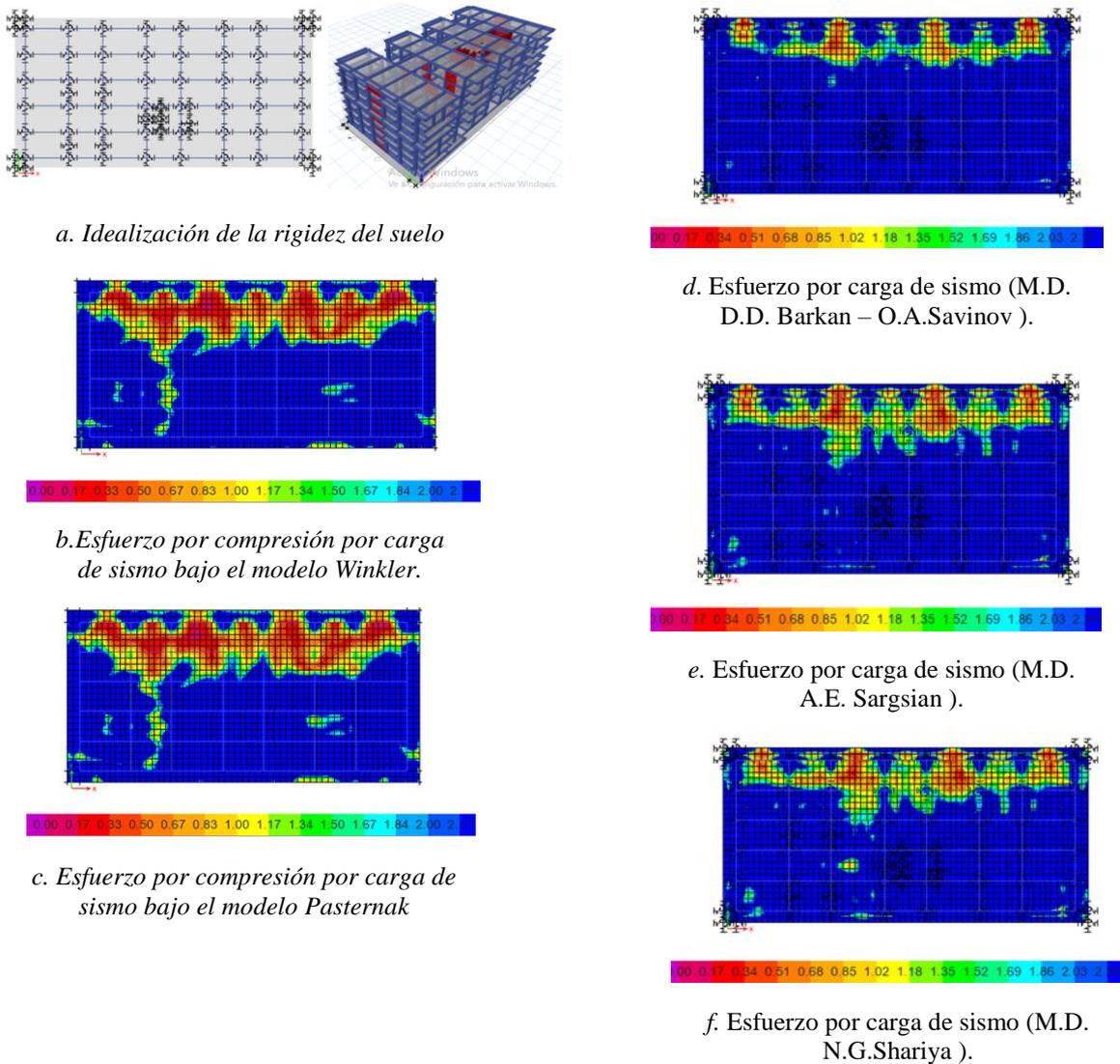
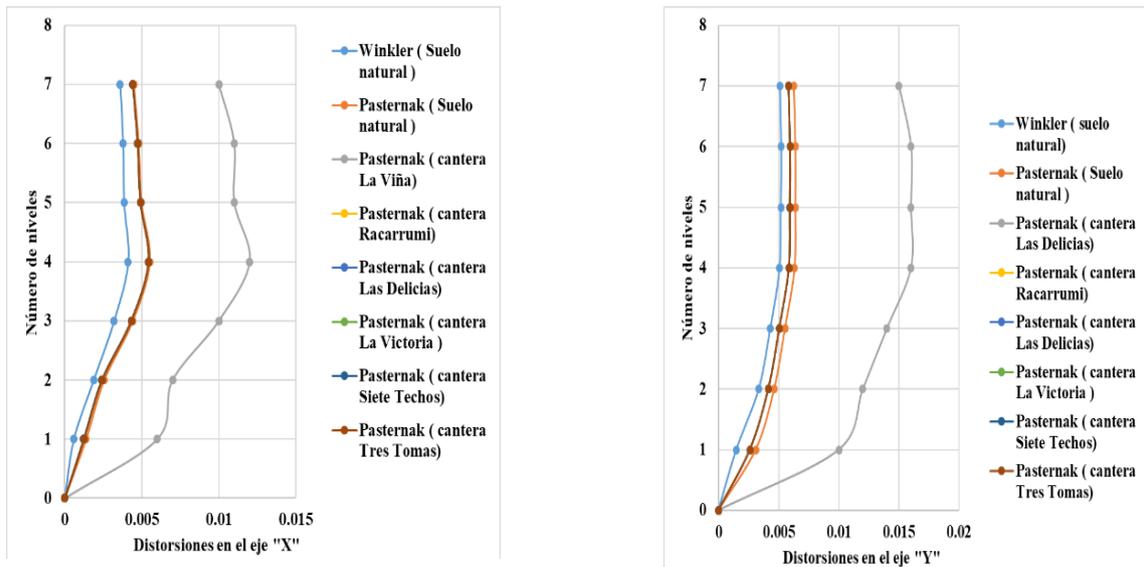
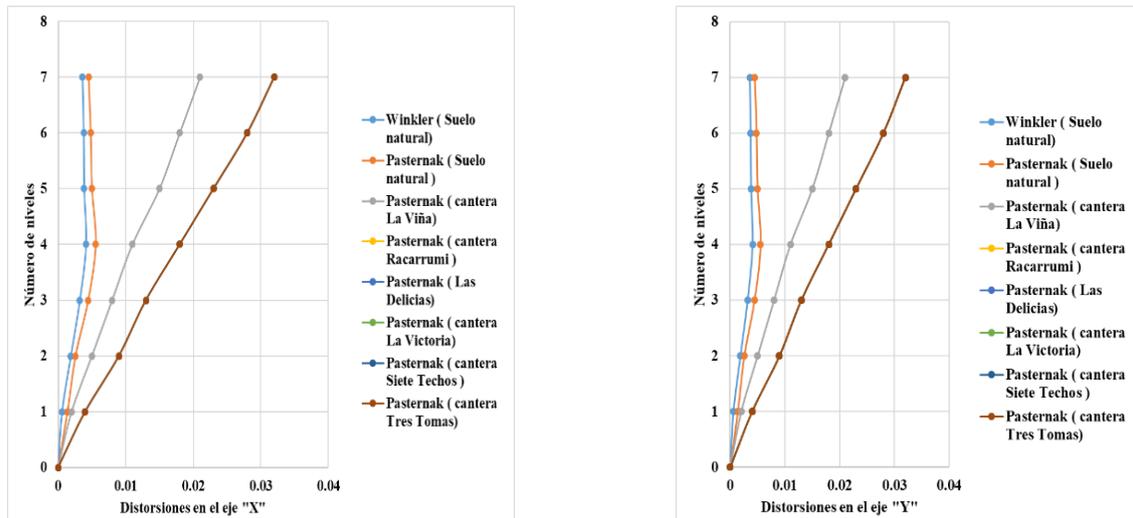


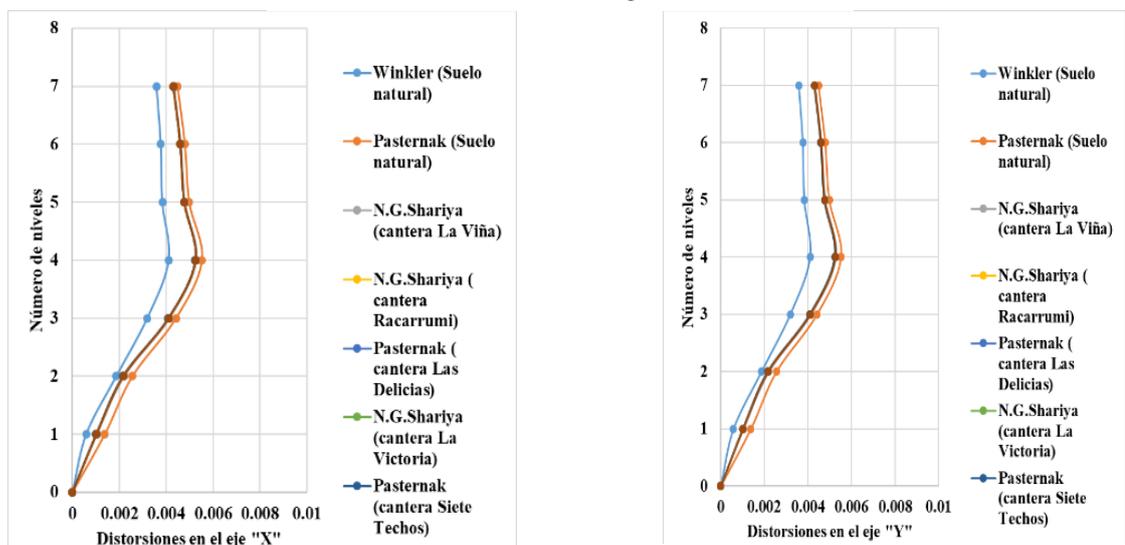
Figura 3. Esfuerzo por compresión bajo los modelos de flexibilidad del suelo
Fuente: Elaboracion propia



a. M.D. Barkan-O.A.Savinov



b. M.D. A.E.Sargsian



c. M.D. N.G.Shariya en el eje "X"

Figura 4. Derivas de entre piso en los ejes "X" y "Y" bajo los modelos dinámicos de interacción suelo

En la Figura 4.a y Figura 4.b muestra que las derivas se comportan de manera distinta por cada cantera de forma independiente, tanto en el eje “X” y “Y”, lo cual debe seguir el modelo normativo de la E030 (Modelo de Winkler). Por otro lado, en la Figura 4.c. todas las canteras presentan un comportamiento similar al modelo del reglamento, tanto en la dirección “X” e “Y”, lo cual expresa de manera uniforme la influencia del suelo a la estructura.

Otro aspecto que suma dentro de la investigación es la reducción de las dimensiones de la estructura bajo el modelo del Reglamento Nacional de Edificaciones (Modelo de Winkler) y el Modelo de Pasternak donde se agregó afirmado como **mejoramiento del suelo de la cantera “Racarrumi”**. El cuál muestra el siguiente cuadro comparativo.

Tabla 3

Reducción de los elementos estructurales del suelo natural y suelo mejorado

Dimensiones de la viga de cimentación y losa de cimentación bajo los modelos de interacción suelo estructura			
Modelo del Reglamento Nacional de Edificaciones (Modelo Winkler)		Modelo de Pasternak Suelo mejorado de la cantera “Racarrumi”	
Altura de Viga de cimentación (m)	Altura de losa de cimentación (m)	Altura de Viga de cimentación (m)	Altura de losa de cimentación (m)
1.8	0.60	1.20	0.40

4.Discusión

Sobre la identificación de las características geotécnicas del suelo mejorado (afirmado) de las canteras en estudio, se siguió los parámetros y recomendaciones de Manual de Carreteras, Suelos, Geotécnica y Pavimentos del Ministerio de Transporte y Comunicaciones, que menciona que los ensayos que debe realizarse son: límites de consistencia, máxima densidad seca, óptimo contenido de humedad y porcentaje de sales solubles (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014).Luego a las características geotécnicas del edificio “B”. La norma E050-Suelo y Cimentaciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) nos menciona que los ensayos básicos a realizar son el contenido de humedad, contenido de sales solubles, límites de consistencia, clasificación de suelos, coeficiente de cohesión, ángulo de fricción interna y capacidad portante. Referente a ello la Tabla 2 muestra los valores de los 05 estratos analizados del pozo de exploración (calicata), donde el suelo presenta una clasificación “CL”, siguiendo con los parámetros de la norma mencionada.

Sobre la determinación de la resistencia del suelo mejorado (afirmado) (Souto y Losada, 2016) manifiesta que el tratamiento de colocación de un material de afirmado es con fines de impermeabilización y tener una superficie uniforme en donde se apoya la losa de cimentación. Lo mencionado se relaciona con la investigación en lograr una capa de impermeabilización, pero se implementa el considerar la resistencia que genera material de préstamo. Luego (Espinoza y Torres, 2019) expresa que la capacidad del suelo aumenta mediante la aplicación de equipos de compactación dinámica de 0,8 kg/cm² a 2,5 kg/cm², lo cual representa para estudio en particular un incremento del 312.5%; lo sustentado por los investigadores guarda relación con el estudio en plantear la técnica de compactación de suelos, lo que lo diferencia del estudio es usar mayor energía de compactación proporcionada por el equipo de compactación dinámica en comparación a la compactación con equipo de rodillo. A la vez (Herminio et al., 2020) refiere que la compactación de un suelo lograr incrementar su densidad en un rango del 60% al 80% del valor

inicial (suelo compactado de forma natural). Dicha investigación guarda relación con el estudio, el valor en que aumenta su densidad oscila dentro de rango expuesto.

Sobre los modelos de interacción suelo estructura (Llano y Farias ,2015) manifiestan que el modelo de punto material o modelo de coeficiente de rigidez del suelo expresan con mayor detalle el comportamiento del suelo con respecto a la estructura de cimentación. El resultado mostrado en la Figura 3, concuerda con los investigadores citados, donde el modelo de interacción suelo estructura describe las los gráficos de presiones sobre el suelo. Luego (Fernández et al.,2015) ,Jines (2017) y (Tapia et al.,2017) expresa que interacción suelo-estructura aplicado en estratos blandos de suelos muestra mayores esfuerzos frente al modelo de base rígida donde los apoyos son empotrados, lo cual genera mayores distorsiones entre piso. Lo expresado por los investigadores se relaciona con lo estudiado, ello se muestra en la Figura 4, que refleja los diagramas de distorsiones entre piso por cada modelo aplicado de interacción suelo estructura.

Por otro lado (Rodríguez et al.,2017) y (Benedetti, Zúñiga y Opazo, 2017) expresan sobre los periodos de vibración y la relación con su altura de la estructura. Ello concuerda con lo investigado en que los periodos de vibración son mayores ,el estrato de suelo flexible en la Tabla 2 muestra que en los 3 metros de exploración hay un suelo flexible y la altura de la edificación analizada es superior a los 30 m.

Se suma (Villareal,2018) , (Villavivencio y Peñafiel, 2019), (Guerdouh y Khalfallah , 2019) y (Morales , Carrión y Espinoza, 2019) que estudian los diversos modelos de interacción suelo estructura, la consideración de modelar la estructura como un todo (suelo – estructura), la idealización de los coeficientes de rigidez en la dirección “z”. Lo referido por los autores concuerda con lo desarrollado en considerar la modelación como un todo (suelo-estructura), la aplicación de los diversos modelos de interacción suelo estructura para evaluar su comportamiento (Figura 4), pero se difiere en que, para estructuras de clasificación esencial, debe considerarse las tres direcciones “x”, “y” y “z”.

También (Rodríguez , 2019) , (Pinto y Ledezma, 2019), (López , 2019) y (Tena, 2019) expresan que el modelo de interacción suelo estructura es ideal para modelar estructura que estén cimentadas en un suelo flexible y con más precisión en edificaciones que presentan sótanos, el modelo aplicado genera mayores distorsiones entre piso y fuerza sísmica de diseño, ello conlleva a rigidizar la estructural y aumentar la seguridad estructural de la edificación. Lo expuesto, se relaciona con lo investigado, ya que la estructura se apoya sobre un suelo flexible, las distorsiones de entre piso son mayores que la norma E030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento,2018) (Ver Figura 4).

Sobre al uso de material granular como mejoramiento del suelo y el diseño en la losa de cimentación, el (Reglamento Nacional de Edificaciones , 2018) menciona que debe aplicarse en estructuras superiores o iguales a 250 m². El concuerda con la investigación, debido a que presenta un área superior a los 250m². Luego (Díaz, 2015), (Jiménez, 2018) y (Camacho y Sempertegui , 2018) mencionan que el mejoramiento del suelo, debe ser aplicado a edificaciones superiores a los 30 m de altura, con capas superior a los 20 cm, lo cual logra incrementar la resistencia entre un 15% a 20% de la resistencia inicial. Lo investigado concuerda con lo desarrollado en el estudio, la edificación es mayor a 30 metros de altura y a capa de afirmado planteado es 65 cm logrando un incremento del 30.54%, el cual se afirma que logra incrementar su resistencia del suelo e influye en el diseño de la cimentación.

5. Conclusiones

Las características geotécnicas del suelo mejorado (afirmado) fueron: contenido de humedad, clasificación SUCS, límites de consistencia, sales solubles, óptimo contenido de humedad y máxima densidad seca. Donde el material de afirmado de las canteras “Las Delicias” y “Racarrumi” presentaron los valores más altos de máxima densidad seca.

Las características geotécnicas del suelo del edificio “B” están representadas por granulometría, peso específico, contenido de humedad, contenido de sales, ángulo de cohesión, clasificación SUCS y capacidad admisible, donde suelo corresponde a un estrato blando (CL) y capacidad portante 2.17 kg/cm^2 .

La resistencia del suelo mejorado de la cantera “Racarrumi” incremento en un 30.54% respecto a la del suelo natural a partir de la incorporación de 0.65 m de material de afirmado, ello se refleja en la ecuación $C_p = 0.0098h_{\text{afirmado}} + 2,1957 \text{ (Ton/m}^2\text{)}$, donde $h_{\text{afirmado}} \geq 65 \text{ cm}$ donde “ C_p ” es la capacidad portante del suelo, “ h_{afirmado} ” es la altura de afirmado en centímetros.

El modelo dinámico de N.G.Shariya aplicado al suelo mejorado logro brindar un mejor detalle de los esfuerzos generados por las cargas de servicio en las losa de cimentación y al acción de suelo mejorado donde se apoya.

El modelo dinámico de N.G.Shariya, muestra un comportamiento sísmicos similar a la establecido a la normativa E030 (Sismorresistencia).

6. Referencias Bibliográficas

- Benedetti, F., Zúñiga, F., & Opazo, A. (18 de diciembre de 2017). Efecto de la variabilidad de la rigidez del sitio de fundación en el desempeño sísmico. *Obras y proyectos*(22), 39-40. Recuperado el 08 de agosto de 2021, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n22/0718-2805-oyp-22-0031.pdf>
- Jiménez Cordero, N. (2018). *Cimentación en los edificios de gran altura*. Universidad de Sevilla, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla. Sevilla: Repositorio Institucional. Recuperado el 08 de agosto de 2021, de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/82371/aotfgetsa196.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López Campos, W. (2019). *Revisión sistemática: comportamiento estructural considerando la interacción suelo-estructura de una edificación*. Artículo de revisión sistemática, Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Trujillo. Recuperado el 04 de agosto de 2021, de <https://hdl.handle.net/11537/21000>
- Souto Soubrier, J., & Losada Pinedo, A. (14 de noviembre de 2016). Selección de técnicas de mejora de suelos en proyectos de obra civil. *Ingeopres: Actualidad técnica de ingeniería civil, minería, geología y medio ambiente*(254), 54-60. Recuperado el 08 de agosto de 2021, de <http://www.interempresas.net/Flipbooks/IG/254/html5forpc.html>
- Alva Hurtado, J. (2018). *Diseño de Cimentaciones* (Vol. 1). (I. d. Gerencia, Ed.) Lima, Lima, Perú: Instituto de Construcción y Gerencia. Recuperado el 22 de marzo de 2021, de <http://www.jorgealvahurtado.com/files/DisenoCimentacionesAlva.pdf>
- BBC Mundo. (20 de setiembre de 2017). *BBC Mundo*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-41342143>
- Camacho Torrico, L., & Sempertegui Tapia, G. (2018). *Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de Fundaciones I* (Vol. I). Cochabamba, Cochabamba, Perú. Recuperado el 08 de agosto de 2021, de <http://www.fcyt.umss.edu.bo/materias/>

- Díario El Comercio. (22 de setiembre de 2017). *Sucesos Regionales*. Obtenido de <https://elcomercio.pe/lima/sucesos/surquillo-denuncian-edificios-urbanizacion-limatambohunden-noticia-460327>
- Díaz Loachamín, J. (2015). *roceso Constructivo de Cimentaciones para Edificaciones de Hormigón Armado de hasta cinco pisos en terrenos saturados, en el Barrio Santa Isabel - Cantón Quito*. Universidad Internacional del Ecuador, Escuela de Ingeniería Civil. Quito: Repositorio Institucional. Recuperado el 08 de agosto de 2021, de <https://repositorio.uide.edu.ec/bitstream/37000/2142/1/T-UIDE-1220.pdf>
- Espinoza Rodriguez , C., & Torres Delgado, C. (2019). *Evaluación técnica y económica para el mejoramiento de suelos finos con fines de cimentación, por medio de compactación dinámica e inclusiones rígidas*. Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería. Lima: Repositorio institucional. Recuperado el 05 de agosto de 2020, de https://repositorio.urp.edu.pe/bitstream/handle/URP/2928/CIV_T030_46118416-T%20%20%20TORRES%20DELGADO%20CHRISTIAN%20MARTIN.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Fernández Sola, L., Tapia Hernández , E., & Dávalos Chávez, D. (30 de julio de 2015). Respuesta inelástica de marcos de acero con interacción inercial suelo - estructura. *Ingeniería Sísmica*(92), 21-30. Recuperado el 18 de febrero de 2020, de <http://www.scielo.org.mx/pdf/ris/n92/0185-092X-ris-92-00001.pdf>
- Granados Flores, A. (01 de setiembre de 2018). La expansión urbana como centro de tensión entre la normativa liberalizadora y la planificación urbana en Perú (1995-2019). (S. Castro Otálora, Ed.) *Revista de Ciudades, Estados y Políticas*, 5(3), 37-55. doi:<https://doi.org/10.15446/cep.v5n3.82185>
- Guerdouh, D., & Khalfallah , S. (julio de 2019). Efectos de la interacción suelo-estructura sobre el comportamiento sísmico de las estructuras marco. *Revista de la construcción*, 18(2). Recuperado el 04 de agosto de 2021, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/rconst/v18n2/0718-915X-rconst-18-02-00349.pdf>
- Herminio Serrano, C., Pia Cruz, M., & Martin Schmäcke, I. (16 de junio de 2020). Aplicación de compactación dinámica para estructuras de gran impronta en Córdoba, Argentina. *Facultad de Ingeniería*, 29(54), 7-8. doi:<https://doi.org/10.19053/01211129.v29.n54.2020.10861>
- Jines Cabezas, R. (2017). *Interacción suelo-estructura en edificaciones de sistema dual en la ciudad de Moquegua*. Tesis de posgrado, Universidad Privada de Tacna, Escuela de Posgrado, Tacna. Recuperado el 10 de febrero de 2020, de <http://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/UPT/412/1/Jines-Cabezas-Ruth-Mercedes.pdf>
- Llano Serna, M., & Farias, M. (20 de febrero de 2015). Validación numérica, teórica y experimental del método del punto material para resolver problemas geotécnicos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 32(2), 110-115. Recuperado el 15 de enero de 2020, de https://www.scipedia.com/public/Llano_Serna_Farias_2015
- Ministerio de Construcción, Vivienda y Saneamiento. (2019). *Diseño sismorresistente*. Normativa, Lima. Obtenido de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). *Suelos y Cimentaciones*. Normativa, Lima. Obtenido de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Presidencia del Consejo de Ministros. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y

- Sanearamiento. Recuperado el 07 de marzo de 2020, de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf
- Morales Gubio, L. V., Carrión Granja, J. P., & Espinoza Stead, A. J. (2019). *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*. Universidad Central del Ecuador. Quito: Repositorio institucional. Recuperado el 04 de agosto de 2020, de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/20362>
- Municipalidad Provincial de Lambayeque. (2016). *Plan de Desarrollo Territorial de Lambayeque*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanearamiento, Municipalidad Provincial de Lambayeque. Lambayeque: Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanearamiento. Recuperado el 1 de agosto de 2020, de <https://www.munilambayeque.gob.pe/presentacion/documentos/PDULambayequefinal.pdf>
- Pinto Vega, F., & Ledezma, C. (22 de marzo de 2019). Interacción suelo-estructura en edificios de gran altura con subterráneos en Santiago, Chile. *Obras y proyectos*, 25, 66-75. Recuperado el 20 de febrero de 2020, de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n25/0718-2813-oyp-25-0066.pdf>
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2018). *Suelos y Cimentaciones*. Informe técnico, Presidencia del Consejo de Ministros, Ministerio de Vivienda, Construcción y Sanearamiento, Lima. Recuperado el 05 de agosto de 2020, de https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E050_RM-406-2018-VIVIENDA.pdf
- Rodríguez Huisa, E. (2019). *Análisis de la interacción dinámica líquido-estructura-suelo en el diseño sísmico de reservorios apoyados en la ciudad de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano de Puno, Facultad de Ingeniería Agrícola. Puno: Repositorio institucional. Recuperado el 04 de agosto de 2020, de http://tesis.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/13880/Rodriguez_Huisa_Eber_Noel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Rodríguez, A., Bojórquez Mora, E., Reyes Salazar, A., Avilés, J., & Ruiz Gómez, S. (28 de junio de 2017). Determinación de espectros de respuesta considerando daño acumulado e interacción suelo-estructura. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 18-38. doi:10.18867/RIS.96.474
- Tapia Hernández, E., De Jesús Martínez, Y., & Fernández Sola, L. (10 de junio de 2017). Demandas sísmicas en edificios regulares de acero con cimentación flexible. *Revista de Ingeniería Sísmica*. Recuperado el 27 de febrero de 2020, de <https://pdfs.semanticscholar.org/1176/f91948d48980688a0e6506bd40ddff91cee6.pdf>
- Tena Colunga, A. (mayo de 2019). Interacción suelo-estructura, reflexiones sobre su importancia en la respuesta dinámica de estructuras durante sismos. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(2), 4. doi:<http://dx.doi.org/10.24133/riie.v24i2.1282>
- Tenorio Barragán, O. (2019). *Evaluación de las propiedades del suelo al alterarse el confinamiento lateral y el nivel freático, provincia de Chiclayo*. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Facultad de Ingeniería. Lambayeque: Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo. Recuperado el 1 de agosto de 2021, de https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/1478/1/TL_TenorioBarraganOscar.pdf
- Villareal Castro, G. (07 de julio de 2018). *Interacción sísmica suelo estructura en edificaciones con platea de cimentación* (Vol. 1). Trujillo, Trujillo, Perú: Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L. Recuperado el 16 de octubre de 2020, de <https://www.civilax.com/interaccion-sismica-suelo-estructura-en-edificaciones-con-plateas-de-cimentacion/>
- Villavivencio Cedeño, E., & Peñafiel Bermello, L. (2019). *Análisis comparativo de un edificio de mediana altura considerando el sistema de base fija versus la interacción suelo-estructura*.

Universidad Estatal de Manabí, Facultad de Ciencias Técnicas. Jijipaja: Rpositorio Institucional.
Recuperado el 08 de agosto de 2021, de
<http://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/2019/1/UNESUM-ECUADOR-ING.CIVIL-2019-102.pdf>