

Artículo de Investigación

Selección del diseño óptimo de una cimentación superficial para equipos vibratorios en Portoviejo para tipos de suelos D y E

Selection of the Optimal Design of a Shallow Foundation for Vibrating Equipment in Portoviejo for Soil Types D and E

Seleção do projeto ótimo de uma fundação rasa para equipamentos vibratórios em Portoviejo para os tipos de solo D e E



Olver Josue Mero Veliz¹  , Jose Daniel Coveña Quishpi¹  ,
Marcos Geovanny Zevallos Loo²  

¹ Egresado de la carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

² Docente de la carrera de Ingeniería Civil. Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Recibido: 2025-08-25 / **Aceptado:** 2025-10-02 / **Publicado:** 2025-10-20

RESUMEN

La presente investigación evalúa el comportamiento dinámico de una cimentación superficial para equipos vibratorios apoyados sobre suelos tipo D y E de la ciudad de Portoviejo, Ecuador, con actividad sísmica alta. La investigación se fundamenta en base a la normativa del ACI 351.3R-18 en donde se determinaron parámetros dinámicos como rigidez, amortiguamiento y amplitud de vibración para el diseño óptimo de una cimentación que soporta generadores eléctricos Cat© 3512B y 3516B, que serán modelados mediante el software SAP2000©. Los resultados de la investigación denotan que las cimentaciones sobre suelos tipos D presentan un desempeño con mayor rigidez y menor amplitud de vibración lo cual reduce la incidencia de resonancia y falla estructural frente al suelo tipo E, sin embargo, se comprobó que las amplitudes de vibración en ambos diseños de cimentación se encuentran dentro de los límites permisibles del fabricante, lo que garantiza una estabilidad del sistema, por ejemplo, para la amplitud máxima del generador Cat© 3512B apoyado sobre un suelo tipo D es de 8,95 (μ) micrones, mientras que para el suelo tipo E la amplitud es de 21,21 (μ) micrones. Se concluye que el tipo de suelo es determinante durante la etapa de diseño, por lo consiguiente es necesario contemplar esfuerzos dinámicos de rotación, traslación y torsión que asegure la estabilidad en todos sus estados de movimiento, como solución complementaria se recomienda una estabilización de suelo.

Palabras clave: parámetros dinámicos; amplitud de vibración; resonancia; rigidez; amortiguamiento

ABSTRACT

This research evaluates the dynamic behavior of a shallow foundation for vibratory equipment supported on D and E type soils in the city of Portoviejo, Ecuador, with high seismic activity. The research is based on ACI 351.3R-18 regulations, where dynamic parameters such as stiffness, damping, and vibration amplitude were determined for the optimal design of a foundation that supports Cat© 3512B and 3516B electric generators, which will be modeled using SAP2000© software. The results of the investigation denote that foundations on type D soils present a performance with greater rigidity and lower vibration amplitude which reduces the incidence of resonance and structural failure compared to type E soil, however, it was verified that the vibration amplitudes in both foundation designs are within the permissible limits of the manufacturer, which guarantees system stability, for example, for the maximum amplitude of the Cat© 3512B generator supported on a type D soil is 8.95 (μ) microns, while for type E soil the amplitude is 21.21 (μ) microns. It is concluded that the type of soil is decisive during the design stage, therefore it is necessary to consider dynamic efforts of rotation, translation and torsion that ensure stability in all its states of movement, as a complementary solution, soil stabilization is recommended.

keywords: dynamic parameters; vibration amplitude; resonance; stiffness; damping

RESUMO

A presente pesquisa avalia o comportamento dinâmico de uma fundação rasa para equipamentos vibratórios apoiados sobre solos do tipo D e E na cidade de Portoviejo, Ecuador, com alta atividade sísmica. A investigação baseia-se na normativa ACI 351.3R-18, na qual foram determinados parâmetros dinâmicos, como rigidez, amortecimento e amplitude de vibração, para o projeto ótimo de uma fundação que suporta geradores elétricos Cat® 3512B e 3516B, que serão modelados por meio do software SAP2000®. Os resultados da pesquisa indicam que as fundações sobre solos tipo D apresentam desempenho com maior rigidez e menor amplitude de vibração, o que reduz a incidência de ressonância e falha estrutural em comparação ao solo tipo E. No entanto, comprovou-se que as amplitudes de vibração em ambos os projetos de fundação estão dentro dos limites permitidos pelo fabricante, garantindo a estabilidade do sistema. Por exemplo, a amplitude máxima do gerador Cat® 3512B apoiado sobre solo tipo D é de 8,95 μm , enquanto que para o solo tipo E a amplitude é de 21,21 μm . Conclui-se que o tipo de solo é determinante durante a fase de projeto; portanto, é necessário considerar esforços dinâmicos de rotação, translação e torção que assegurem a estabilidade em todos os estados de movimento. Como solução complementar, recomenda-se a estabilização do solo.

palavras-chave: parâmetros dinâmicos; amplitude de vibração; ressonância; rigidez; amortecimento

Forma sugerida de citar (APA):

Mero Veliz, O. J., Coveña Quishpi, J. D., & Zevallos Llor, M. G. (2025). Selección del diseño óptimo de una cimentación superficial para equipos vibratorios en Portoviejo para tipos de suelos D y E. *Revista Científica Multidisciplinar SAGA*, 2(4), 272-284. <https://doi.org/10.63415/saga.v2i4.289>



Esta obra está bajo una licencia internacional
Creative Commons de Atribución No Comercial 4.0

INTRODUCCIÓN

Los países con zonas sísmicas activas en Latinoamérica están condicionados por el cinturón de fuego del Pacífico, Ecuador se encuentra afectado por la subducción de la placa Nazca y Sudamérica, el 16 de abril de 2016 en las costas de Manabí se suscitó una eventualidad sísmica de 7,8 grados en la escala de Richter evidenciando 22.315 edificaciones catalogadas como inseguras por el Comité de Reconstrucción y Reactivación (Menéndez et. al, 2023). La afectación de un sismo representa una vulnerabilidad a las estructuras producidas por licuación de suelos saturados, subsidencia, deformación de suelo, deslizamiento de taludes, entre otras (Aguilar, 2021).

El estudio de suelo es un recurso útil para cimentar cualquier tipo de obra en Ingeniería de manera que se pueda evitar deformaciones o fallas en la estructura que se va a construir (Mejía et. al, 2020). En Portoviejo los suelos presentan propiedades expansivas de medio y alto grado, de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la construcción en su edición de Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS) establece que el sitio de construcción de una vivienda regirá la

caracterización del peligro sísmico en función a la aceleración máxima en la roca (Z), para valores mayores a 0,50 g. la caracterización del peligro sísmico es denominada zona VI con riesgo muy alto (Ortiz et. al, 2019).

Los sectores industrial, eléctrico y petrolero requieren con frecuencia obras de ingeniería que sean capaz de disipar energía mediante cimentaciones para generadores, transformadores y equipos de bombeos que garanticen un funcionamiento estable, seguro, eficiente, continuo y estable (Fajardo et. al, 2025). El asentamiento de estas estructuras está influenciado bajo la acción de cargas estáticas y dinámicas, las cargas estáticas definen la geometría, profundidad, excentricidad e inclinación de la carga, mientras que las cargas dinámicas establecen el asentamiento producido por cargas cíclicas en terrenos cohesivos (Panique, 2021).

La cimentación para maquinas o equipos vibratorios se considera como un elemento constructivo independiente que tiene la finalidad de transmitir los esfuerzos dinámicos y estáticos producido por su funcionamiento ya que la transmisión de estos esfuerzos no alcanza tan solo a la propia máquina o conjunto

apoyados, sino también a una zona circundante. Los problemas de los casos como, cimentaciones de máquinas que producen impacto, cimentaciones de máquinas para fuerzas periódicas como generadores y motores alternativos, así mismo cimentaciones para máquinas de altas velocidades como turbinas, se pueden resolver a través de tres pasos, el primero es la determinación de los movimientos de la máquina y su cimentación, el segundo la estimación de las bases de la cimentación y el tercero el análisis de los movimientos de cimentaciones adyacentes, producidos por las vibraciones transmitidas a través del suelo (Viadero y Losada, 1986).

La interacción suelo-estructura a través de software informáticos emula la respuesta de las cimentaciones para equipos vibratorios frente al comportamiento cinemático e inercial de las sollicitaciones dinámicas del suelo, considerando las condiciones geológicas y geotécnicas del mismo. El análisis de interacción suelo-estructura permite analizar la flexibilidad de la cimentación, su relación con el periodo fundamental de vibración y el amortiguamiento de la estructura mediante resortes equivalentes a la rigidez del suelo (Calderín et. al, 2020).

Inicialmente para el diseño óptimo de una cimentación superficial mediante interacción suelo-estructura se analiza dos aspectos, uno geotécnico y otro estructural, el primero se idealiza al suelo a mayor escala y profundiza sus propiedades mediante estudios de suelo. Mientras que el segundo representa al suelo mediante resortes lineales independientes entre sí a través del módulo de reacción (k) o módulo de Winkler. El módulo de Winkler es una medida de rigidez expresada en unidades de esfuerzo por unidad de longitud, lo que resulta igual a la relación entre una carga aplicada (q) y el desplazamiento que produce (δ) (Barragán, 2022).

El movimiento del suelo durante una eventualidad sísmica permite proyectar el tipo de estructura que se va a cimentar, la dinámica del suelo se centra en estudiar el comportamiento de las masas del suelo ante las cargas sísmicas, este comportamiento puede

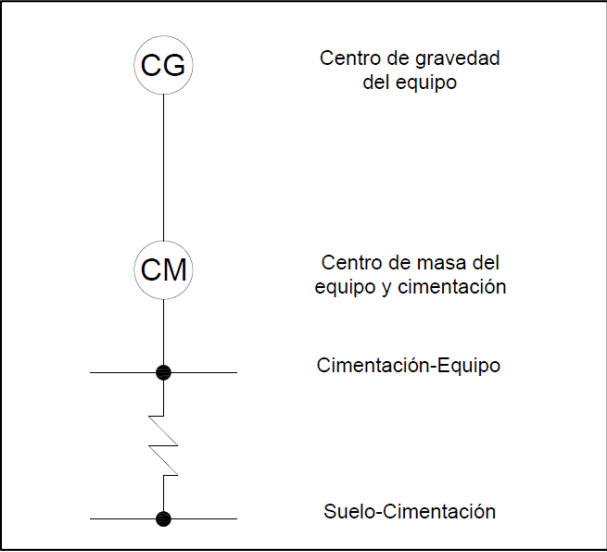
ser la pérdida de resistencia del suelo, cambios de volumen en el suelo, cambios en el estado de esfuerzo de las masas del suelo, amplificación dinámica y resonancia en los suelos (Araca et. al, 2020). Para el análisis de frecuencias naturales de los suelos la información de vibraciones ambientales de microzonificaciones resulta útil, debido a que se puede aplicar en cualquier momento, sin necesidad de aplicar otras técnicas que requieren esperar un evento sísmico (Vargas y Del Carpio, 2021).

Conforme a lo previamente descrito, resulta relevante analizar el comportamiento de una base de cimentación que soportará un equipo vibratorio y su relación con el suelo de fundación, de esta manera comparar los resultados frente a otro tipo de suelo y otro tipo de equipo vibratorio. Para esto se determinaron cargas muertas de dos equipos de generadores eléctricos con características diferentes y combinaciones de cargas de acuerdo a la normativa NEC-15 y ACI-318-19, mientras que, para el análisis de las bases destinadas para equipos dinámicos la norma que rige el diseño es el ACI-351.3R-18. Para analizar el desempeño óptimo de una base para equipo vibratorios se definió un modelado estructural emulado en el software SAP2000© en donde la frecuencia de la cimentación resulte diferente a la frecuencia natural del equipo vibratorio, permaneciendo dentro de los límites permisibles especificados por el fabricante del equipo.

METODOLOGÍA

Para cumplir con el propósito de la investigación, se modelaron dos equipos de generadores eléctricos: el primero es un motor diésel Cat© 3512B y el segundo es del mismo grupo electrógeno SCAC (Sistema de post-enfriamiento de circuito separado) pero de diferente modelo, un motor diésel Cat© 3516B. Para el análisis estructural se planteó un sistema de un grado de libertad representado por cuatro puntos de interés como se muestra en la figura 1, la relación suelo-cimentación, cimentación-equipos, centro de gravedad del equipo y centro de masas del conjunto conformado por el equipo y la cimentación.

Figura 1
Sistema de un grado de libertad para análisis estructural



Las condiciones estáticas están regidas por la Norma Ecuatoriana de la construcción NEC-15 y por el ACI-318-19, mientras que las condiciones dinámicas se refieren a la aplicación de la metodología del ACI-351.3R-18 fundamentada en determinar la frecuencia de vibración y amplitud de desplazamiento del conjunto formado por equipo-cimentación-suelo.

El diseño óptimo de una cimentación para equipos dinámicos se estructuró partiendo de un análisis estático, las características estáticas se detallan a continuación:

1. Resistencia del concreto reforzado: Para el hormigón se consideró una resistencia a la compresión de 35 MPa, peso específico de 24 KN/m³ y módulo de elasticidad de 27806 MPa, mientras que para las varillas de acero de grado 60 la densidad es 78,50 KN/m³, el módulo de fluencia es 420 MPa y el módulo de elasticidad 210000 MPa.
2. Características del suelo: Los datos referentes al suelo se obtuvieron mediante el uso de microzonificación sísmica para la ciudad de Portoviejo, para ambos modelados es cohesivos lo que corresponde a un coeficiente de Poisson de 0,4, de tipo “D” y tipo “E”, para el tipo D, el peso unitario del suelo (γ_s) es de 28,00 KN/m³ mientras que para el suelo tipo E el peso unitario es de 26,00 KN/m³.
3. Peso del equipo: El equipo es de tipo recíprocante debido a las altas revoluciones por minuto (rpm) que generan, las características físicas y algunas especificaciones técnicas más relevantes del equipo Cat® 3512B y Cat® 3516B se detallan en la tabla 1.

Tabla 1
Especificaciones técnicas de los motores electrógenos a diésel

Especificaciones	Cat® 3512B	Cat® 3516B
Dimensiones		
Largo (L_{kid})	5,50 m	6,15 m
Ancho (A_{kid})	2,30 m	2,30 m
Altura (H_{kid})	2,42 m	2,50 m
Frecuencia de operación		
ω_0	1800 rpm	1500 rpm
ω_0	60 Hz	50 Hz
Peso total	$W_c = 112,97$ kN	$W_c = 137,73$ kN

4. Pre dimensionado de la cimentación: Para el bloque de la fundación se partió del largo del equipo más 0,30 m, el ancho de la cimentación se obtuvo del ancho del equipo más 1,40 m, por otro lado, el espesor mínimo de la cimentación se calculó mediante la relación entre el largo de la cimentación entre 30, más 0,60 m; considerando que la altura total de la cimentación consta de una proporción sobre el terreno y otra embebida, el bloque para ambos casos de estudio mantiene 0,10 m sobre el terreno.

MÉTODOS

Esfuerzos dinámicos en la cimentación para equipos vibratorio

En primera instancia se obtuvo la respuesta dinámica del suelo por medio de la microzonificación sísmica de la ciudad de Portoviejo, de tipo “D” y tipo “E”. La velocidad de onda de corte (V_s) para el suelo tipo D es de 320 m/s y para el tipo E es de 180 m/s, el 100% producto de esta velocidad por la densidad del suelo nos proporcionó el módulo de corte máximo ($G_{\max}$) para el suelo de tipo D es de 292,27 MPa, para suelo tipo E es de 92,48 MPa y una fracción de amortiguamiento (β) del 5%.

Los esfuerzos dinámicos que se presentaron en la cimentación tipo bloque para equipos vibratorios están representados por la masa de la cimentación, del equipo y del suelo, el cual posee un resorte y un amortiguador, considerando que la masa posee un solo grado de libertad.

Para representar el resorte se considera que constante elástica del suelo “ k ” y el amortiguamiento que es la capacidad de disipación de energía del suelo. El producto del sistema de cimentación sobre el suelo se representa como seis sistemas con resortes y amortiguador en función de la frecuencia, tres corresponden a movimientos de traslación y

los demás a movimientos angulares en sentido “ x ”, “ y ” & “ z ”.

La norma ACI 351.3R-18 expresa que la rigidez y el amortiguamiento resultante del análisis dinámico, inicialmente se emplea como modelo circular, sin embargo, el modelo puede ser aplicado a través de la teoría de radio equivalente controlando que la relación del largo y ancho de la cimentación no sea menor que dos [12]. Las direcciones del movimiento traslacional “ x ”, “ y ”, “ z ” comparten un mismo radio equivalente R , mientras que las tres direcciones rotacionales (Balanceo “ x ”, “ y ” & torsión en “ z ”) presentan radios distintos.

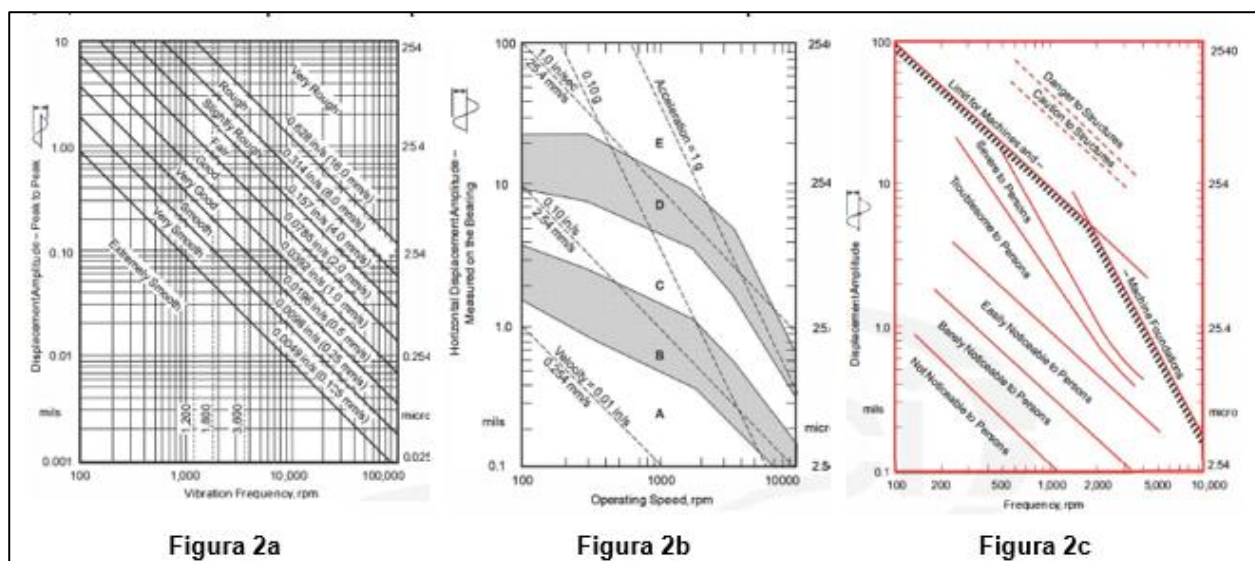
De la misma manera, en función a la norma ACI 351.3R-18 se calculó la frecuencia adimensional para poder obtener la impedancia de la cimentación, la cual se encuentra en función de la frecuencia de operación del equipo, radio equivalente obtenido anteriormente, velocidad de onda de corte de suelo, densidad de suelo y módulo de corte dinámico del suelo.

El siguiente paso fue obtener el coeficiente de rigidez y amortiguamiento, así como sus respectivos factores sin tomar en cuenta el efecto de embebido y en su defecto considerando el embebido de la cimentación, el método utilizado es el de Veletsos para la rigidez dinámica vertical, horizontal, balanceo y torsional [13].

Para terminar el análisis dinámico se obtuvieron las amplitudes del sistema en función de las especificaciones dinámicas del motor, peso, velocidad de operación y fuerza dinámica esta última resulta del producto entre el peso total y la frecuencia de operación del equipo. Para verificar el fenómeno de resonancia, la relación entre la frecuencia natural del equipo y la frecuencia angular de operación del equipo debe resultar entre 0,80 y 1,20, así mismo la amplitud de desplazamiento debe ser menor que la del fabricante.

Figura 2

Límites permisibles para evaluar los esfuerzos dinámicos en cimentación para equipos vibratorios

**Figura 2a****Figura 2b****Figura 2c**

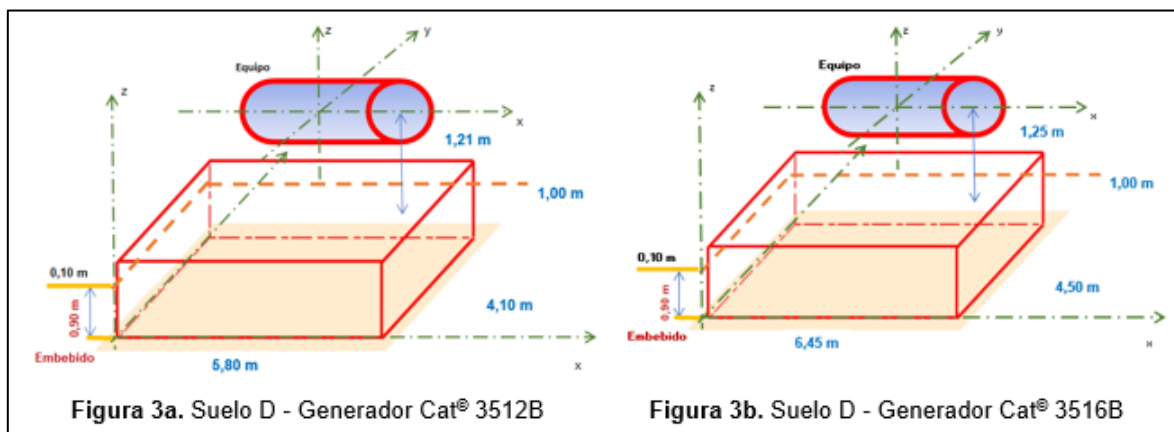
En la figura 2a se muestran los límites permisibles de la amplitud de desplazamiento y a su vez una clasificación que evalúa la severidad de las vibraciones que va desde “extremadamente suave” a “áspero”, mientras que la figura 2b muestra amplitudes horizontales en función a la velocidad de operación del equipo y niveles de riesgos, finalmente en la figura 2c se puede observar los límites permisibles para evaluar la amplitud de vibración vertical con la finalidad de identificar cuando la máquina vibratoria puede representar o no un riesgo para la cimentación.

Modelado estructural de un sistema de un grado de libertad

El modelado se diseñó a través del software especializado en estructuras Sap2000© partiendo de la conceptualización de un sistema de un grado de libertad, concentrando todos los esfuerzos en el centro de masas del conjunto del elemento, es decir, peso propio de la cimentación y peso del equipo vibratorio. De la figura 1 podemos observar que existe una diferencia de altura entre cada punto de análisis, partiendo del hecho de que la base se encuentra 0,10 m por encima del nivel del suelo y su porción embebida dependerá de las características del equipo y del suelo, a su vez la altura del centro de masa y el centro de gravedad está en función de las dimensiones del equipo, para entender de mejor manera la figura 3 presenta más detalles.

Figura 3

Coordenadas de dos distintos generadores sobre suelo tipo D

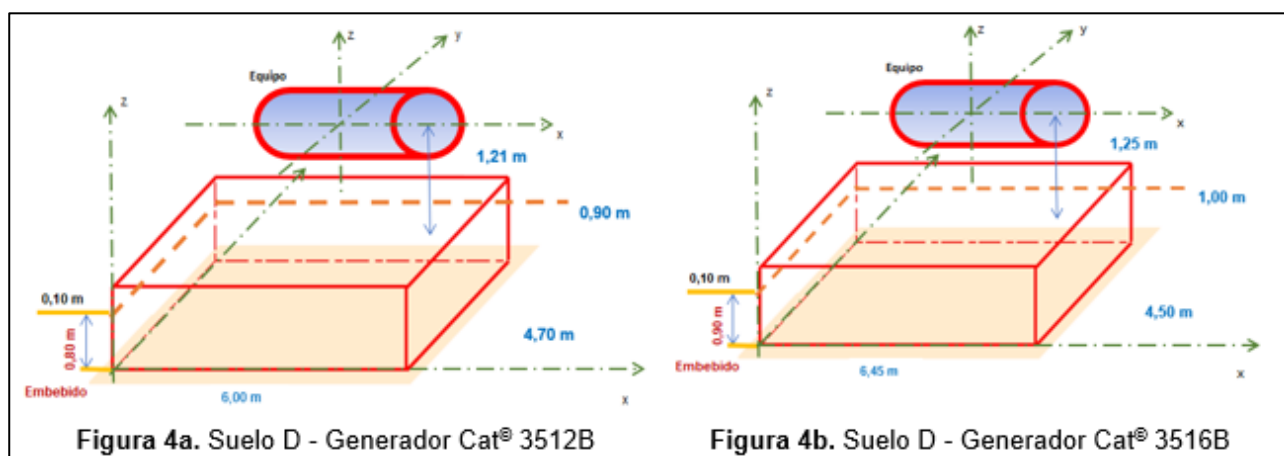
**Figura 3a. Suelo D - Generador Cat® 3512B****Figura 3b. Suelo D - Generador Cat® 3516B**

En la figura 3 se puede observar que el centro de gravedad varía de acuerdo a la altura de cada equipo, considerando las características detalladas en la tabla 1, el centro de gravedad del equipo Cat© 3512B se encuentra a 1,21 m, mientras que para el equipo Cat© 3516B está ubicado a 1,26 m de la parte superior de la base, en cuanto a la base, tiene una altura total de 1,00 m con una porción de embebido de 0,90 m. En ambos casos la altura de la base se mantiene constante debido

a que las características del suelo tipo D son las mismas, sin embargo, las dimensiones de ancho y alto de la base si presentan distintas dimensiones que corresponden a la diferencia de peso entre ambos generadores. Por otro lado, algo similar se presenta en las bases para suelo tipo E con la diferencia de las alturas detalladas en la figura 4, en donde la altura total de la cimentación corresponde a 0,90 m para ambos generadores.

Figura 4

Coordenadas de dos distintos generadores sobre suelo tipo E

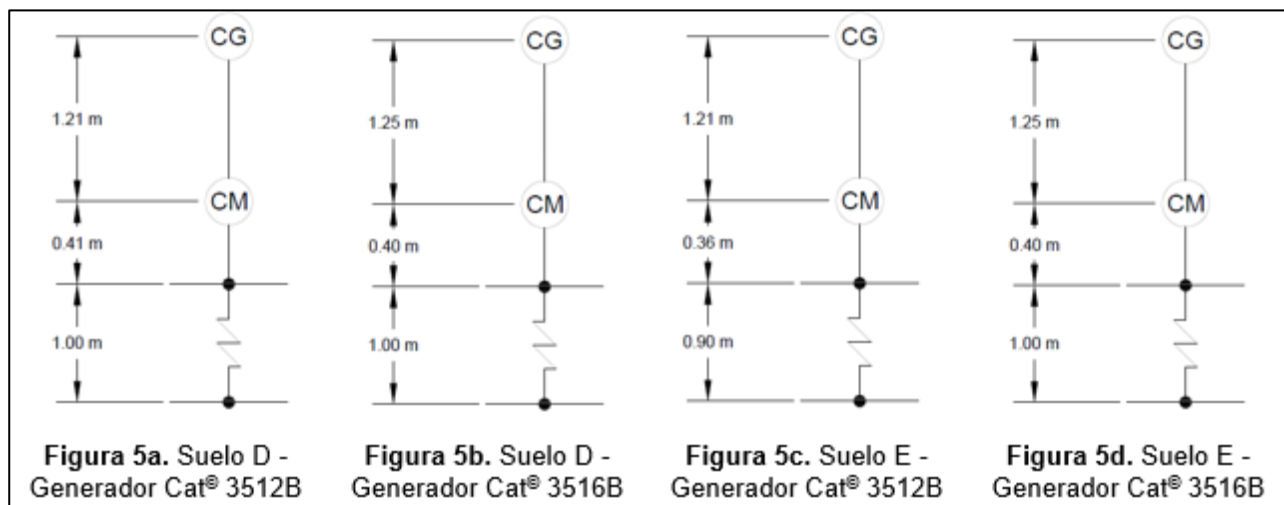


De los esquemas tridimensionales presentados en las figuras 3 y figuras 4 se ejemplifica un modelo con un sistema de un

grado de libertad modelado en el software Sap2000©, los detalles se presentan en la figura 5.

Figura 5

Modelado de los generadores para suelos tipo D y E en Sap2000©



La figura 5 también demuestra una diferencia de altura con respecto al centro de masa el cual se obtiene aplicando el teorema de Steiner, dentro del mismo método se puede obtener el momento de inercia de la estructura. Una vez establecida las coordenadas de cada base en el software para los distintos casos se ingresan los demás datos al sistema, como se enumera a continuación:

1. Cargas. Situados en el centro de masa se asigna la masa correspondiente del generador especificada en la tabla 1 afectado por la fuerza de gravedad en la dirección traslacional “x” y “z”, la rotación en la dirección “y” se asigna del resultado del momento de inercia obtenido en el teorema de Steiner.
2. Patrones de carga. Los patrones de carga son asignados en el centro de gravedad del equipo sin considerar el peso propio del mismo puesto que se encuentra ya ingresado en el centro de masas, se genera patrones de carga en sentido traslacional y para la carga vertical.
3. Funciones de impedancia. Para modelar resorte en nuestro sistema estructural definimos propiedades y agregamos “link support”, a continuación, se crea un link de tipo lineal en las direcciones traslaciones “U1”, “U2” y rotacionales “R3”. Los valores de las funciones de impedancia correspondientes a rigidez y amortiguamiento son las obtenidas por el método de Veletsos.
4. Casos de carga. Inicialmente se debe crear las funciones de carga tanto como las funciones del espectro según las indicaciones de la NEC-15 como las funciones de estado estacionario llamado “Steady State”, esta función lineal evalúa la energía de acuerdo a la frecuencia del equipo, en este caso de estudio se considera la frecuencia de los dos generadores. Posteriormente agregamos los casos de carga del estudio correspondiente al espectro de la NEC-15 en función a los distintos tipos de suelos estudiados y por supuesto el caso de carga del steady state. Los parámetros de la función lineal steady state se ven afectados por un factor de escala en las direcciones traslaciones “x” y “z”.

RESULTADOS

Descripción de la muestra

Los resultados del análisis dinámico de una cimentación para generadores Cat© 3512B y Cat© 3516B sobre un suelo tipo D, se ven reflejado en las siguientes tablas y gráficos establecidos por el ACI 361.3R-18. Se presentan los parámetros dinámicos totales de la cimentación en dónde los valores más críticos están gobernados por los esfuerzos verticales, horizontales, de balanceo con respecto al largo de la fundación “L”, al ancho “B” y a la torsión.

Análisis de los Resultados

La tabla 2 presenta la rigidez y el amortiguamiento para las distintas frecuencias de los equipos respectivos, en dónde evidentemente la mayor rigidez la presenta el generador Cat© 3516B en la dirección torsional con $4,655E+7$ kN/m frente a la rigidez del generador Cat© 3512B con $3,450E+7$, por otra parte, el mayor amortiguamiento del sistema se presenta por balanceo paralelo a la dirección B, en dónde el generador Cat© 3516B es de $1,755E+5$ kN.s/m y el generador Cat© 3512B de $1,212E+5$ kN.s/m.

Dentro de la frecuencia de los sistemas establecidos, para evitar que el equipo entre en resonancia con la cimentación, se precisa que la relación entre ambas frecuencias se encuentre alejado del rango entre 0,80 y 1,20 lo que indica que ambos generadores operan fuera del rango de resonancia, lo cual es favorable para la estabilidad dinámica del sistema.

También, el análisis de amplitud de desplazamiento analiza la razón de amortiguamiento considerando el amortiguamiento reducido al 50%, en donde la mayor amplitud se presenta en dirección traslacional horizontal del generador Cat© 3512B con 8,95 micrones (μ), mientras que el generador Cat© 3516B tiene una amplitud de 6,72 micrones (μ) en la misma dirección.

Tabla 2*Análisis dinámico de una cimentación para generadores sobre un suelo tipo D*

Dirección	Rigidez Total (kN/m)		Amortiguamiento total (kN·s/m)		Relación de Frecuencia		Razón de Amortiguamiento		Amplitud (μ)	
	Cat® 3512B	Cat® 3516B	Cat® 3512B	Cat® 3516B	Cat® 3512B	Cat® 3516B	Cat® 3512B	Cat® 3516B	Cat® 3512B	Cat® 3516B
Vertical (z)	4,93E+09	4,32E+09	5,66E+07	6,64E+07	0.708	0.697	0.763	0.867	5.77	6.08
Horizontal (x,y)	4,82E+09	4,69E+09	3,15E+07	5,62E+07	0.717	0.669	0.430	0.703	8.95	6.72
Balanceo paralelo a L	2,21E+09	2,53E+09	5,97E+07	1,02E+08	0.334	0.228	0.380	0.547	4.23	3.94
Balanceo paralelo a B	3,18E+10	4,34E+10	1,21E+08	1,76E+08	0.279	0.220	0.644	0.722	3.27	2.66
Torsional	3,45E+10	4,66E+10	8,32E+07	1,19E+08	0.268	0.212	0.424	0.474	2.90	2.37

En la tabla 3, se presentan los resultados del análisis dinámico para una cimentación sobre un suelo tipo E a través de estos 5 modos de vibración analizados en la tabla 2, tanto la rigidez como el amortiguamiento denotan un mayor esfuerzo del generador Cat© 3516B en la dirección vertical frente al modelo Cat©

3512B. Por otro lado, en la dirección horizontal se obtuvieron rigideces y frecuencias similares, sin embargo, el generador Cat© 3516B presenta ligeramente mayor amortiguamiento y una amplitud considerablemente mayor.

Tabla 3*Análisis dinámico de una cimentación para generadores sobre un suelo tipo E*

Dirección	Rigidez Total (kN/m)		Amortiguamiento total (kN·s/m)		Relación de Frecuencia		Razón de Amortiguamiento		Amplitud (μ)	
	Cat® 3512B	Cat® 3516B	Cat® 3512B	Cat® 3516B	Cat® 3512B	Cat® 3516B	Cat® 3512B	Cat® 3516B	Cat® 3512B	Cat® 3516B
Vertical (z)	1,528E+5	5,447E+5	2,514E+4	2,666E+4	4,280	1,957	1,811	0,976	9,54	13,22
Horizontal (x-y)	1,013E+6	1,091E+6	1,371E+4	1,458E+4	1,662	1,387	0,384	0,378	15,37	22,58
Balanceo paralelo a L	5,045E+6	5,508E+6	4,204E+4	3,910E+4	0,745	0,617	0,527	0,452	21,21	21,09
Balanceo paralelo a B	5,431E+6	7,175E+6	6,864E+4	8,076E+4	0,718	0,541	0,830	0,817	15,63	14,26
Torsional	7,729E+6	8,908E+6	5,154E+4	5,556E+4	0,602	0,485	0,522	0,505	14,95	13,30

El balanceo paralelo al eje “L” no presenta variaciones significantes salvo el amortiguamiento del generador Cat© 3512B (4,20E+4 kN.s/m) que es relativamente mayor al modelo Cat© 3516B (3,910E+4 kN.s/m). El que si presenta diferencias pronunciadas es el aumento de rigidez y el amortiguamiento del generador Cat© 3516B frente al modelo Cat© 3512B. Finalmente en la dirección torsional el generador Cat© 3516B presenta valores superiores de rigidez y amortiguamiento, mientras que la frecuencia y amplitud presentan comportamientos comparables.

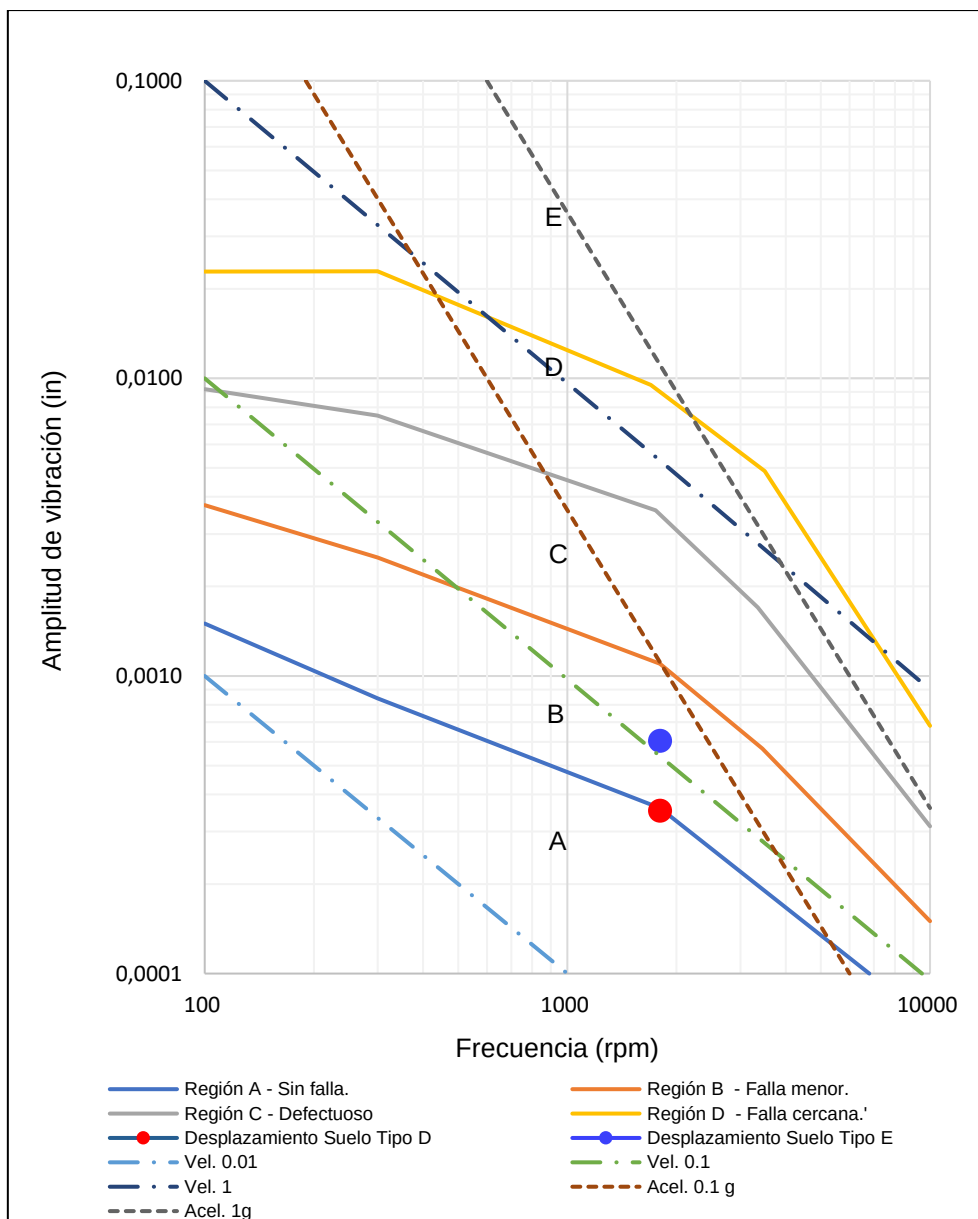
Considerando que para un diseño óptimo de cimentación para generadores el tipo de suelo tipo D cumple con las especificaciones normativas del ACI-351.3R-18, los resultados expuestos anteriormente, en resumen, indican que las rigideces en todos los modos de vibración son significativamente mayores en contraste con las rigideces del suelo tipo E, esto es consistente con la clasificación de suelos, debido a que el suelo tipo E se caracteriza por su pobre disipación de energía.

Por otro lado, la amplitud de vibración para los generadores de distintos tipos apoyados

sobre suelos tipo E y D se clasifican en función a la frecuencia del equipo, dentro de los límites permisibles, la figura 6 indica que el generador Cat© 3512B presenta un desplazamiento de vibración con respecto al suelo tipo D bajo el

umbral de la región A cuya región no presenta falla, mientras que para el suelo tipo E las vibraciones generan fallas menores al encontrarse en la región B.

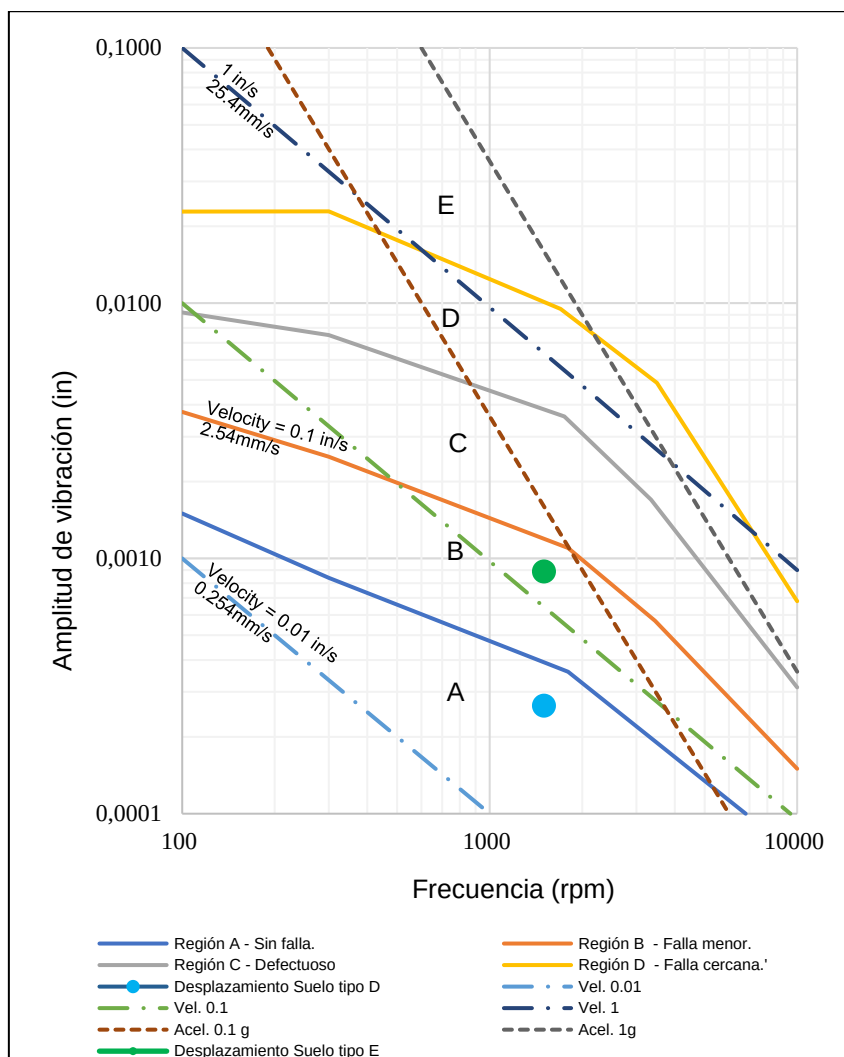
Figura 6
Gráfico de criterio de vibración para equipos rotativos Cat© 3512B



Considerando las características del generador Cat© 3516B, en la figura 7 las amplitudes del sistema para un suelo tipo D denotan un comportamiento sin falla al recaer bajo el umbral de la región A, de la misma manera que el generador anterior aunque ligeramente más estable, mientras que para el suelo tipo E la amplitud presenta fallas

menores al encontrarse en el área de la región B, pero más cercano a defectuoso que el generador anterior, las amplitudes de ambos sistemas se encuentran bajo las mismas condiciones debido a las similitudes entre ambos tipos de generadores partiendo por la frecuencia de operación similar que comparten.

Figura 7
Gráfico de criterio de vibración para equipos rotativos Cat© 3516B



DISCUSIÓN

En Portoviejo se evidencia predominancia de suelos tipos D y E caracterizados por su baja rigidez y susceptibilidad a ser deformado ya sea por carga estática como por carga dinámica, por ende, para seleccionar el diseño óptimo de una cimentación superficial que soporte equipos vibratorios es necesario relacionar el comportamiento dinámico del suelo con la estructura. En general, los aspectos más críticos se evidencian en la relación que tiene la rigidez de la cimentación con la amplitud de vibraciones transmitidas al equipo, asegurar mayor rigidez y menor amplitud permite el funcionamiento óptimo de una cimentación superficial.

Sin embargo, los modelos teóricos aplicados en esta investigación no son

suficientes para analizar el comportamiento del suelo de alta plasticidad específicamente el tipo E, estos modelos son utilizados principalmente en suelos menos plásticos que no se deforman tan fácilmente como los suelos tipo D y no permiten verificar los esfuerzos dinámicos adecuadamente, por lo cual representa una limitación técnica indefinida. Por otra parte, las características del equipo vibratorio se ven limitadas por la procedencia del equipo, es decir la correlación entre la frecuencia de operación y las condiciones estructurales de la cimentación están planteadas de acuerdo al país de procedencia del equipo, lo que denota diferencias específicas y no aplican a países como Ecuador que generalmente importan equipos vibratorios de diferentes procedencias, por ende se expone la necesidad de desarrollar

estudios técnicos para diferentes tipos de equipos y condiciones específicas de varios tipos de suelo en Ecuador.

Los resultados de la investigación concuerdan con estudios previos sobre la relación entre la dinámica del suelo con la cimentación superficial propuesta por Fernández y Tapia (2024) el cual indican que la frecuencia de la cimentación desplantada en suelos blandos esta influenciada por los esfuerzos producidos por la dinámica del suelo, específicamente los efectos de amplitud de vibración. En otros resultados propuestos por Yung (2024), afirma que el control de las vibraciones para todos los cimientos de equipos vibratorios depende de las propiedades del suelo, las fuerzas desequilibradas inducidas por las características específicas para cada equipo y, sobre todo la interacción suelo-estructura descrita como funciones de impedancia.

Desde el punto de vista teórico, esta investigación puede desencadenar una actualización de un método que considere los aspectos de tipos de suelos blandos específicamente tipo E considerando una análisis suelo-estructura a partir de datos de una microzonificación sísmica, mientras que, en términos prácticos, la investigación ofrece aspectos técnicos que pueden ser aplicables en proyectos reales dentro de la ciudad de Portoviejo, como puede ser para cimentaciones superficiales que soporten equipos dinámicos de peso no mayor a 150kN en suelos tipo E.

Finalmente se puede concluir que las cimentaciones superficiales dependen directamente de las vibraciones de equipo y del suelo de fundación, esto se puede respaldar realizando ensayo de campo y de laboratorio demostrando la capacidad portante del suelo y el tipo de suelo.

Las limitantes del aspecto teórico denotan una falta de actualización de acuerdo a las condiciones específicas donde se realizará la fundación, por ende, se puede sugerir modelación dinámica en software especializados en 2D y 3D. El análisis dinámico del suelo-estructura-equipos debe de formar parte del diseño estructural para

aprobación de construcción de obras como estaciones de bombeo y plantas industriales en la localidad.

CONCLUSIONES

Se concluye que para obtener un diseño óptimo de una cimentación superficial de equipos vibratorios fundados sobre suelos tipo D y E es importante controlar las vibraciones del equipo dinámico y su interacción con el suelo-estructura, considerando un enfoque especializado en esfuerzos dinámicos, apoyado de software de modelado en dos dimensiones que permita analizar aspectos técnicos como la rigidez, amortiguamiento, relación de frecuencia, razón de amortiguamiento y amplitud de vibración.

Debido a las condiciones específicas del suelo de la ciudad de Portoviejo algunos modelos teóricos limitan o dificulta un análisis más profundo por lo cual se puede recomendar la utilización de modelo empíricos o utilización de softwares especializados en tres dimensiones como Plaxis3D.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Manzo, J. (2021). *Reevaluación de la amenaza sísmica para el cantón Portoviejo (Provincia de Manabí, Ecuador): una comparación de métodos determinístico y probabilístico*. *Polo del Conocimiento*, 6(4), 504–526. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i4.2580>
- Araca Llanos, F., Gómez Catacora, L., Cahui Galarza, A., & Marín Mamani, G. (2020). *Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en la ciudad de Juliaca*. *Revista Científica de la UCSA*, 7(2), 70–81. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.02.070>
- Barragán, E. (2022). *Estimación del módulo de reacción de cimentaciones superficiales*. *XXXI Reunión Nacional de Ingeniería Geotécnica*, 433–442.
- Calderín Maestre, F., Almenarez Labañino, D., & Boada Fernández, D. (2020). *Consideración del fenómeno interacción suelo-estructura en edificio prefabricado*. *Ciencia en su PC*, 1(4), 79–94. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181366194007>
- Chagoyen, C., Medina, G., Chagoyen, E., Machado, A., & García, G. (2023). *Influencia de la masa, la rigidez y el amortiguamiento en la dinámica de amortiguadores de masa sintonizados*. *Revista Centro Azúcar*, 50(3), 1036–1050.

- http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_serial&pid=2223-4861&lng=es&nrm=iso
- Fajardo, G., Sandoval, J., Cabrera, K., & Quintal, J. (2025). *Evaluar el efecto de la máxima amplitud de vibración de un sistema con amortiguamiento viscoso, generada por cavitación en bombas centrífugas*. *Ciencia Latina Internacional*, 8(5), 10247–10259. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14407
- Mejía Vera, C. A., Gilces Delgado, J. R., & Ortiz Hernández, E. H. (2020). *Análisis comparativo de suelo de campo y laboratorio para la medición de su capacidad portante con ensayos de Valor de Soporte de California (CBR) y Cono Dinámico de Penetración (DCP) en la Universidad Técnica de Manabí*. *Revista RIEMAT*, 4(2), 78–83. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2491/2650>
- Menéndez Navarro, G. M., García García, J. G., & Reyna García, A. E. (2023). *Vulnerabilidad sísmica en edificaciones de la ciudad de Portoviejo: Reflexiones del 16-A*. *InGenio Journal*, 6(1), 73–86. <https://doi.org/10.18779/ingenio.v6i1.565>
- Nebrijo, J., & Menza, Y. (2021). *Cálculo del coeficiente de capacidad de disipación de energía en pórticos regulares de concreto reforzado con diferente altura, para una zona de amenaza sísmica alta*. *Revista INGE CUC*, 17(2), 193–210. <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/article/view/2697>
- Ortiz Hernández, E. H., Macías Sánchez, L. K., & Delgado Gutiérrez, D. A. (2019). *Evaluación del subsuelo y su comportamiento geotécnico en el Cantón Portoviejo, parroquia 12 de Marzo*. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*, 1–15. <https://www.eumed.net/rev/caribe/2019/12/su-bsuelo-comportamiento-geotecnico.html>
- Panique Lazcano, D. R. (2021). *Cálculo de la capacidad de soporte de cimentaciones superficiales bajo carga cíclica en terreno cohesivo* [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid]. Universidad Politécnica de Madrid.
- Vargas Luque, A., & Del Carpio Delgado, F. (2021). *Aplicación de la vibración ambiental a la información física de las construcciones para determinar la vulnerabilidad sísmica*. *Ciencia Latina*, 5(2), 2033–2048. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i2.415
- Viadero, F., & Losada, R. (1986). *Cimentaciones de máquinas*. *DYNA*, 61(4), 21–25. <https://www.revista-dyna.com/index.php/DYNA/article/view/2632>

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflictos de intereses.



DERECHOS DE AUTOR

Mero Veliz, O. J., Coveña Quishpi, J. D., & Zevallos Loor, M. G. (2025)



Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo la licencia Creative Commons de Atribución No Comercial 4.0, que permite su uso sin restricciones, su distribución y reproducción por cualquier medio, siempre que no se haga con fines comerciales y el trabajo original sea fielmente citado.



El texto final, datos, expresiones, opiniones y apreciaciones contenidas en esta publicación es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la revista.