



## Coefficiente de balasto para determinar la interacción suelo-estructura por zonas geotécnicas en Huaraz

### Ballast coefficient to determine soil-structure interaction by geotechnical zones in Huaraz

RUBEN ARANDA <sup>1,2</sup> y REYNALDO REYES <sup>2</sup>

#### RESUMEN

La investigación se desarrolló en el distrito de Huaraz, el objetivo fue determinar valores de coeficientes de balasto en las zonas 05 zonas geotécnicas establecidas en el plano de microzonificación sísmica de la localidad para luego usarlos en modelos matemáticos que consideren la interacción suelo estructura, para ello la metodología que se siguió fue a través de una investigación de tipo aplicada, con un nivel correlacional, un diseño no experimental - transversal, teniendo como población y muestra las 05 zonas geotécnicas. Para la búsqueda de los datos se realizó el ensayo de placa de carga distribuido adecuadamente y ensayos especiales de laboratorio. Los resultados obtenidos del ensayo de placa de carga se agruparon en 03 zonas, la Zona I tiene una variación de coeficiente de balasto entre 0,50 a 2,00 kg/cm<sup>3</sup>, la zona II entre 2,01 a 4,00 kg/cm<sup>3</sup> y la zona III entre 4,01 a 7,00 kg/cm<sup>3</sup>, la investigación concluye con el modelamiento de una vivienda considerando interacción suelo ? estructura, donde se encontró una relación inversamente proporcional entre los valores de coeficientes de balastó con la distorsión de entrepiso de la vivienda, la zona I presento mayor distorsión de entrepiso al tener valores desfavorables, mientras que la zona III reflejo valores menores de distorsión al tener valores mayores de coeficientes de balasto.

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Santa. Chimbote, Perú

<sup>2</sup>Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú

© Los autores. Este artículo es publicado por la Revista Aporte Santiaguino de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Este es un artículo de acceso abierto, distribuido bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite: **Compartir-copiar** y **redistribuir** el material en cualquier medio o formato, **Adaptar-remezclar**, **transformar** y **construir** a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

**Palabras clave:** Coeficiente de Balasto; Interacción Suelo ? Estructura; Ensayo de Placa de Carga; Sismos.

## **ABSTRACT**

The research was developed in the district of Huaraz, the objective was to determine values of ballast coefficients in the 05 geotechnical zones established in the seismic microzonation plan of the town and then use them in mathematical models that consider the soil-structure interaction, for this The methodology that was followed was through an applied type of research, with a correlational level, a non-experimental - transversal design, having the 05 geotechnical zones as the population and sample. To search for the data, the appropriately distributed load plate test and special laboratory tests were carried out. The results obtained from the load plate test were grouped into 03 zones, Zone I has a ballast coefficient variation between 0,50 to 2,00 kg/cm<sup>3</sup>, zone II between 2,01 to 4,00 kg/cm<sup>3</sup> and zone III between 4,01 to 7,00 kg/cm<sup>3</sup>, the research concludes with the modeling of a house considering soil-structure interaction, where an inversely proportional relationship was found between the values of ballast coefficients with the mezzanine distortion of the house, zone I presented greater mezzanine distortion by having unfavorable values, while zone III reflected lower distortion values by having higher values of ballast coefficients.

**Keywords:** Ballast Coefficient; Soil ? Structure Interaction; Test Load Plate; Earthquakes.

## **INTRODUCCIÓN**

El actual crecimiento poblacional de la ciudad Huaraz y la mala fiscalización que realiza la municipalidad provincial a las nuevas viviendas construidas, genera un problema técnico sobre todo en algunos componentes estructurales de las viviendas.

De acuerdo a la historia sísmica del departamento Ancash en el año 1970 se tuvo la ocurrencia de un sismo que tuvo como epicentro la ciudad de Huarmey, pero que el viaje de las ondas sísmicas genero desastres en otras provincias del departamento como la ciudad de Huaraz en aquel año quedo totalmente en escombros, debido al tipo de construcciones que se tenia y al desconocimiento de las propiedades de los suelos sobre el cual se había construido, ha transcurrido 53 años y aun no hemos tenido un sismo de las mismas características, es allí que surge la preocu-

pación para el desarrollo de la investigación, estaremos preparados para poder resistir un sismo de la misma magnitud, o si nuestras viviendas han sido diseñadas adecuadamente tomando en cuenta las exigencias actuales de la normativas sismo-resistente y si conocemos las propiedades del suelo sobre el cual hemos construido que nos ayude a conocer el adecuado comportamiento suelo-estructura. Desde el punto de vista de la ingeniería geotécnica y estructural conlleva a tener la incógnita si la propiedad de suelo llamada coeficiente de balasto influye para un mejor diseño de la estructura considerando un comportamiento suelo ? estructura frente a un eventual fenómeno sísmico.

Para el desarrollo de la investigación, se buscaron otras investigaciones encontrado que [Menasri y Brahim \(2023\)](#), expresan su preocupación por el uso de la interacción suelo estructura en algunos casos son ignorados y en otros simplificados, frente al diseño que considera efectos sísmicos en estructuras construidas en suelos blandos, es así que el aporte de la investigación es la medición de los efectos de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de estructuras de marco de RC de media altura (cuatro pisos), mediante curvas de fragilidad sísmica. Comparando un modelo empotrado clásico frente a un modelo de base flexible, presentado como respuesta los desplazamientos en la estructura con base empotrada frente a la base que considera interacción suelo ? estructura.

Así mismo [Bapir et al. \(2023\)](#), realizaron una búsqueda del comportamiento de las estructuras que consideraron el efecto de la interacción suelo ? estructura frente a eventos sísmicos, que presentaron efectos perjudiciales, en base a dichos efectos la investigación aporta nuevos enfoques modernos para evaluar el comportamiento considerando interacción suelo-estructura para diferentes sistemas estructurales generando nuevas líneas de investigación en la rama.

[Ada y Ayyaz \(2019\)](#), ambos aplicaron los conceptos de interacción suelo estructura en las viviendas de una vecindad, de distintos niveles, para luego relacionar la aceleración que se tiene en la base con los desplazamientos de entrepiso, y que efectos ocurre entre las viviendas vecinas, considerando un modelo de elementos finitos y distintas propiedades de suelo, concluyen que si existe un efecto positivo y negativo en las respuestas en función a las propiedades de los suelos.

Para poder complementar el estudio [Tafarel et al. \(2016\)](#), hacen uso de una de las propiedades del suelo como es el coeficiente de balasto para el estudio del comportamiento global de una vía férrea, donde usaron una simulación numérica mediante elementos discretos para encontrar el comportamiento granular de la capa de balasto (suelo + lastre) concluyendo que las tres estrate-

gias híbridas que emplearon de FEM/DEM hacen posible tener en cuenta el comportamiento de la interfaz suelo/lastre con más o menos detalle recomendando al final realizar descripciones muy detalladas de fenomenologías utilizando el enfoque microscópico completo.

Para complementar los antecedentes presentados anteriormente [Tabish et al. \(2023\)](#) nos indican que las cimentaciones de las estructuras que consideran el efecto de la interacción suelo-estructura, son más eficientes y rentables comparado a los diseños tradicionales. Para cual se debe de tener conocimientos en ingeniería geotécnica y estructural para realizar un acoplamiento del suelo y la estructura. En la investigación se usó redes neuronales artificiales que fueron alimentadas con información de cuatro estructuras conjuntamente con propiedades de suelos y sismos, arrojando resultados relacionados a la demanda estructural. Se concluyó que las redes neuronales mostraron mejores resultados en comparación con los métodos de base fija y ASCE 7-16 con resultados del análisis histórico no lineal como referencia.

En relación a los ensayos que existen para determinar el coeficiente de balasto, algunos investigadores optaron por realizar en escalas reducidas, como lo indica [Contreras y Quiñonez \(2021\)](#) donde buscaron el valor de coeficiente balasto mediante un ensayo a escala reducida, donde indican que la propiedad del contenido de humedad fue una variable importante llegando a la conclusión que un valor alto de la densidad máxima seca de una muestra no garantiza que soporte mayores cargas con bajas deformaciones comparado a muestras que tienen una máxima densidad seca menor pero cuyo contenido de humedad es el óptimo.

A nivel nacional existen algunas investigaciones relacionadas al coeficiente de balasto como lo investigado por [Alarcón \(2021\)](#) donde centro su investigación en distrito de Pilcomayo con el objetivo de encontrar las características del suelo de su lugar y sus valores de coeficiente de balasto, empleando distintos ensayos de laboratorio llego a la conclusión que existe una relación directa entre el coeficiente de balasto y las propiedades físicas y mecánicas, por lo tanto los valores encontrados mediante diferentes ensayos fueron usados para el modelamiento de una cimentación y posterior verificación de la distribución de esfuerzos encontrando una mínima diferencia de presiones, garantizando los valores encontrados en laboratorio.

Como se pudo revisar los antecedentes relacionados a al modelamiento usando la interacción suelo estructura, el ensayo que se puede emplear para determinar el coeficiente de balasto y posterior uso, nos llevan a indicar la importancia de la investigación sobre todo en una ciudad que esta pasando por un silencio sísmico, ya que en la presente investigación, se mostrara la ubica-

ción de los ensayos de placa de carga ejecutados, así como la elaboración de un mapa de distribución de estos valores y el modelamiento considerando el efecto inter-acción suelo- estructura en cada zona geotécnica, para finalmente comparar los resultados y realizar las recomendaciones respectivas para futuras investigaciones.

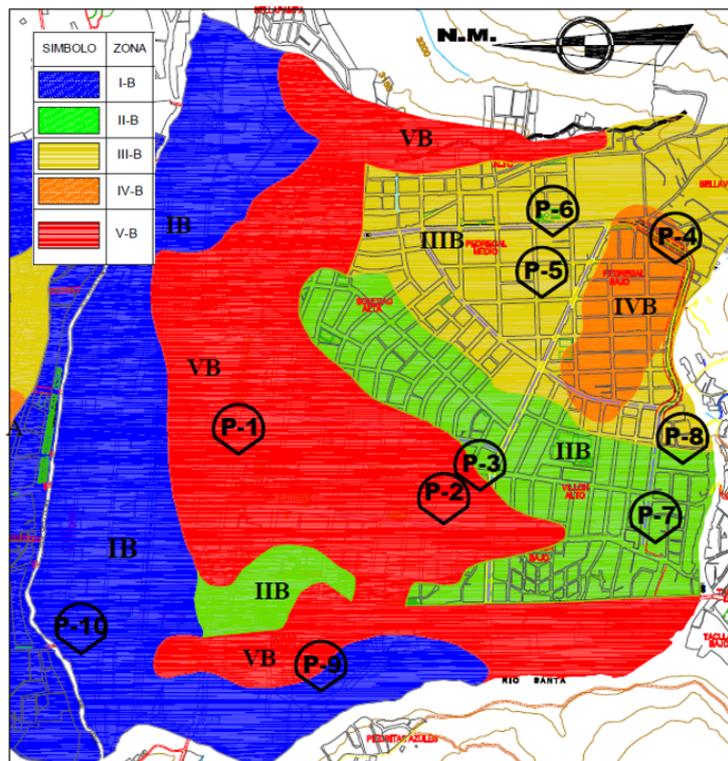
## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se usó un método deductivo partiendo de un ensayo de campo para llegar a obtener datos de coeficientes de balasto, donde se usó teorías ya establecidas orientándola a una investigación aplicada, con un enfoque cuantitativo y un alcance correlacional al tener variables que dependen una de otra, los datos fueron recogidos en un solo momento haciendo que el diseño sea del tipo transversal.

La población y muestra fueron las 05 zonas geotécnicas establecidas en el plano de microzonificación sísmica, se ejecutaron 10 ensayos de placa de carga ubicadas en cada zona geotécnica como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 1**

*Ubicación de los 10 ensayos de placa de carga en las zonas geotécnicas*



Para la obtención de los valores de coeficientes de balasto se ejecutó el ensayo de placa dentro

de las zonas geotécnicas en lugares estratégicos, sobre terreno natural, el equipo empleado fue de procedencia italiana de marca MATEST, primero se debe de ubicar el lugar, luego se ubica la viga de reacción sobre terreno natural y luego con la ayuda de un volquete con un peso mínimo de 25 tn, simulara la carga que se va transmitir al suelo como lo hacen las viviendas, se miden las presiones sobre el suelo y el asentamiento que se generan, el en-sayo culmina cuando el mismo equipo emite una alerta donde indica que el suelo llego a su máxima deformación.

**Figura 2**

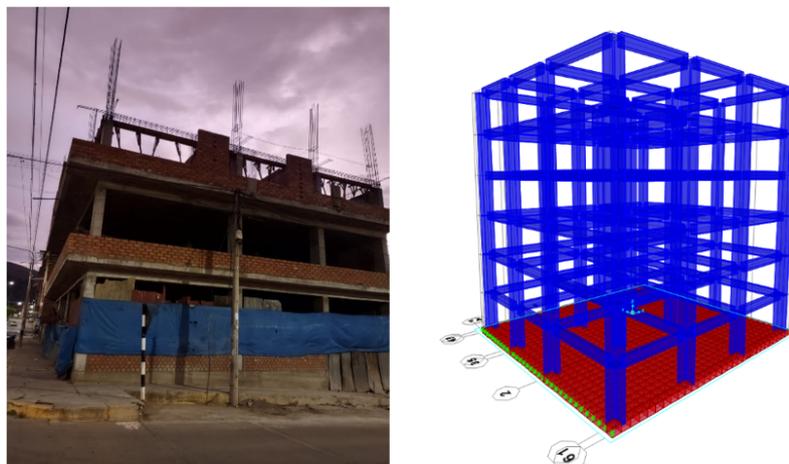
*Ejecución del ensayo de placa de carga y sus componentes del ensayo*



Con los datos de cada zona se realizó un mapa de su variación, en cada zona geotécnica se procedió a usar el valor más desfavorable en un modelo matemático de una estructura común construida, donde se consideró la interacción suelo - estructura, y luego comparar los distintos parámetros que exigen las normativas peruanas.

**Figura 3**

*Modelo de vivienda usado y modelo matemático usado*



## RESULTADOS

Se ejecutaron los ensayos de placa de carga en cada zona geotécnica y se encontró los siguientes valores de coeficientes de balasto:

**Tabla 1**

*Resultados de coeficientes de balasto y ubicación de los ensayos de placa de carga en las zonas geotécnicas*

Ubicación		Este (m)	Norte (m)	Coefficiente de Balasto (kg/cm <sup>3</sup> )
Zona Geotécnica VB	P-1	222503,84	8945712,96	1,654
	P-2	222346,79	8945099,97	2,126
	P-3	222396,46	8945032,78	1,811
Zona Geotécnica IVB	P-4	223031,69	8944360,11	1,890
Zona Geotécnica IIIB	P-5	222995,86	8944758,34	2,244
	P-6	223031,50	8944729,06	3,031
Zona Geotécnica IIB	P-7	222453,81	8944361,07	4,016
	P-8	222479,74	8944338,36	5,354
Zona Geotécnica IB	P-9	221771,13	8945434,44	6,772
	P-10	221841,10	8946176,08	6,142

Con los valores de coeficientes de balasto encontrados se realizó un mapa de distribución usando una interpolación de datos, en el mapa se aprecia 03 colores, que fueron establecido de acuerdo a los rangos de valores encontrados, se agrupo en 03 zonas variando de la siguiente manera:

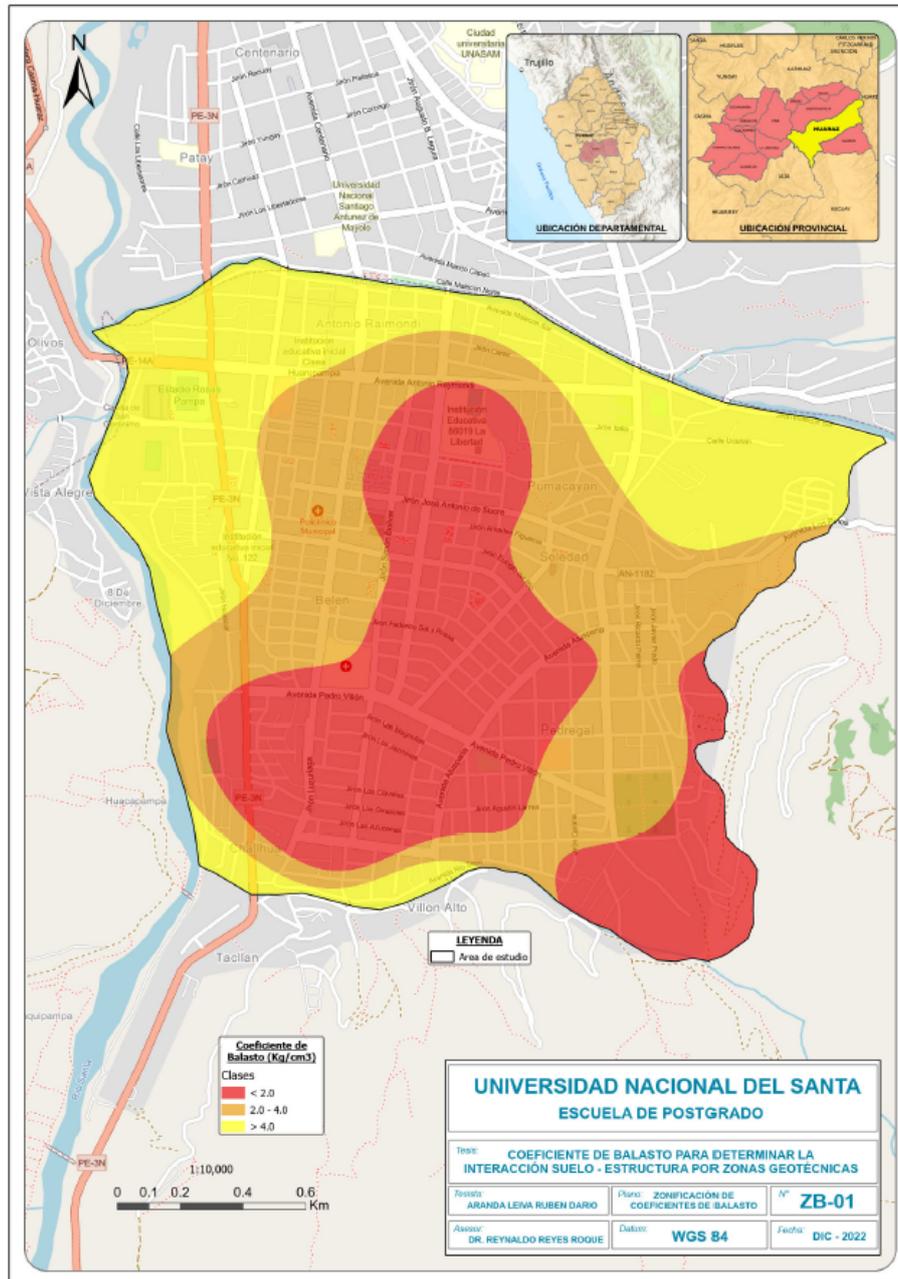
**Tabla 2**

*Rango de coeficientes de balasto en el nuevo mapa de zonificación*

AREA	Rango de Coeficiente de Balasto
Zona I	0,50 a 2,00 kg/cm <sup>3</sup>
Zona II	2,01 a 4,00 kg/cm <sup>3</sup>
Zona III	4,01 a 7,00 kg/cm <sup>3</sup>

**Figura 4**

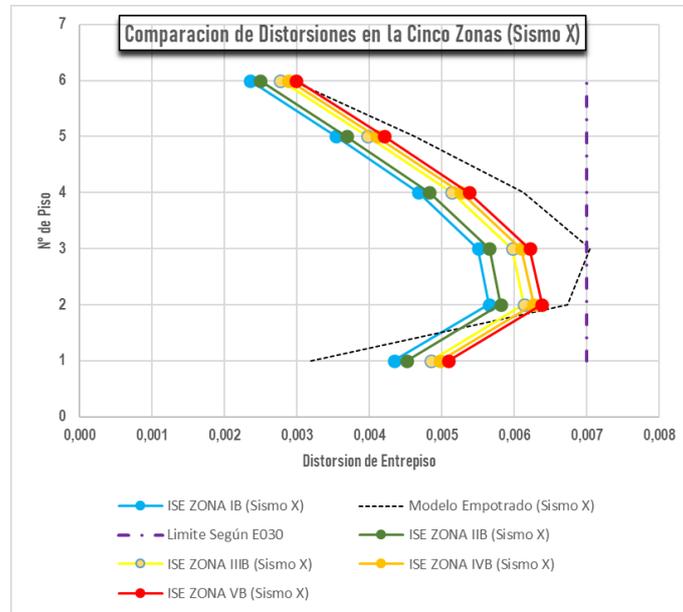
*Mapa de zonificación de coeficientes de balasto para la ciudad de Huaraz*



Con los valores más desfavorables de coeficientes de balasto se realizó un modelamiento incluyendo la interacción suelo- estructura, graficando las distorsiones y comparán-dolas con la que exige la norma E030 diseño sismorresistente.

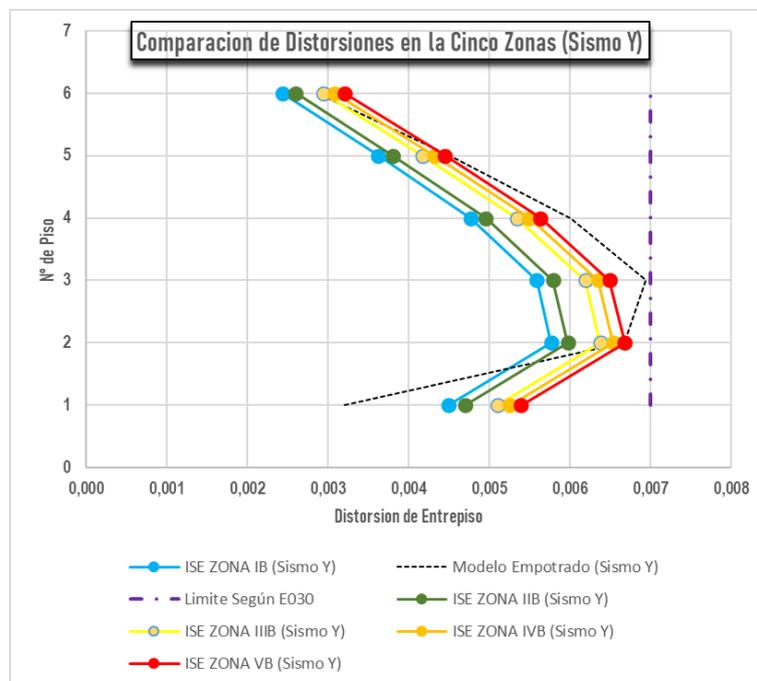
**Figura 5**

*Distorsiones de la vivienda analizada en cada una de las zonas geotécnicas, considerando un sismo en el eje X*



**Figura 6**

*Distorsiones de la vivienda analizada en cada una de las zonas geotécnicas, considerando un sismo en el eje Y*



## **DISCUSIÓN**

Para el ensayo de placa de carga se utilizó un equipo moderno siendo el único en la zona de estudio, al ser moderno se encontraron valores más adecuados y precisos, a comparación con otros equipos que en años anteriores se usaba, la poca información o aplicación de este ensayo en la zona de estudio se debe a la poca demanda en trabajos privados y públicos donde se podría usar este ensayo como parte del diseño de la cimentación de una vivienda antes de su construcción además de su desconocimiento de las bondades de este ensayo, motivo por el cual no se puede comparar los resultados con otras investigaciones.

De acuerdo al plano de microzonificación sísmica de la ciudad de Huaraz, al aplicar el ensayo de placa de carga en la zona VB se obtuvo un valor de coeficiente de balasto  $1,654 \text{ kg/cm}^3$  que a su vez conlleva que en el modelamiento considerando la interacción suelo-estructural se tenga valores más altos de distorsiones en ambas direcciones de análisis. También se encontró el valor de  $1,890 \text{ kg/cm}^3$  en la zona geotécnica IVB con dicho valor también las distorsiones presentan valores cercanos al valor máximo establecido en la norma E030. En la zona geotécnica IIIB y IIV se halló valores de  $2,244$  y  $4,016 \text{ kg/cm}^3$  respectivamente, se aprecia un incremento debido a la influencia de las propiedades físicas y mecánicas de ambas zonas, reflejadas también en las distorsiones al estar más alejadas del valor máximo establecido en la norma E030. De las 05 zonas analizadas la zona IB presenta el valor más alto de coeficiente de balasto obteniéndose  $6,142 \text{ kg/cm}^3$  el incremento se debe al buen tipo de suelo de la zona, confirmándose en los menores valores de distorsión que dio como resultado considerando la interacción suelo-estructura. Al ser propiedades únicas que ofrecen cada zona geotécnica analizada es difícil compararlas con otras investigaciones, ya que no se pueden generalizar.

## **CONCLUSIONES**

Se determinaron los valores de coeficientes de balasto en cada una de las zonas geotécnicas, donde se pudo plasmar en un mapa donde se agruparon en 03 nuevas zonas, la zona I donde los valores se encuentran dentro del rango de  $0,50$  a  $2,00 \text{ kg/cm}^3$ , en la zona II los valores se encuentran en el rango de  $2,01$  a  $4,00 \text{ kg/cm}^3$  y finalmente la zona III se encuentran los valores que se encuentran entre  $4,01$  a  $7,00 \text{ kg/cm}^3$ . De acuerdo a las investigaciones realizadas la zona geotécnica I, II y IIIB se encuentran conformadas por gravas y arenas influenciando en los valores de coeficiente de balasto donde se encontraron valores mayores de  $2 \text{ kg/cm}^3$  y a su vez presentaron valores menores de distorsión considerando el análisis de interacción suelo

estructura. Lo contrario a estas zonas se encontró en las zonas geotécnicas IV y VB, donde se encontraron valores menores de coeficiente de balasto que conllevaron a tener los valores más altos de distorsión y a su vez más cercanos al valor máximo establecido en la norma E030 diseño sismorresistente. Para poder afinar el mapa presentado se recomienda complementar con una mayor cantidad de ensayo de placa de carga en otras partes dentro de las mismas zonas estudiadas, recorriendo que a mayor cantidad de ensayos mayor precisión de los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alarcón, G. D. E. (2021). Relación de la Caracterización de los Suelos con el Coeficiente de Balasto en el Distrito de Pilcomayo [tesis para optar título profesional, Universidad Peruana los Andes]. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/2771>
- Ada M. y Ayzavaz Y. (2019). The Structure-Soil-Structure Interaction Effects on the Response of the Neighbouring Frame Structures. *Latin American Journal of Solids and Structures*. 16 (08), 224. <https://doi.org/10.1590/1679-78255762>
- Anand, V. y Kumar, S. (2020). Seismic Performance of Semi-Rigid Steel Frames Considering Soil-Structure Interaction. In *Indian Structural Steel Conference*, 687-697. [10.1007/978-981-19-9390-9\\_56](https://doi.org/10.1007/978-981-19-9390-9_56)
- Aquino, C. C. M., y Rodríguez, C. M. T. (2015). Comparación de la respuesta estructural de los módulos B y C de la IE Julio Ramón Ribeyro considerando y sin considerar la interacción suelo-estructura [tesis para optar título profesional, Universidad Nacional de Ucayali]. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/9431>
- Bapir, B.; Abrahamczyk, L.; Wichtmann, T.; Prada-Sarmiento, L. (2023). Soil-structure interaction: A state of the art review of modeling techniques and studies on seismic re-sponse of building structures. *Frontiers in Built Environment*, 9 (10), 2297-3362. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1120351>
- Camilo, A. y Andres, J. (2020). Implementación de un ensayo a escala reducida en una cimentación superficial para el estudio del coeficiente de balasto [Tesis de Pre Grado, Universidad Católica de Colombia]. [https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25785/1/Trabajo%20de%20grado%20placa%20de%20carga\\_Qui%C3%B1onesJhimer\\_Contreras\\_Camilo%20biblioteca.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/25785/1/Trabajo%20de%20grado%20placa%20de%20carga_Qui%C3%B1onesJhimer_Contreras_Camilo%20biblioteca.pdf)

- Contreras, T. A. C., y Quiñonez, D. J. A. (2021). Implementación de un ensayo a escala reducida en una cimentación superficial para el estudio del coeficiente de balasto [tesis para optar título profesional, Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/febc51e1-cd96-43fc-a9c8-9e2c8aa0a801>
- Menasri, Y. y Brahimi, M. (2023). *Assessment Of The Effects Of Soil-Structure Interaction On The Seismic Response Of The RC Frame Buildings By Developing Seismic Fragility Curves Based On SPO2IDA Analysis*. Journal of Applied Science and Engineering (Taiwan), 27(2), 2075-2085. [http://dx.doi.org/10.6180/jase.202402\\_27\(2\).0009](http://dx.doi.org/10.6180/jase.202402_27(2).0009)
- Tabish, A.; Eldin, M.; Waseem H. (2023). *The Effect of Soil-Structure Interaction on the Seismic Response of Structures Using Machine Learning, Finite Element Modeling and ASCE 7-16 Methods*. Seismology and Earthquake Engineering. 23(4), 2047. <https://doi.org/10.3390/s23042047>
- Taforel, P.; Renouf, M.; Dubois, F.; Voivret, J. (2016). *Finite Element-Discrete Element Coupling Strategies for the Modelling of Ballast-Soil Interaction*. International Journal of Railway Technology. 4 (2), 73-95. <https://hal.science/hal-01279251>
- Tena, A. (2019). *Interacción suelo-estructura. reflexiones sobre su importancia en la respuesta dinámica de estructuras durante sismos*. Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras. 24 (2), 141-165. <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/1282/944>

Fecha de recepción: 10/11/23

Fecha de aceptación: 15/12/23

### **Correspondencia**

Ruben Aranda Leiva

rubenfic.26@gmail.com