

Computer System "CEINCI LAB" as a teaching tool for Seismic-Structural Engineering

Roberto Rodrigo Aguiar-Falconí^a & Brian Jordano Cagua-Gómez^{a,b}

^a Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 171103 Sangolquí, Ecuador. rraguiar@espe.edu.ec, bjcagua@espe.edu.ec

^b Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de los Andes, Santiago, Chile. bjcagua@miuandes.cl

Received: March 24th, 2022. Received in revised form: June 30th, 2022. Accepted: July 6th, 2022.

Abstract

The "CEINCI LAB" is an Application Software comprised of algorithms and functions indented for the simulation of the challenges that are specific to complex problems of Seismic-Structural Engineering. In 1993, the original functions were written in Fortran and later, Visual Basic was employed. Currently, the functions are executed using MatLab or Octave. This academic tool enhances the teaching process and achieves an impactful learning for students. For this reason, it is used as a complement in the classroom, with the aim of performing matrix and linear and nonlinear analyses, structural design, dynamics, and seismic hazard assessment, nonlinear analyses thanks to its coupling capabilities with OpenSees. CEINCI LAB holds the promise of varied additional applications for undergraduate and postgraduate Civil Engineering courses. The evolution of the "CEINCI LAB" Software is presented in this article, along with its main functions and their positive impact on students. Additionally, the benefits in the teaching experience stemming from the classroom implementation of the software, as well as its efficacy as a real-cases consultancy tool are highlighted.

Keywords: engineering education; CEINCI LAB; seismic-structural engineering; software; teaching-learning.

Sistema Computacional "CEINCI LAB" como una herramienta para la enseñanza de Ingeniería Sísmica-Estructural

Resumen

El Sistema de Computación "CEINCI LAB" lo componen programas y funciones orientadas a resolver problemas de Ingeniería Sísmica-Estructural. En el año 1993 se desarrollaron las funciones iniciales en Fortran, posteriormente se utilizó Visual Basic y en la actualidad se ejecutan mediante MatLab u Octave. Esta herramienta académica facilita el proceso de enseñanza y genera un aprendizaje significativo en los estudiantes. Por esta razón, se emplea como un complemento en clases, con el objetivo de realizar análisis matricial, diseño estructural, análisis lineal y no lineal, dinámica, peligrosidad sísmica, acoplamiento con OpenSees, entre otras aplicaciones en cursos de pregrado y posgrado de Ingeniería Civil. En este artículo, se presenta la evolución del Sistema de Computación "CEINCI LAB", sus principales funciones y el impacto en los estudiantes. Por otra parte, se expone la experiencia docente sobre su implementación en clases y la utilización en consultorías orientadas a casos reales.

Palabras clave: educación en ingeniería; CEINCI LAB; ingeniería sísmica-estructural; sistema computacional; enseñanza-aprendizaje.

1. Introducción

Ecuador se encuentra en el Cinturón de Fuego del Pacífico, esto implica que se tiene una alta sismicidad [1]. En consecuencia, las cátedras relacionadas a ingeniería Sísmica-Estructural son de gran importancia para la formación

adecuada de ingenieros Civiles del país y de la región [2]. Los contenidos de estas materias permiten caracterizar la amenaza sísmica, entender la propagación de las ondas sísmicas, calcular la respuesta dinámica de las estructuras y continuar con su diseño o reforzamiento. Además de ser fundamentales para proteger la integridad de las

How to cite: Aguiar-Falconí, R.R. and Cagua-Gómez, B.J., Sistema Computacional "CEINCI LAB" como una herramienta para la enseñanza de Ingeniería Sísmica-Estructural. DYNA, 89(222), pp. 74-82, special engineering education July, 2022.

construcciones, salvaguardar vidas humanas y preservar la economía de la sociedad, en especial ante acciones sísmicas o exposición a cargas de viento, gravitacionales, excitaciones externas debido a vibraciones, entre otras. Aunque es evidente la importancia de estas materias, los estudiantes frecuentemente manifiestan dificultades para interpretar y comprender sus contenidos. Lo expuesto anteriormente, motiva la generación de herramientas computacionales para facilitar el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante entornos visuales con aplicaciones reales, por ejemplo, los trabajos de [3-6].

La creación de este tipo de trabajos se hace considerando que el desarrollo y la utilización de herramientas computacionales, que permitan simular diversas condiciones de carga y obtener respuestas para diseño, impactará en el desarrollo de la ingeniería [7]. En virtud de ello, se desarrolló un Sistema de Computación denominado “CEINCI LAB”, con sus inicios en el año 1993 por el Dr. Roberto Aguiar. Las funciones y programas se han incrementado, validado y mejorado con el paso del tiempo, siendo en la actualidad un Sistema de Computación utilizado en los cursos de pregrado y posgrado en Universidades de Ecuador y Latinoamérica, además de ser una herramienta utilizada en casos de diseño y consultoría. La programación inicial se desarrolló en Fortran [8], posteriormente se implementa codificación en Visual Basic [9] para generar una interfaz gráfica y en la actualidad se ejecutan mediante MatLab [10] u Octave [11].

CEINCI LAB corresponde a un grupo de funciones y programas que permiten ejecutar análisis estático y dinámico de estructuras, generación y escalamiento de espectros, tratamiento de señales, diseño de pórticos de acero con y sin diagonales concéntricas o excéntricas, inclusión de sistemas de disipación de energía y aislamiento sísmico, además de otros cálculos de ingeniería Sísmica-Estructural.

En este ámbito, es importante introducir conceptos de ingeniería Sísmica-Estructural en las carreras de arquitectura, que proporcionen una perspectiva cualitativa y permitan entender el comportamiento sismorresistente desde la concepción de proyectos [12]. Por esta razón, trabajos futuros contemplan la generación de interfaces gráficas para facilitar su posible implementación en arquitectura y carreras de tecnología en construcción o afines.

Este artículo se compone de seis secciones: la primera hace referencia a la introducción del tema, la segunda trata sobre la evolución de las funciones de CEINCI LAB, la tercera esboza su implementación en las aulas, la cuarta expone el impacto en los estudiantes, en la sección cinco se muestra el Blog de CEINCI LAB, en la sección seis se comparte su utilización en consultorías; y por último se muestran las conclusiones, en las cuales se aprecia el aporte significativo del Sistema de Computación CEINCI LAB a los estudiantes de Ingeniería Civil, a las investigaciones y consultorías, a más de la contribución e impacto social positivo generado.

2. Evolución de las funciones de CEINCI LAB

Desde 1993 el Dr. Roberto Aguiar inició la generación de programas computacionales en el Centro de Investigaciones Científicas, CEINCI, de la Escuela Politécnica del Ejército

ESPE [13]. Ese mismo año, el Sistema de Computación “CEINCI LAB” fue desarrollado, como una herramienta académica para la enseñanza de Ingeniería Sísmica-Estructural, denominándose programas CEINCI1, CEINCI2 y CEINCI3. Estos programas sirven para el análisis sísmico de pórticos planos y estructuras espaciales como se expone en [14-17].

La programación inicial se desarrolló en Fortran, no obstante, con la colaboración de Carlos Santander se

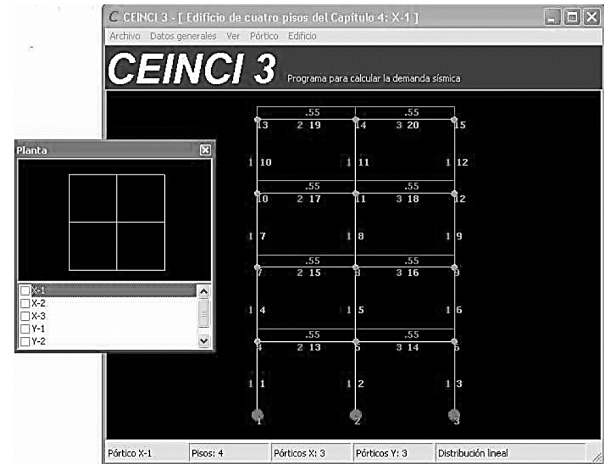


Figura 1. Ingreso de datos en el programa CEINCI3
Fuente: Los autores.

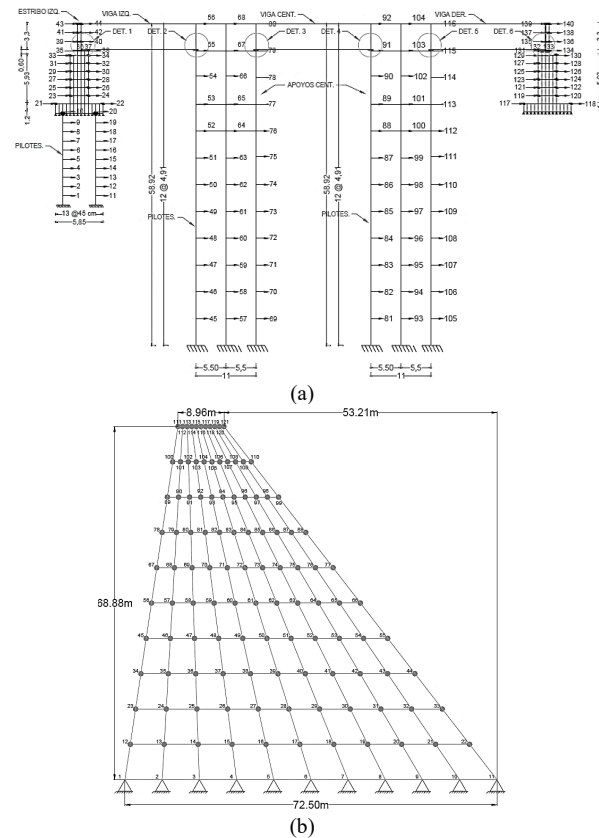


Figura 2. Estructuras modeladas con CEINCI-LAB, a) Puente; b) Presa.
Fuente: Los autores.



Figura 3. Modelo básico de Giberson para determinar la Flexibilidad.
Fuente: [44]

implementó una interfaz en Visual Basic, consiguiendo una presentación de resultados más sencilla de entender, como se ilustra en la Fig. 1.

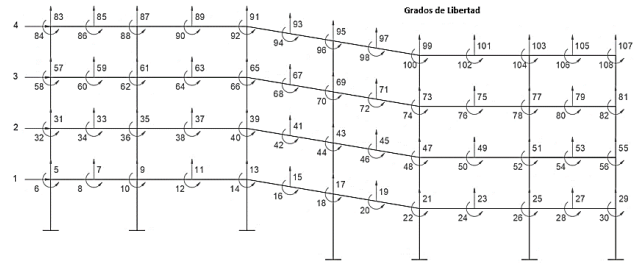
Algunas de las funciones de CEINCI LAB se han desarrollado para análisis estructural de elementos sencillos como una viga continua [18], otros más complejos como puentes [19-21], presas [22-25], edificaciones con sistema de aislamiento sísmico [26-33], inclusión de disipadores de energía [34-41], entre otras aplicaciones [42, 43]. En la Fig. 2 se presenta algunas de las estructuras modeladas.

También se desarrollaron funciones para ejecutar análisis no lineal de estructuras mediante el modelo de plasticidad concentrada de Giberson, como se muestra en la Fig. 3 y se documenta en [44, 45].

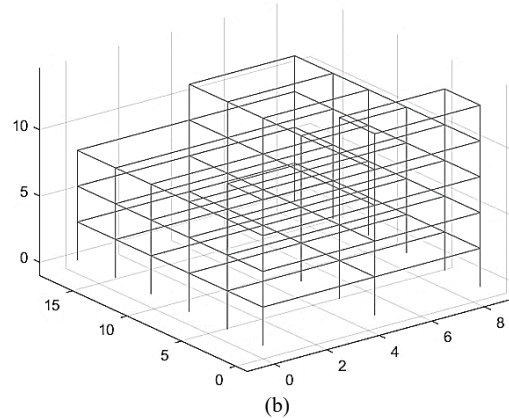
Para modelar estructuras de pórticos, asociadas a edificaciones regulares, se debía ingresar las coordenadas de los nudos X, Y, además indicar la conectividad de elemento mediante el nudo inicial y final NI, NJ respectivamente. No obstante, en el año 2019, se incorporaron funciones que permiten un ingreso de datos más sencillos, minimizando el tiempo de modelación y dando paso a que los estudiantes concentren su atención en los procedimientos, métodos de análisis y resultados. Estas nuevas funciones consideraron la inclusión de vectores sv y sp que contienen la longitud de vanos y la altura de cada entresijo del pórtico. Posteriormente rutinas convierten estos datos en las coordenadas X, Y y los nudos inicial y final de cada elemento como se ilustra en [46]. A partir de estas funciones se realizaron nuevas contribuciones para facilitar la modelación de pórticos con diagonales [47], con disipadores de energía [48], estructuras tridimensionales [49], e incluso se consideran rutinas para estructuras irregulares [50, 51], como se presenta en la Fig. 4.

En el año 2020, se generaron funciones para ejecutar modelos de análisis no lineal con OpenSees [52-53]. En estos modelos el ingreso de datos se lo realiza empleando las funciones de CEINCI LAB, el análisis se lo efectúa en OpenSees y los resultados se presentan de manera gráfica con otras funciones de CEINCI LAB. En la Fig. 5 se presenta la discretización de los elementos para el análisis no lineal en OpenSees considerando plasticidad concentrada.

Posteriormente, se han desarrollado funciones para el análisis y diseño de pórticos de acero con y sin diagonales, tanto concéntricas como excéntricas. Estas funciones permiten obtener las relaciones demanda versus capacidad de los elementos de forma visual como se presenta en la Fig. 6 y se detalla en los trabajos [54-56].



(a)
Esquema Estructural



(b)
Figura 4. Estructuras irregulares con CEINCI-LAB, a) 2D; b) 3D.
Fuente: Los autores.

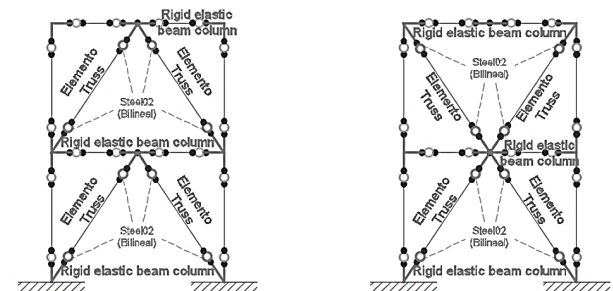


Figura 5. Modelo para el análisis no lineal de estructuras con diagonales.
Fuente: [52]

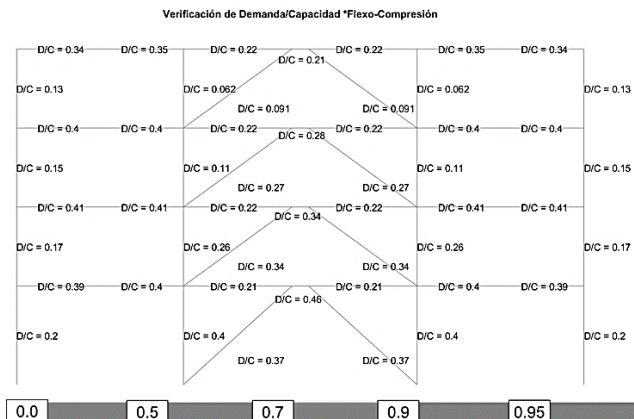


Figura 6. Pórtico de acero modelado mediante CEINCI LAB.
Fuente: Los autores.

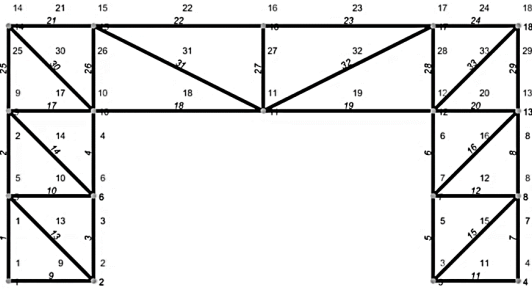


Figura 7. Cercha de acero modelada mediante CEINCI LAB.
Fuente: Los autores.

```

EJ 4 Hormigon_NU_10Pisos
cli:clear
%% Pórticos en sentido eje X (Eje 1 y 2)
sv = [7.5;6.5];
sp = [3.5;3.2;3.2;3.2;3.2;3.2;3.2;3.2;3.2;3.2];
% .....
% [nr, nv, nudc, nudcol, nudvg, nod, nr] = geometria_nudo_viga(sv, sp);
[X, Y] = linea_portico2(nv, nv, sp, nod, nr);
[Nr, Nv] = qn_portico2(nr, nv, nudc, nudcol, nudvg);
[CG, ngl] = qn_sismo2(nod, nr, Y); %Calcula los grados de libertad
[VCI] = vc(Nr, Nv, CG);
[L, seno, coseno] = longitud(N, Y, Nr, Nv);
% .....
% Contribución de columnas y vigas
fc = 280; Ec = 120000 * sqrt(fc);
ELEM = [
    repmat([0.90, 0.75], [30, 1]); %elem 1 a 30
    repmat([0.50 0.80], [40, 1]); %elem 31 A 70
];
% .....
% Condensación de la matriz de Rigidez
na = np; % número de pisos
ka = k([1:na, 1:na]); %k = k([1:na, na+1:ngl]);
kba = kba'; %kbb = k([na+1:ngl, na+1:ngl]);
% .....
% Matrices de rigidez lateral de los Pórticos
k1 = ka - kba * inv(kbb) * kba;
% .....
    
```

Figura 9. Explicación del código de CEINCI LAB en clases virtuales.
Fuente: Los autores.

El número de funciones aumentan constantemente, al igual que las aplicaciones a la ingeniería sísmica-estructural, por ejemplo, las funciones para análisis de estructuras con cartelas de hormigón armado [57-59]. Actualmente están desarrollándose funciones para análisis de cerchas metálicas como se presenta en la Fig. 7.

Existen varias funciones y aplicaciones de dinámica de estructuras e ingeniería sísmica que no se detallan en este artículo. No obstante, el lector puede encontrar esta información en el sitio de RearchGate del primer autor [60].

3. Implementación de CEINCI LAB en las aulas

El Sistema de Computación CEINCI LAB se ha implementado en clases de pregrado y postgrado de Ingeniería Civil, en las cátedras correspondientes a la especialización Sísmica-Estructural, en especial en materias como Análisis Matricial, Dinámica, Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente.

En estas clases se presenta la teoría, la cual es acompañada de las aplicaciones en el Sistema de Computación CEINCI LAB, estas explicaciones detallan el código de programación, además se motiva a la generación de nuevas funciones con soluciones más eficientes a los problemas planteados, como se muestra en la Fig. 8.

En la actualidad, el cambio de modalidad de enseñanza debido a la pandemia del COVID19, ha fortalecido el uso de CEINCI LAB para la resolución de problemas de sísmica y estructuras en clases, como se visualiza en la Fig. 9. Además, para la difusión del trabajo con CEINCI LAB se ha creado un Blog que contiene videos de clases que se imparten, permitiendo el refuerzo del conocimiento y pone al alcance de estudiantes y profesionales cursos completos de análisis de estructuras (ver sección 5).



Figura 8. Ponentes de funciones de CEINCI LAB en congreso.
Fuente: Los autores.

Entre las universidades ecuatorianas donde se ha utilizado este sistema de computación para clases se puede destacar: Universidad de las Fuerzas Armadas, Escuela Politécnica Nacional, Universidad Central del Ecuador, Universidad Laica Eloy Alfaro, Universidad Técnica de Manabí, Universidad de Guayaquil, Universidad Técnica de Ambato; además, en universidades de Latinoamérica como: Universidad Francisco Javier de Chuquisaca en Bolivia, Universidad Tecnológica Nacional en Mendoza, Argentina, Universidad Católica Madre y Maestra de Santiago en República Dominicana, Universidad Nacional de Ingeniería en coordinación con DISEPRO en Perú, Universidad Politécnica de Cataluña en Barcelona España.

4. Impacto en los estudiantes

Al emplear el Sistema Computacional CEINCI-LAB para la enseñanza de Ingeniería Sísmica-Estructural se puede evidenciar mayor participación de los estudiantes en clases, mayor interés por conocer los procedimientos de cálculo de estructuras cada vez más complejas y un desarrollo extraordinario en cuanto a las habilidades de programación.

Es importante mencionar que el Sistema de Computación ha contado con aportes de funciones generadas por estudiantes, esto se ha complementado con la publicación de artículos científicos, libros, monografías, presentaciones en congresos y elaboración de tesis (ver sección 2).

Una evidencia del impacto de esta metodología de enseñanza, es que en el año 2022 se desarrolló un Congreso Virtual de Estructuras, organizado por CEINCI LAB [61], en el cual los ponentes fueron estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Se presentaron alrededor de 30 conferencias con temas avanzados de ingeniería, entre ellos topología estructural, celosías, vulnerabilidad, vigas con cartelas, estructuras con diagonales de acero y análisis no lineal. En este congreso se evidenció el nivel de conocimiento de los estudiantes y su contribución a la generación de nuevas funciones de CEINCI LAB, como se expone en la Fig. 10.

Un gran número de estudiantes de las cátedras del Dr. Roberto Aguiar, han desarrollado maestrías y doctorados, permitiéndoles ser docentes universitarios en la actualidad. Estos nuevos profesores continúan utilizando el Sistema de Computación CEINCI LAB como una herramienta para la enseñanza de Ingeniería Sísmica-Estructural.

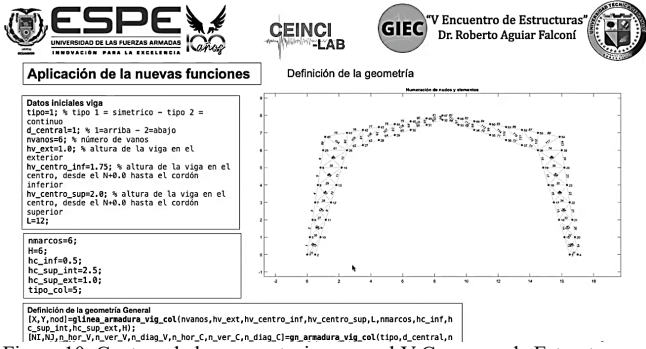


Figura 10. Captura de las presentaciones en el V Congreso de Estructuras. Fuente: Los autores.

5. Blog de CEINCI LAB

Debido a la pandemia, en el año 2020 y considerando los cambios en las metodologías de enseñanza, se inició el Blog de CEINCI LAB. En este sitio web se almacenan funciones, investigaciones, videos y cursos. Además de la recopilación de los videos del Ciclo de Conferencias “El conocimiento no se Detiene Dr. Roberto Aguilar Falconí” [62].

La dirección electrónica del Blog de CEINCI LAB se encuentra en [63]. El diseño de la web mantiene una organización con etiquetas en el menú superior. La página principal incluye los perfiles de los colaboradores, posteriormente se tiene las secciones de investigación, funciones de CEINCI LAB, docencia, consultorías, cursos, conferencias, boletín informativo y la información de contacto de los desarrolladores y colaboradores. En la sección de Funciones de CEINCI LAB se puede descargar los programas para cada análisis dando clic en la imagen que corresponda. En la Fig. 11 se presenta los módulos de CEINCI LAB disponibles para descarga de forma gratuita.

Desde el inicio del Blog de CEINCI LAB se percibió un gran interés por parte de los estudiantes, docentes e investigadores de ingeniería civil en Ecuador (80% de las visitas), la región Latinoamericana y el mundo en general como se ilustra en la Fig. 12.

Las visitas de los usuarios al Blog motivaron la generación de un canal de YouTube [64] y una página de Facebook [65]. Esto permite emitir comunicados sobre cursos, conferencias, congresos y nuevas publicaciones relacionadas al sistema de Computación CEINCI LAB, como se muestra en la Fig. 13.

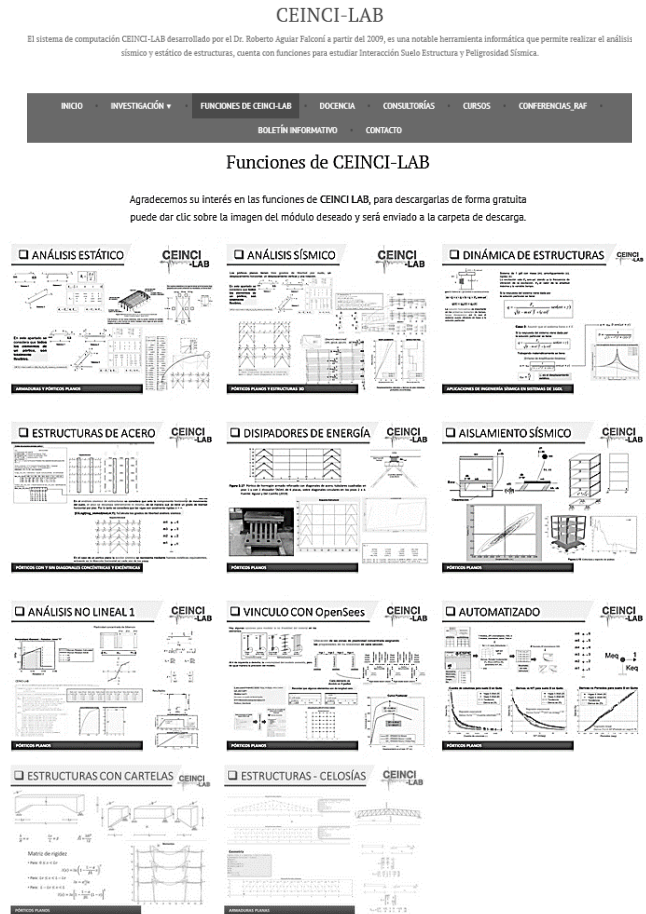


Figura 11. Contenido de la sección de Funciones de CIENCI LAB en el sitio oficial. Fuente: Los autores.

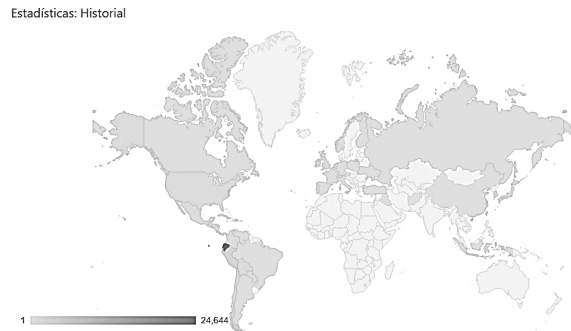


Figura 12. Estadísticas de visitas histórico hasta el 16 de marzo de 2022. Fuente: Los autores.

Contenido reciente ↓	Tipo	Alcance ↕	Me gusta y reacciones ↕
PROGRAMA DE CONFERENCIAS "E... lunes, 7 de marzo 19:01	PUBLICITARIO	1,357	16
PROGRAMA DE CONFERENCIAS "E... viernes, 4 de marzo 17:12	PUBLICITARIO	3,630	52
PROGRAMA DE CONFERENCIAS "E... lunes, 28 de febrero 20:59	PUBLICITARIO	8,024	33
PROGRAMA DE CONFERENCIAS "E... lunes, 21 de febrero 19:57	PUBLICITARIO	5,730	32
PROGRAMA DE CONFERENCIAS "E... martes, 15 de febrero 6:38	PUBLICITARIO	3,154	60
V ENCUENTRO DE ESTRUCTURAS ... jueves, 10 de febrero 7:40	PUBLICITARIO	925	34
V ENCUENTRO DE ESTRUCTURAS ... jueves, 10 de febrero 7:24	PUBLICITARIO	831	43
V ENCUENTRO DE ESTRUCTURAS ... miércoles, 9 de febrero 18:21	PUBLICITARIO	5,502	82

Figura 13. Estadísticas de visitas histórico hasta el 16 de marzo de 2022. Fuente: Los autores.

6. Aplicación de CEINCI LAB en consultorías

Existen múltiples proyectos reales en los cuales se ha utilizado las funciones de CEINCI LAB como una herramienta de cálculo. A continuación, se presentan algunos casos de aplicación importantes para el desarrollo del Ecuador y la región.

6.1 Estudios de peligrosidad sísmica

De los trabajos relacionados con la Peligrosidad Sísmica se puede destacar: La microzonificación sísmica de Quito [66, 67], microzonificación sísmica de Ambato [68,69], la determinación de espectros para el diseño del Hospital de Quinindé [70], la zonificación sísmica en países bolivarianos [71], además de consultorías de peligrosidad sísmica para el diseño del Puente Los Caras en Manabí, Presas y Diques del proyecto Daule-Peripa y Baba, Puente Las Golondrinas en Esmeraldas, entre otros. En la Fig. 14 se muestra espectros generados mediante CEINCI LAB.

6.2 Diseño estructural

Múltiples estructuras se han diseñado con funciones de CEINCI LAB, entre ellas se tiene estructuras con aisladores sísmicos como el Hospital de Quinindé [72], Edificio de Investigación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE [73], este último se presenta en la Fig. 15.

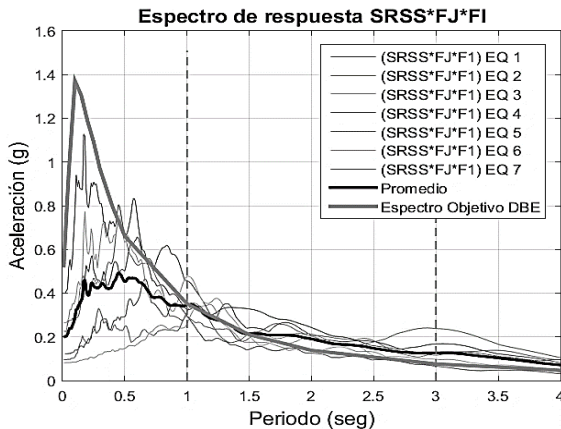


Figura 14. Espectros generados por CEINCI LAB.
Fuente: Los autores.

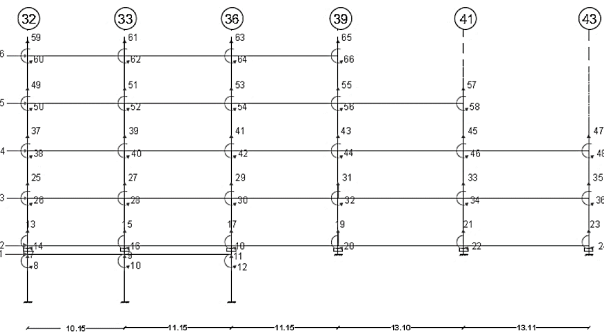


Figura 15. Estructura con aisladores analizado mediante CEINCI LAB.
Fuente: [73]

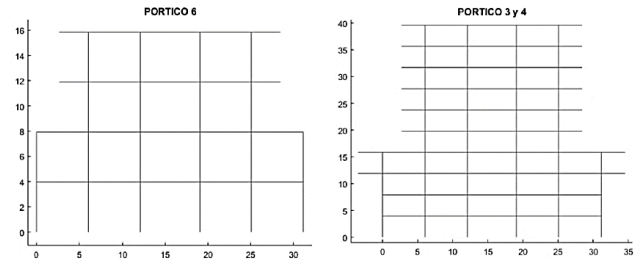


Figura 16. Pórticos del Banco de Manta modelados en CEINCI LAB.
Fuente: [75]

6.3 Reforzamiento de estructuras

Debido al sismo de 2016 en Ecuador se evidenció la necesidad de realizar evaluaciones y reforzamientos de estructuras, los análisis de algunas estructuras se desarrollaron empleando CEINCI LAB, entre ellos se puede referenciar a los trabajos de [74-80].

7. Conclusiones

El Sistema de Computación “CEINCI LAB” ha evolucionado significativamente desde el desarrollo de sus primeras funciones en el año 1993, tanto en el ingreso de datos como en la visualización de resultados. Estos cambios permiten una fácil aplicación por parte de los estudiantes, investigadores y docentes.

La implementación de esta herramienta académica en clases permite la motivación y mejora la participación de los estudiantes, involucrándolos en un proceso para desarrollar nuevas funciones a partir de los conceptos estudiados. Asimismo, se fomenta un desarrollo de competencias y destrezas específicas y genéricas de los estudiantes.

Generar programas y nuevas funciones requieren del conocimiento y dominio de la teoría, además permite desarrollar habilidades de programación esenciales en la formación de futuros ingenieros.

Para utilizar las funciones de CEINCI LAB se requiere únicamente un computador personal, su ejecución se lo puede realizar mediante MatLab u Octave.

Las funciones generadas permiten una mayor libertad y transparencia durante la realización de cálculos. El usuario puede adaptar y mejorar el código base en función de sus necesidades particulares, lo que no es posible en programas comerciales.

Actualmente se dispone de un gran número de funciones, revisadas y validadas, que permiten realizar cálculos de ingeniería Sísmica-Estructural. Se ha utilizado este Sistema de Computación de manera exitosa en consultorías de importancia para el desarrollo del país. Por lo anteriormente expuesto, en clases se motiva a los estudiantes en su utilización vinculando los conceptos teóricos con casos reales.

El interés en las funciones de CEINCI LAB y su utilización para la práctica profesional se hace evidente mediante correos electrónicos y mensajes de profesionales que solicitan información al respecto y los enlaces de descarga a través de las redes sociales del Sistema Computacional.

Referencias

- [1] Quinde, P. y Reinoso, E., Estudio de peligro sísmico de Ecuador y propuesta de espectros de diseño para la Ciudad de Cuenca, *Ingeniería Sísmica*, (94), pp. 1-26, 2016. DOI: <https://doi.org/10.18867/ris.94.274>
- [2] Salinas, D., Reflexiones sobre la importancia y diagnóstico del área estructural en programas de ingeniería civil en Colombia, *Revista Educación en Ingeniería*, 13(25), pp. 72-81, 2018. DOI: <https://doi.org/10.26507/rei.v13n25.842>
- [3] Rojas, H., Desarrollo de software para la enseñanza de la Dinámica de Estructuras. Tesis Posgrado, Facultad de Ingeniería Secretaría de Investigación y Estudios de Posgrado, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, México, 2019.
- [4] Guerrero, M., Gómez, D., Sandoval, E., Thomson, P. y Marulanda, J., SISMILAB, un laboratorio virtual de ingeniería sísmica, y su impacto en la educación, en: 4th Conferencia de Directores de Tecnología de Información y Comunicación en Instituciones de Educación Superior: Gestión de las TICs para la investigación y colaboración, 2014, TICAL, Cancún, México, 2014, 10 P.
- [5] Gao, Y., Yang, G., Spencer Jr, B.F. and Lee, G.C. Java-powered virtual laboratories for earthquake engineering education, *Computer Applications in Engineering Education*, 13(3), pp. 200-212, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/cae.20050>
- [6] Santos-Da Silva, J., Da Silva-Velasco, N. and De Almeida, N., Dinest, educational software for structural dynamic design and behaviour, in: *International Conference on Engineering Education*, 2002, pp.1-6.
- [7] De la Colina, J. y De Ramírez, H., La ingeniería estructural. *CIENCIA ergo-sum*, *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 7(2), pp. 171-177, 2000.
- [8] Sitio oficial de Fortran. [online]. [Consultado en marzo de 2022]. Available at: <https://www.fortran.com/>.
- [9] Sitio oficial de Visual Basic. [online]. [Consultado en marzo de 2022]. Available at: <https://visualstudio.microsoft.com/es/>.
- [10] MATLAB. Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. [online]. 2022. [Consultado en marzo de 2022]. Available at: <https://www.mathworks.com/>.
- [11] Sitio oficial de Octave. [online]. [Consultado en marzo de 2022]. Available at: <http://www.gnu.org/software/octave/>.
- [12] Fernández, L., La enseñanza de la ingeniería sísmica en la arquitectura, en: XVIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, 2011, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, Aguascalientes, México, 2011, 9 P.
- [13] Aguiar, R. y Santander, C., Manual de uso de los programas CEINCI2 y CEINCI3, [en línea], Quito, Ecuador, DocPlayer, 2018 [consulta, 1 de marzo de 2022]. Available at: <https://docplayer.es/69984868-Manual-de-uso-de-los-programas-ceinci2-y-ceinci3.html>
- [14] Aguiar, R., Control de comportamiento estructural en estado límite de diseño con programa CEINCI2, en: 6^o Congreso Argentino de Mecánica Computacional. *Ingeniería Antisísmica*, 1999. Mecánica Computacional, Mendoza, Argentina, AMCA, 1999, pp. 539-559.
- [15] Aguiar, R., Capacidad resistente de estructuras sometidas a cargas laterales: programa CEINCI2, en: 4^o Encuentro de Investigadores y Profesionales Argentinos de la Construcción 1999, EIPAC, Asociación de Ingenieros Estructurales, Mendoza, Argentina, 1999, pp. 84-90.
- [16] Aguiar, R., Evaluación del daño en edificios y desempeño sísmico. Programa de ordenador CEINCI3, 1^{ra} ed, Barcelona, Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE-IS- 45, España, 2001, 101 P.
- [17] Aguiar, R., Sistema de Computación CEINCI3 para evaluar daño sísmico en los Países Bolivarianos, 1^{ra} ed, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador, 2002, 302 P.
- [18] Aguiar, R., Análisis estático de vigas continuas con CEINCI-LAB, en: 6^o Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 2011, CEINCI, Sangolquí, Ecuador, 2011, pp. 31-45.
- [19] Aguiar, R. y García, E., Análisis sísmico en sentido longitudinal del puente Carrizal con dos modelos. Empleando CEINCI-LAB, *Ciencia*, 13(1), pp. 63-86, 2010.
- [20] Aguiar, R. y Espinoza, D., Análisis sísmico de apoyos centrales de puente sobre el río carrizal, en: 3^{er} Congreso Nacional de Geotecnia C.I.C.P. CICP, Ecuador, 2010.
- [21] Aguiar, R., Análisis sísmico de puentes con CEINCI-LAB, Centro de Investigaciones Científicas. Escuela Politécnica del Ejército, Quito, Ecuador, 2010.
- [22] Aguiar, R., Sosa, D., Moreno, F., Tomello, M. y Yopez, F., Análisis de presas de gravedad con hormigón rodillado. Aplicación al Proyecto Jubones, *Mecánica Computacional*, 30(12), pp. 999-1017, 2011.
- [23] Aguiar, R., Sosa, D. y Mroginski, J., Cálculo de la presión hidrodinámica con elementos finitos. Modelo de Fluido incompresible, en: 6^o Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, CEINCI, Sangolquí, Ecuador, 2011, pp. 17-29.
- [24] Logacho-Ayo, E.O., Análisis sísmico y estudio de la subpresión en la presa Santa Cruz, Tesis Pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador, 2012, 268 P.
- [25] Tarambís-Rodríguez, J.P., Interacción fluido-estructura en el análisis sísmico de la presa chontal, Tesis Pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador, 2011, 340 P.
- [26] Aguiar, R., Mora, D. y Tipanluisa, E., El método del espectro de capacidad en estructuras con aisladores FPT con CEINCI-LAB. *Ciencia*, 18(1), pp. 21-45, 2016.
- [27] Aguiar, R., Mora, D. y Tipanluisa, E., Análisis no lineal dinámico de estructuras con aisladores FPT con Ceinci-Lab, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 22(1), pp. 87-111, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v22i1.631>
- [28] Aguiar, R. y Contreras, J., Análisis modal espectral en estructuras con aisladores elastoméricos, en: 6^o Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE, 2011, CEINCI, Sangolquí, Ecuador, 2011, pp. 47-62.
- [29] Aguiar, R., Añazco, D. y Angulo, R., Modelo aproximado para el análisis sísmico del Puente Norte 1 en Ecuador construido con aisladores FPS, *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 10(2), 2010.
- [30] Aguiar, R., Morales, E., Guaygua, B. y Rodríguez, M., Método simplificado para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de tercera generación, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 33(1-2), pp. 103-109, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rimmi.2016.03.002>
- [31] Villarruel, G. y Aguiar, R., Comparación de estructuras rígidas con estructuras flexibles sobre aisladores sísmicos FPT, *Ciencia*, 19(1), pp. 120-158, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24133/ciencia.v19i1.328>
- [32] Leiva, P. y Aguiar, R., Análisis no lineal del aislador de triple péndulo de fricción mediante el modelo Tri-lineal, *Ciencia*, 19(1), pp. 94-119, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24133/ciencia.v19i1.329>
- [33] Aguiar, R., Palacios, P., Olmedo, J., Parra, K. y Herrera, M., Análisis de estructuras con disipadores de energía TADAS utilizando CEINCI-LAB, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(4), pp. 387-403, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v24i4.1574>
- [34] Aguiar, R., Mora, D. y Rodríguez, M., CEINCI-LAB un software libre para hallar la curva de capacidad sísmica de pórticos con disipadores ADAS o TADAS, *Revista ingeniería de construcción*, 31(1), pp. 37-53, 2016.
- [35] Aguiar, R., Mora, D. y Rodríguez, M., Análisis de una estructura con disipadores sometidos a espectros de diseño y de control, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 33(3-4), pp. 171-178, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rimmi.2016.04.008>
- [36] Aguiar, R., Llerena, E. y Jiménez, L., Análisis sísmico de auditorio de UFA-ESPE con vigas San Andrés y disipadores de energía Shear Link Bozzo, *Ciencia*, 18(2), pp. 173-200, 2016.
- [37] Aguiar, R., Mora, D. y Rodríguez, M., Análisis de una estructura con disipadores sometidos a espectros de diseño y de control, *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, pp. 1-8, 2016.
- [38] Aguiar, R. y Coyago, H., Alternativas estructurales de la primera fase del proyecto dedicado a la vinculación con la sociedad de la ESPE Campus Santo Domingo incorporando muros de corte y disipadores SLB, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 21(4), pp. 389-414, 2016. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v21i4.621>

- [39] Aguiar, R., Bozzo, L., Coyago, H. y Andino, C., Análisis sísmico de Bloque Estructural 4 de UFA-ESPE con disipadores de energía Shear Link Bozzo, *Ciencia*, 18(2), pp. 123-160, 2016.
- [40] Aguiar, R., Reforzamiento de una estructura industrial con dos tipos de disipadores de energía. *Gaceta Técnica*, 16(1), pp. 61-81, 2016 DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.34727.96161>
- [41] Tapia, R., Carvajal, J. y Zamora, D., Solución de una viga en voladizo con elementos finitos-método estático y dinámico utilizando CEINCI-LAB, *Ciencia*, 18(2), pp. 219-245, 2016.
- [42] Aguiar, R., Caiza, P. y Rodríguez, M., Aplicaciones del cálculo de mallas espaciales en dos estructuras del Centro de Investigaciones Científicas de la UFA-ESPE, con CEINCI-LAB, *Ciencia*, 18(1), pp. 1-19, 2016.
- [43] Mora, D. y Aguiar, R. Modelación de diagrama momento-curvatura y momento-rotación en secciones de acero estructural, *Ciencia*, 17(1), pp. 99-124, 2015.
- [44] Mora-Martínez, E.D., Comportamiento de estructuras de acero con y sin disipadores de energía tipo TADAS, ubicadas en la ciudad de Quito, por el Método del Espectro de Capacidad, Tesis Máster en Ingeniería, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2015, 350 P.
- [45] Aguiar, R., Cagua, B., Pilatasig, J. y Zambrano, E., Interfase ICEINCI-LAB y nuevas funciones, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(2), pp. 167-199, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v24i2.1283>
- [46] Herrera, M., Parra, K., Palacios, P., Palacios, P., Olmedo, J., Cagua, B. y Palma, D., Análisis sísmico espacial de estructuras reforzadas con diagonales de acero utilizando CEINCI-LAB, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(4), pp. 343-363, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v24i4.1572>
- [47] Aguiar, R., Cagua, B., Romero, J. y Pilatasig, J., Dos modelos numéricos de análisis sísmico de estructuras con disipadores TADAS. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(4), pp. 405-426, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v24i4.1575>
- [48] Aguiar, R., Cagua, B. y Pilatasig, J., Nuevas funciones del sistema CEINCI-LAB para análisis sísmico espacial, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 24(3), pp. 259-276, 2019. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v24i3.1335>
- [49] Aguiar, R., Cagua, B. y Pilatasig, J., Cálculo de las propiedades dinámicas de una estructura con CEINCI-LAB y aplicación al reforzamiento de parqueadero de ULEAM, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(2), pp. 364-425, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v26i2.2053>.
- [50] Cagua, B., Pilatasig, J. y Aguiar, R., Nuevas funciones del sistema CEINCI-LAB para análisis sísmico espacial de estructuras irregulares, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25(1), pp. 61-95, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v25i1.1619>
- [51] Cagua, B., Aguiar, R., Pilatasig, J. y Mora, D., Acoplamiento de OpenSees con CEINCI-LAB para análisis estático no lineal. Primera parte: reforzamiento sísmico con diagonales de acero, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25(3), pp. 367-420, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v25i3.1691>
- [52] Aguiar, R., Cagua, B. y Pilatasig, J., Pushover con acoplamiento de CEINCI-LAB y OpenSees, 1ª ed., *Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE)*, 2020.
- [53] Cagua, B., Aguiar, R. y Pilatasig, J., Nuevas funciones de CEINCI-LAB para el análisis y diseño de pórticos de acero acorde a la NEC-15, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(1), pp. 1-60, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v26i1.1958>
- [54] Cagua, B., Aguiar, R. y Pilatasig, J., Nuevas funciones de CEINCI-LAB para el análisis y diseño de pórticos de acero con arriostamientos concéntricos, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(2), pp. 199-284, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v26i2.2044>
- [55] Cagua, B., Aguiar, R., Pilatasig, J. y Bonilla, A., Nuevas funciones de CEINCI-LAB para el análisis y diseño de pórticos de acero con arriostamientos excéntricos, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(3), pp. 523-585, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v26i3.2344>
- [56] Aguiar, R., Bonilla, A. y Romero, J., Diagramas de flexión, corte y carga axial en pórticos con cartelas de hormigón. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25(4), pp. 603-638, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v25i4.1865>
- [57] Aguiar, R. y Bonilla, A., Acciones de empotramiento perfecto en vigas con cartelas lineales y nuevas funciones de CEINCI-LAB. *Revista Internacional de Ingeniería De Estructuras*, 25(3), pp. 235-260, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v25i3.1686>
- [58] Aguiar, R. y Bonilla, A., Estructuras con cartelas lineales de hormigón armado y nuevas funciones de CEINCI-LAB. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 25(1), pp. 1-37, 2020. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v25i1.1617>
- [59] Sitio oficial de ResearchGate. [Consultado en marzo de 2022]. Available at: <https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Aguiar/publications>.
- [60] Sitio oficial de CEINCI LAB. [Consultado en marzo de 2022]. Available at: https://ceincilab.wordpress.com/v_encuentro-de-estructuras_raf/.
- [61] Aguiar, R. y Cagua, B., Conferencias dictadas en el programa: el conocimiento no se detiene Dr. Roberto Aguiar. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 26(4), pp. 586-666, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v26i4.2633>
- [62] Sitio oficial de CEINCI LAB. [Consultado en marzo de 2022]. Available at: <https://ceincilab.wordpress.com/>.
- [63] Canal de YouTube oficial de CEINCI LAB. [Consultado en Marzo de 2022]. Available at: <https://www.youtube.com/channel/UCS11QCQbmxBdfpcoLIDs57w>.
- [64] Página de Facebook oficial de CEINCI LAB. [Consultado en Marzo de 2022]. Available at: <https://www.facebook.com/Ceinci-Lab-104697591272034>.
- [65] Aguiar, R., *Microzonificación sísmica de Quito*, Centro de Investigaciones Científicas, 1ª ed., Quito, Ecuador, 2013.
- [66] Aguiar, R., *Espectros de control para la ciudad de Quito*, 1ª ed., Centro Internacional de Métodos Numéricos. Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña, España, 2015.
- [67] Aguiar, R. y Rivas, A., *Microzonificación sísmica de Ambato*. 1ª ed, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, Quito, Ecuador, 2018.
- [68] Aguiar, R. and Serrano, P., Seismic hazard assessment of the urban area of Ambato, Ecuador, in deterministic form, *Boletín Geológico*, 48(2), pp. 131-145, 2021. DOI: <https://doi.org/10.32685/0120-1425/bol.geol.48.2.2021.594>
- [69] Aguiar, R., Rivas, A. e Iza, E., Determinación de espectros y sismos para el diseño de Hospital de Quindí con aisladores sísmicos, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 23(1), pp. 73-100, 2018. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v23i1.706>
- [70] Falconi, R.A. y Báez, A.G.H., Zonificación sísmica en países bolivarianos. *Boletín Técnico IMME*, 38(3), pp. 27-41. 2000.
- [71] Aguiar, R., Análisis sísmicos de hospital de Quindí con dos tipos de aisladores, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 23(2), pp. 129-156, 2018. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v23i2.966>
- [72] Aguiar, R., Andrade, V., Guaygua, B. y Piedra, P., Aplicación del Método Espectral en los Bloques 6 y 7 con aisladores sísmicos de la UFA-ESPE en Ecuador, *Ciencia*, 18(1), pp. 67-92, 2016.
- [73] Aguiar, R., Zevallos, M., Menéndez, E., Palacios, J., García, L., Miele, Y. y Villacreces, C., Reforzamiento de grada de acceso a Facultad de Administración y Economía de Universidad Técnica de Manabí, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 21(3), pp. 283-299, 2016. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.16285.72168>
- [74] Aguiar, R., García, L., Zevallos, M., Palacios, J. y Menéndez, E., Reforzamiento sísmico de edificio Banco Central de Manta. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 22(4), pp. 479-501, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v22i4.655>
- [75] Aguiar, R. y Rosero, L.F., Reforzamiento de las columnas del auditorio del Liceo Municipal Fernández Madrid, Quito, Ecuador, 2017.
- [76] Aguiar, R., García, L., Menéndez, E., Zevallos, M. y Palacios, J., Análisis y reforzamiento de una estructura afectada por el terremoto del 16 de abril de 2016, *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT*, 1(1), pp. 1-16, 2016. DOI: <https://doi.org/10.33936/riemat.v1i1.197>
- [77] Aguiar, R., Muñoz, D. y Serrano, S., Reforzamiento del bloque estructural del parqueadero de la ULEAM afectada por el terremoto

del 16 de abril de 2016, Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras, 21(3), pp. 301-317, 2016. DOI: <https://doi.org/10.24133/riie.v21i3.603>

- [78] Pilatasig, J., Aguiar, R., Cagua, B., Andachi, O. y Cerón, P., Análisis del reforzamiento de una estructura de acero con diagonales concéntricas. caso del UVC de manta, Revista Ingeniería de Construcción, 36(3), pp. 294-310, 2021.
- [79] Pérez-Flores J.D., Diseño del reforzamiento de las estructuras antiguas pertenecientes al bloque de aulas del Colegio Sebastián de Benalcázar, Tesis Pregrado, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador, 2013, 280 P.

R.R. Aguiar-Falconí, es Ingeniero Civil en 1978 de la Escuela Politécnica Nacional, MSc. en Ciencias en Ingeniería Sísmica, de la Universidad Central de Venezuela en 1982, Dr. en Ingeniería, en 1987 de la Universidad Politécnica de Cataluña, España. Es profesor principal de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y Consultor Estructural.
ORCID: 0000-0002-2771-1721

B.J. Cagua-Gómez, es Ingeniero Civil en 2017 de la Escuela Politécnica Nacional, MSc. en Dirección de Operaciones y Seguridad Industrial de la Universidad de las Américas en 2020, egresado de la Maestría en Ciencias de la Ingeniería Civil con mención en Estructuras en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, estudiante de doctorado en Ciencias de la Ingeniería en la Universidad de los Andes en Chile.
ORCID: 0000-0003-2530-8549