

Propuesta del laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander

Ingrid Vanessa Matiz Mora y David Felipe Naranjo Aldana

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero(a) Civil

Director

Álvaro Viviescas Jaimes

Ingeniero civil- Ph. D.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingeniería Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Pregrado en Ingeniería Civil

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

A nuestras familias, cuyo amor, apoyo, paciencia, aliento y sacrificio han sido fundamentales durante el trayecto y culminación de nuestro grado.

Agradecimientos

Agradecemos en especial a nuestro director de proyecto de grado, Álvaro Viviescas Jaimes, por su acompañamiento, apoyo y paciencia. A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos las herramientas necesarias para nuestra formación profesional, además de brindarnos valiosos espacios y experiencias que acompañaron nuestro crecimiento personal a lo largo de estos años. A todos los docentes y compañeros que, a lo largo de este proceso nos motivaron y dejaron huella para los profesionales y personas en lo que nos convertimos.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	14
2. Objetivos	16
2.1 Objetivo General	16
2.2 Objetivos Específicos.....	16
3. Marco teórico	17
3.1 Tipos de ensayos	18
3.1.1 Tipos de ensayos según la utilidad de la pieza	18
3.1.1.1 Ensayos destructivos.....	18
3.1.1.1.1 Ensayo de tracción	19
3.1.1.1.2 Ensayo de compresión	19
3.1.1.1.3 Ensayo de flexión.....	20
3.1.1.1.4 Ensayo de cizalladura	20
3.1.1.1.5 Ensayo de fatiga.....	20
3.1.1.1.6 Ensayo de impacto	21
3.1.1.1.7 Ensayos de vibración	21
3.1.1.2 Ensayos no destructivos (END).....	21
3.1.1.2.1 Ensayo de dureza	21
3.1.1.2.2 Ensayo de inspección visual	22
3.1.1.2.3 Ensayo de líquidos penetrantes.....	22
3.1.2 Según la velocidad de aplicación de la carga.....	23

3.1.2.1 Ensayos cuasi estáticos	23
3.1.2.2 Ensayos dinámicos.....	23
3.1.3 Ensayos sísmicos en estructuras	23
3.1.3.1 Ensayos cuasi estáticos	23
3.1.3.2 Ensayos en mesa vibrante	24
3.2 Antecedentes de laboratorios estructurales.....	24
3.2.1 Laboratorios estructurales a nivel internacional	25
3.2.1.2 Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX)	25
3.2.1.3 Laboratorio europeo de evaluación estructural (ELSA)	28
3.2.1.4 Fundación EUCENTRE.....	31
3.2.1.4.1 SHAKELAB	31
3.2.1.4.2 6DLAB.....	31
3.2.1.5 Universidad de Chile.....	32
3.2.1.6 Universidad austral de chile.....	33
3.2.1.7 Universidad Técnica Federico Santa María.....	34
3.2.1.8 Universidad Nacional Autónoma de México.....	34
3.2.1.9 Universidad Politécnica de Madrid.....	37
3.2.1.10 Universidad Politécnica de Valencia	38
3.2.1.11 Universidad Politécnica de Cataluña	39
3.2.1.12 Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres	41
3.2.1.13 Centro de Investigación de Ingeniería de Terremotos de Hyogo, Japón	43
3.2.2 Laboratorios de estructuras a nivel nacional.....	45

3.2.2.1 Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.....	45
3.2.2.2 Universidad de los Andes	46
3.2.2.3 Pontificia Universidad Javeriana	46
3.2.2.4 Universidad EAFIT.....	47
3.2.2.5 Universidad del Valle	48
3.3 Equipos de laboratorio para ensayos estructurales	49
3.3.1 Mesas vibratorias	49
3.3.1.1 Principales componentes de una mesa sísmica.....	50
3.3.1.1.1 Masa de reacción.....	50
3.3.1.1.2 Plataforma rígida del simulador.....	50
3.3.1.1.3 Sistema de soporte	50
3.3.1.1.4 Sistema de rodamientos	51
3.3.1.1.5 Unidad de potencia	51
3.3.1.1.6 Servo-válvulas y actuadores	51
3.3.1.1.7 Servo-controlador	52
3.3.1.1.8 Instrumentación para medición.....	52
3.3.1.1.9 Sistemas de adquisición y procesamiento de datos.....	52
3.3.2 Sistemas de reacción	53
3.3.2.1 Muro de reacción	53
3.3.2.2 Losa de reacción	54
3.3.3 Marcos de carga.....	54
3.3.4 Puentes grúa.....	54

Propuesta del laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial

de Santander

7

3.3.5 Maquina universal de ensayos	55
3.3.6 Actuadores	55
3.3.7 Sistema de adquisición de datos	56
3.3.8 Sensores y transductores	56
3.3.8.1 Acelerómetro.....	56
3.3.8.2 Deformímetros	57
4. Revisión de la reforma de la escuela de ingeniería civil.....	57
5. Estado Actual de Laboratorio Estructural de la UIS.....	58
5.1 Actuadores	58
5.2 Sistema de enfriamiento.....	59
5.3 Sistema de muro-losa de reacción.....	59
5.3.1 Muro de reacción	59
5.3.2 Losa de reacción	60
5.4 Marcos para pruebas de carga estática.....	61
5.5 Puente grúa.....	61
5.6 Máquinas Universales de ensayos	62
6. proyección del laboratorio estructural	63
7. Revisión y adquisición de equipos.....	64
8. Mejora de infraestructura	65
9. Propuestas complementarias	66
10. Cotizaciones	67
11. Conclusiones	71

12. Recomendaciones 72

Referencias Bibliográficas 74

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Equipamiento CEDEX</i>	27
Tabla 2 <i>Equipamiento ELSA</i>	30
Tabla 3 <i>Equipamiento fundación EUCENTRE</i>	32
Tabla 4 <i>Equipamiento Universidad de Chile</i>	32
Tabla 5 <i>Equipamiento Universidad Austral de Chile</i>	33
Tabla 6 <i>Equipamiento Universidad Técnica Federico Santa Maria</i>	34
Tabla 7 <i>Equipamiento Universidad Autónoma de México</i>	35
Tabla 8 <i>Equipamiento Universidad Politécnica de Madrid</i>	37
Tabla 9 <i>Equipamiento Universidad Politécnica de Valencia</i>	38
Tabla 10 <i>Equipamiento Universidad Politécnica de Cataluña</i>	40
Tabla 11 <i>Equipamiento Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres</i>	42
Tabla 12 <i>Características mesa vibratoria E-Defense</i>	44
Tabla 13 <i>Comparación mesas vibratorias de Japón</i>	44
Tabla 14 <i>Plan de adquisición de equipos</i>	64
Tabla 15 <i>Cotizaciones</i>	68
Tabla 16 <i>Presupuesto de inversión desglosado</i>	70

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Simulador sísmico de 6 grados de libertad CEDEX</i>	26
Figura 2 <i>Muro de reacción laboratorio ELSA</i>	29
Figura 3 <i>Muro de reacción UNAM</i>	37
Figura 4 <i>Mesa vibratoria E-Defense 6GDL</i>	43
Figura 5 <i>Muro de reacción Alejandro Sandino Pardo</i>	46
Figura 6 <i>Mesa sísmica uniaxial y muro de reacción en dos direcciones</i>	47
Figura 7 <i>Laboratorio estructural EAFIT</i>	48
Figura 8 <i>Muro de reacción de la Universidad Industrial de Santander</i>	53
Figura 9 <i>Actuadores de la UIS</i>	59
Figura 10 <i>Muro de reacción de la UIS</i>	60
Figura 11 <i>Marcos para pruebas de la UIS</i>	61
Figura 12 <i>Máquina Universal de Ensayos de la UIS</i>	62
Figura 13 <i>Estado de deterioro del portón exterior</i>	65

Lista de Apéndices

“Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS”

Apéndice A. *Cotización adecuaciones eléctricas 202 ABP*

Apéndice B. *Entrevista a docentes del área de estructuras*

Apéndice C. *Mantenimiento correctivo*

Apéndice D. *Mantenimiento sistema de ensayos*

Apéndice E. *Sistema de anclaje*

Apéndice F. *Sistema de refrigeración*

Apéndice G. *MTS Actuador_1000 kN_DAO*

Apéndice H. *Cotización galgas extensiométricas*

Apéndice I. *Cotización LVDT*

Apéndice J. *Cotización deformímetro*

Apéndice K. *Cotización Portón*

Apéndice L. *Cotización contenedor*

Apéndice M. *Mesón de trabajo*

Apéndice N. *Modelado REVIT*

Apéndice O. *Catálogo*

Apéndice P. *Plano Laboratorio*

Resumen

Título: Propuesta del laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander*

Autor: Ingrid Vanessa Matiz Mora, David Felipe Naranjo Aldana**

Palabras Clave: laboratorio; estructuras; propuesta; ensayos; reforma; ingeniería civil; equipos; instrumentos; modelado; catálogo.

Descripción: Con el objetivo de realizar la propuesta del laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander acorde a las necesidades de docencia e investigación de los programas de la Escuela de Ingeniería Civil y a su proyecciones al año 2030, incluyendo la creación del doctorado, se realizó una investigación de los distintos tipos de ensayos estructurales, equipos existentes y laboratorios estructurales referentes nacionales e internacionales, esto con el fin de identificar el alcance de unas instalaciones óptimas, comparándolo con el laboratorio actual de la universidad y estableciendo un plan integral de mejora y rehabilitación según lo identificado. Esto se complementó con una entrevista desarrollada a usuarios frecuentes, que permitiera establecer un enfoque objetivo para este plan. Como resultado, se obtuvo un plan de adquisición de equipos con sus especificaciones y cotizaciones, identificación de algunas mejoras de infraestructura y recomendaciones de uso. Todo ello se consolidó en un catálogo acompañado de la ilustración mediante un modela

* Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Director: Álvaro Viviecas Jaimes, Doctor Ingeniero Civil.

Abstract

Title: Proposal from the structure's laboratory of Universidad Industrial de Santander*

Author(s): Ingrid Vanessa Matiz Mora, David Felipe Naranjo Aldana**

Key Words: laboratory; structures; proposal; essays; reform; civil Engineering; equipment; instruments; modeling; Catalogue.

Description: In order to develop a proposal for the structural laboratory of the Universidad Industrial de Santander in accordance with the teaching and research needs of the Civil Engineering School programs and their projections for the year 2030, including the creation of a doctoral program, an investigation was conducted into the various types of structural tests, existing equipment, and national and international reference structural laboratories. This was done to identify the scope of optimal facilities, comparing it with the university's current laboratory and establishing a comprehensive plan for improvement and rehabilitation based on the findings. This was complemented by interviews with frequent users, aimed at establishing an objective approach for this plan. As a result, a plan for equipment acquisition with specifications and quotations was obtained, along with the identification of some infrastructure improvements and usage recommendations. All of this was consolidated into a catalog accompanied by illustrations through 3D modeling.

* Research work

**Faculty of Physical-Mechanical Engineerings, School of Civil Engineering. Director: Álvaro Viviescas Jaimes, PhD Civil Engineer.

Introducción

Actualmente la Escuela de Ingeniería Civil se encuentra adelantando el proceso de reforma curricular del pregrado en ingeniería civil, la maestría en ingeniería civil y la elaboración del proyecto educativo del programa para la creación del doctorado en ingeniería civil. A partir de esto, es indispensable reflexionar sobre las necesidades de infraestructura física de laboratorios que serán necesarias para atender las demandas a nivel de docencia e investigación generada por la actualización de los programas de pregrado y maestría y la creación del doctorado en ingeniería civil.

En el marco de la ingeniería civil, tanto en el proceso de formación como en el ejercicio de la profesión, el laboratorio es una herramienta indispensable que permite el correcto análisis de los proyectos, brindando un panorama en el que se visualiza el comportamiento aproximado de los materiales y estructuras, lo cual permite identificar riesgos, comprobar calidad y con base en esto, tomar decisiones (Guerrero Ugalde, 2009). El laboratorio es fundamental ya que confiere validez a lo que está escrito, otorga pruebas y consolida el conocimiento (Lopez, 2015).

En el ámbito académico, el trabajo experimental aporta fundamentación teórica y desarrolla ciertas destrezas que solo la experiencia podría brindar además de desarrollar habilidades de comunicación que fortalecen el trabajo escrito y la divulgación oral (Lopez, 2015). Mientras que, en el ámbito profesional, los laboratorios son imprescindibles ya que permiten controlar el riesgo y las consecuencias físicas, económicas, sociales y ambientales al disminuir la vulnerabilidad de las construcciones (Salgado-Gálvez et al., 2010), pues el comportamiento que presentan las edificaciones ante la actividad sísmica es una de las variables responsables de evitar

catástrofes como las pérdidas económicas millonarias y el gran número de víctimas mortales (Díaz, 2003)

En el contexto colombiano, el departamento de Santander es una zona de especial interés sísmico, pues el 50.26% de los sismos del último año tuvieron su epicentro en el departamento de acuerdo con el Servicio Geológico Colombiano (SGC) (*Riesgo Sísmico - IDIGER, 2023.*) Debido a la alta tasa de producción de sismos, Bucaramanga se posiciona como una de las zonas de mayor riesgo sísmico a nivel mundial, denominándosele “nido de Bucaramanga” (Salcedo, 1999) . El grado de peligro de esta zona es latente debido a los continuos microsismos que se presentan, pues podrían desestabilizar alguna de las fallas de la región, originando eventos de grandes magnitudes (Gómez-P, 1980). El hecho de que esta región es uno de los principales centros urbanos con una alta tasa de crecimiento poblacional, turístico, infraestructural e industrial del país hace que el riesgo sea aún mayor; en el área se registra un sismo de magnitud 4.7 mensual cerca de la ciudad de Bucaramanga, aproximadamente (Sepúlveda-Jaimes et al., 2018).

En estas necesidades se basa la importancia de un buen laboratorio capaz de brindar calidad formativa y experimental, ofreciendo una experiencia completa de aprendizaje en el marco de la actual reforma curricular del pregrado y maestría en ingeniería civil y la elaboración del proyecto educativo del programa para la creación del doctorado en ingeniería civil.

Este proyecto busca proponer las innovaciones y modificaciones necesarias en el laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander para posicionarlo competentemente en el área de investigación sísmica del país y la región, considerando esta

institución como referente del oriente colombiano, buscando unas instalaciones capacitadas para el avance en investigación y formación académica para los integrantes de los distintos programas académicos de la institución y los objetivos investigativos considerados en la visión de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Proponer un laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander que satisfaga las necesidades de docencia e investigación de los programas académicos de la Escuela de Ingeniería Civil (pregrado en ingeniería civil, maestría en ingeniería civil y doctorado en ingeniería civil) con proyección año 2030.

2.2 Objetivos Específicos

Identificar las necesidades de infraestructura del laboratorio de estructuras para atender la demanda de docencia e investigación de la Escuela de Ingeniería Civil a partir del Proyecto Educativo del Programa (PEP), la maestría y el doctorado en ingeniería civil.

Realizar una revisión de literatura para identificar la oferta de equipos de laboratorio para docencia e investigación en el área de estructuras.

Seleccionar los equipos de acuerdo con las necesidades identificadas, valorando las distintas alternativas.

Diseñar los espacios físicos requeridos para los equipos seleccionados.

Elaborar el presupuesto para el nuevo laboratorio de estructuras.

3. Marco teórico

El comportamiento de una estructura está determinado por numerosas variables, en las que se encuentran fundamentalmente los materiales utilizados y la forma de estos mismos (Akiyama, 2002), de modo que es importante evaluar la combinación de estos parámetros sometidos a las distintas cargas, tanto ambientales como de servicio, para que en el momento de su construcción y uso, con base en esta evaluación, se puedan mitigar las consecuencias de diversos impactos y prevenir daños económicos, sociales, ambientales e incluso a la salud en las comunidades. De la misma forma se debe asegurar que las estructuras puedan soportar grandes terremotos con las menores consecuencias negativas posibles, priorizando la seguridad de los individuos y buscando daños superficiales fáciles de reparar.

Estructuras sismorresistentes

El análisis de estructuras ante la acción sísmica requiere que la sollicitación se defina adecuadamente para así obtener resultados confiables (Orosco & Alfaro, 2007), comúnmente se especifica esta carga dinámica mediante el uso de espectros de respuesta. La idealización de esta

carga debe reflejar las características del movimiento en el lugar de cimentación de la obra, pues el comportamiento sísmico no solo se ve influenciado por la respuesta que presenta la superestructura como tal, sino también por la respuesta presente en la cimentación y el suelo circundante (Rodríguez, 2016).

3.1 Tipos de ensayos

Para poder evaluar los parámetros anteriormente descritos es necesario realizar unos ensayos específicos que se adapten a los modelos físicos planteados y los métodos normativos aplicados, para esto se han clasificado en distintos tipos, tales como:

3.1.1 Tipos de ensayos según la utilidad de la pieza

Una primera clasificación de los ensayos se basa en la utilidad del material después de haber sido probado.

3.1.1.1 Ensayos destructivos

Los ensayos destructivos pueden ser de tipo: químico, físico, eléctrico, metalúrgico o mecánico, donde se encuentran ensayos de dureza, tracción, compresión, resiliencia con el propósito de determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Debido a la naturaleza del ensayo las piezas ensayadas serán sometidas a cambios drásticos en su estructura y geometría que imposibilitarán su uso posterior. Es por esto por lo que se toman muestras significativas que representaran el comportamiento general de material (Núñez et al., 2013).

Algunas de las máquinas utilizadas para este tipo de ensayos incluyen las máquinas de ensayo universal (MEU), también se emplean máquinas de impacto que suelen aplicar las fuerzas repentinas mediante sistemas como martillos de caídas o balas de impacto, máquinas de fatiga y las máquinas de ensayo de tracción a alta velocidad, que suelen simular accidentes de vehículos o impactos explosivos.

3.1.1.1.1 Ensayo de tracción

Es un ensayo mecánico que permite evaluar el límite elástico, la resistencia a la tracción, el alargamiento de rotura, entre otras características aplicando un esfuerzo uniaxial a una probeta hasta que esta llegue a la falla del material. El ensayo tiene distintas variantes que permiten analizar el comportamiento mecánico a la tracción en distintos escenarios entre los cuales se tienen: Ensayo a una carga constante en reposo (estática), ensayo a una carga en aumento leve (cuasi estático), cargas alternas para determinar la curva cíclica tracción-deformación, ensayos a altas velocidades y con variaciones en la temperatura (Núñez et al., 2013).

3.1.1.1.2 Ensayo de compresión

En el proceso de esta prueba se aplica presión a la muestra mediante una placa de compresión o un dispositivo especializado montado en una máquina universal de prueba de materiales para determinar diversas propiedades del material. Los resultados de estos ensayos se presentan en forma de diagramas tensión-deformación, destacando aspectos como el límite elástico, la resistencia proporcional, el esfuerzo y la resistencia a la compresión (Núñez et al., 2013).

Estos ensayos pueden llevarse a cabo tanto en probetas mecanizadas del material como en componentes en su tamaño original o a escala.

3.1.1.1.3 Ensayo de flexión

Este ensayo es ampliamente utilizado para determinar las propiedades mecánicas de los materiales, este ensayo se realiza mediante un sistema de 3 o 4 puntos en el cual existen dos apoyos paralelos y una o dos puntas que ejercen un esfuerzo sobre la probeta generando una deformación en el sentido de la carga. Gracias a este ensayo se pueden determinar parámetros como la resistencia del material, los esfuerzos y deformaciones por flexión y el módulo de flexión (Núñez et al., 2013).

3.1.1.1.4 Ensayo de cizalladura

Este ensayo constituye un método indispensable para determinar el comportamiento de un elemento bajo esfuerzos cortantes. Este procedimiento consiste en la aplicación de fuerzas en direcciones opuestas a las secciones adyacentes de la probeta generando un plano de corte. Los resultados de este ensayo se presentan en un diagrama de carga versus desplazamiento relativo, resaltando parámetros significativos como la resistencia al corte y la deformación angular.

3.1.1.1.5 Ensayo de fatiga

Estos ensayos tienen como propósito la evaluación del comportamiento de un espécimen, ya sea un material o una estructura al someterse a cargas cíclicas repetitivas, de modo que se comprenda el posible comportamiento de estos bajo condiciones variables de carga a lo largo del tiempo; estos ensayos son especialmente relevantes en el ámbito de estudio de estructuras sujetas a condiciones dinámicas como los puentes, permiten prever y prevenir las fallas que pueden sufrir y ayudan a determinar la vida útil de las mismas. Los parámetros clave en este tipo de ensayos son la amplitud de la carga, la frecuencia de aplicación de esta y el número de ciclos antes de la falla (*Ensayo de fatiga*, s. f.).

3.1.1.1.6 Ensayo de impacto

Este tipo de ensayos se considera indispensable para garantizar que se cumplan los estándares de seguridad y resistencia en las estructuras, se utilizan para evaluar la respuesta del elemento ensayado ante cargas de impacto, estudiando variables como la absorción de energía, la resistencia al impacto y la deformación o fractura, es un ensayo relevante especialmente para aplicaciones como puentes y edificios, la aplicación del impacto en el objeto ensayado se realiza de forma controlada, de modo que se definen la ubicación del impacto y la dirección del mismo según los objetivos específicos del ensayo.

3.1.1.1.7 Ensayos de vibración

Este tipo de ensayos permiten evaluar la respuesta dinámica de las estructuras ante la acción de cargas vibratorias como las generadas por maquinaria, tráfico vehicular o los sismos, permiten determinar factores como las frecuencias naturales, la amplitud y la capacidad propia de la estructura para disipar o resistir las vibraciones; los parámetros claves para este tipo de ensayos son la frecuencia natural de la estructura, la amplitud de la vibración y el factor de amortiguamiento. Este tipo de ensayos son cruciales en estructuras donde la respuesta dinámica es crítica, tales como puentes y edificios (Carrillo et al., 2016).

3.1.1.2 Ensayos no destructivos (END)

En estos ensayos es posible realizar la inspección del material ensayado sin perjudicar el uso del producto, en este conjunto de ensayos se pueden encontrar los siguientes tipos (Cáceres & Gálvez, 2018).

3.1.1.2.1 Ensayo de dureza

Se usa principalmente en metales y el ensayo consiste en la aplicación de una bola de metal duro con un cono de diamante que se presiona verticalmente sobre una superficie de ensayo. Después de retirada la carga se mide la diagonal y el diámetro de penetración calculando de este modo la dureza. Este ensayo tiene como objetivo determinar propiedades mecánicas como resistencia, rigidez, densidad del elemento y resistencia al desgaste (Núñez et al., 2013).

3.1.1.2.2 Ensayo de inspección visual

Se destaca por su capacidad para detectar discontinuidades visibles en la superficie de los objetos. Su aplicación es amplia, abarcando la identificación de materiales según especificaciones y composición química, así como la detección de imperfecciones generadas durante procesos productivos. No solo es crucial por sí mismo, sino también como ensayo preliminar antes de otros métodos, reduciendo la necesidad de ensayos no destructivos posteriores. La eficacia de este ensayo depende tanto de la habilidad técnica en la observación visual como de la interpretación adecuada de los resultados.

3.1.1.2.3 Ensayo de líquidos penetrantes

El ensayo de líquidos penetrantes consiste en detectar discontinuidades que puedan afectar la funcionalidad del elemento tales como grietas, fracturas y zonas porosas. El ensayo se realiza mediante la aplicación de un líquido penetrante sobre la superficie, dando un tiempo de espera de 5 a 30 minutos. Posterior a esto se elimina el exceso del líquido y se aplica un revelador que traerá la sustancia a la superficie indicando las posibles discontinuidades dentro del elemento.

3.1.2 Según la velocidad de aplicación de la carga

3.1.2.1 Ensayos cuasi estáticos

En este tipo de ensayos la velocidad a la que se aplican las fuerzas sobre el material no influye en los resultados obtenidos.

3.1.2.2 Ensayos dinámicos

En este tipo de ensayos la velocidad de aplicación de la fuerza es un factor determinante.

3.1.3 Ensayos sísmicos en estructuras

Se tienen tres metodologías para el ensayo sísmico de estructuras en laboratorio, las cuales son: ensayos cuasi estáticos, ensayos en mesa vibrante y ensayos pseudodinámicos como los realizados mediante actuadores anclados en sistemas de reacción.

3.1.3.1 Ensayos cuasi estáticos

Son aquellos en que el espécimen de estudio es sometido a fuerzas predefinidas, a una velocidad usualmente más lenta a la que se esperaría realmente en un evento sísmico; en materiales convencionales de la construcción como el hormigón, el acero o la mampostería, la baja velocidad de aplicación de las cargas no influye considerablemente en los resultados, y en su lugar, permite que se obtenga un mejor control en las mediciones.

Este tipo de ensayos se pueden usar tanto en elementos pequeños como en grandes estructuras, y su principal objetivo es el caracterizar el comportamiento del espécimen a distintas cargas, de modo que se permita determinar su capacidad. Sin embargo, no sirven para determinar la respuesta sísmica ante un terremoto.

Un ejemplo de este tipo de ensayo son los ensayos en muro de corte y ensayo en muro de flexión.

3.1.3.2 Ensayos en mesa vibrante

Este tipo de ensayo es el mejor método para reproducir los efectos dinámicos que producen los sismos, donde el espécimen puede ser sometido a registros reales de aceleración sísmica. El movimiento de la mesa vibrante puede variar según el tipo de mesa empleado, puede ser uniaxial o con hasta tres grados de desplazamiento, e incluso combinados con hasta tres grados de rotación (Carrillo et al., 2016).

Este tipo de ensayo es la técnica más realista para el ensayo sísmico de estructuras, debido a que la excitación se introduce como movimiento en la base a una velocidad real, y la estructura se ve realmente deformada por las fuerzas de inercia que se distribuyen en la masa de la estructura (Bono et al., 1999).

A pesar de que las mesas vibrantes son un instrumento valioso en diversos contextos estructurales también conllevan ciertas desventajas y restricciones, incluyendo su elevado costo de adquisición y mantenimiento, así como la complejidad asociada al control y calibración necesarios para obtener resultados fiables y repetibles en los ensayos, además de otras inherentes a su funcionamiento como las limitaciones en cuanto a la frecuencia y amplitud que estas pueden proporcionar y las limitaciones de las muestras para ensayar en cuanto a su forma, tamaño y peso. La elección de adquirir una mesa vibratoria dependerá de los objetivos de la institución, pues a pesar de sus desventajas, siguen siendo una herramienta imprescindible para el estudio de la respuesta sísmica de sistemas estructurales (Shing & Mahin, 1984).

3.2 Antecedentes de laboratorios estructurales

Para obtener una comprensión de las instalaciones y equipos disponibles en un laboratorio estructural de calidad, se realiza una investigación de los antecedentes en el área, documentando

laboratorios a nivel nacional e internacional; partiendo de la idea de evaluar laboratorios pares o referentes se realiza la consulta de distintas instituciones con las que la Universidad tiene convenios en el programa de Ingeniería Civil, de igual manera una consulta general de la documentación pública encontrada en las páginas web.

A continuación, se presentan algunos de los laboratorios estudiados.

3.2.1 Laboratorios estructurales a nivel internacional

3.2.1.2 Centro de estudios y experimentación de obras públicas (CEDEX)

El CEDEX cuenta con el Laboratorio Central de Estructuras y Materiales (LCEYM), uno de los más antiguos de Europa. Este laboratorio destaca por poseer un simulador sísmico de 6 grados de libertad, presentado en la Figura 1. Una de las principales líneas de investigación se enfoca en el estudio de estructuras más resilientes y seguras, en la cual actualmente se están desarrollando distintos trabajos de investigación en los que se pretende realizar ensayos que simulen la acción del sismo sobre elementos estructurales tradicionales y modernos, utilizando materiales nuevos como barras pasivas de polímero reforzado por fibra. En sus líneas de actividad también se pueden encontrar la instrumentación y control en remoto de estructuras mediante nuevas tecnologías encaminadas a la interacción con nuevos estudios basados en gemelos digitales y tecnología BIM que permitan monitorizar las estructuras para una mayor seguridad de estas bajo eventos ambientales severos. Otra línea de estudio robusta en la que trabaja el laboratorio central es la patología y evaluación de estructuras.

Figura 1

Simulador sísmico de 6 grados de libertad CEDEX



Tomado de (*Ensayos estáticos y dinámicos de estructuras / Cedex, s. f.*)

Cuenta además con una nave de ensayos entre sus equipos robustos en el laboratorio de estructuras, conformado por una losa de carga con 144 puntos de sujeción, cada uno con una capacidad máxima de 50 t; un muro de reacción con 84 puntos de anclajes distribuidos de manera uniforme y un puente grúa con una capacidad de hasta 16 t para maniobrar los modelos de ensayo.

Para la inspección de puentes el CEDEX cuenta con un vehículo equipado con una plataforma extensible que facilita el acceso desde la carretera a los elementos ubicados debajo de la superficie de rodadura, como juntas, apoyos y cabezas de pilares sin requerir la suspensión de operarios o la instalación de andamios.

El centro de estudios cuenta, además, con un operador de drones que tiene como funcionalidad la recopilación de información mediante fotografías y sensores. Con ayuda de

sistemas satelitales o de forma autónoma, permite la creación de modelos tridimensionales que recrean las condiciones del entorno.

Se presentan en la Tabla 1 un resumen de los equipos del laboratorio con sus características.

Tabla 1

Equipamiento CEDEX

Laboratorio	Equipos
Simulador sísmico con seis grados de libertad https://www.cedex.es/centros-laboratorios/laboratorio-central-estructuras-materiales-lceym/equipamientos/simulador-sismico-seis-gradoss-libertad	Mesa sísmica 6 Dimensiones 3 x 3 m
Laboratorio de ensayos físico-mecánicos de productos de construcción https://www.cedex.es/centros-laboratorios/laboratorio-central-estructuras-materiales-lceym/equipamientos/laboratorio-ensayos-fisico-mecanicos-productos-construccion	Extensómetros de medida de deformación y alargamientos. Instrumentos ópticos y mecánicos de medida de masa, geometría y dimensiones. Instrumentos de impacto para medida de fragilidad.
Operador de drones	
Plataforma autoportante para inspección de puentes	

<https://www.cedex.es/centros-laboratorios/laboratorio-central-estructuras-materiales-lceym/equipamientos/plataforma-autoportante-inspeccion-puentes>

Nave de ensayos	Losa de carga	
	Dimensiones	Espesor: 90 cm Planta: 8 x 14 m
https://www.cedex.es/centros-laboratorios/laboratorio-central-estructuras-materiales-lceym/equipamientos/nave-ensayos-losa-carga	Muro de reacción	Espesor: 1.2 m
	Dimensiones	Altura: 3.2 m Longitud: 5.2 m
	Puente grúa	
	Capacidad	16 t
	Altura libre	5.5 m

3.2.1.3 Laboratorio europeo de evaluación estructural (ELSA)

El laboratorio Europeo de Evaluación Estructural (ELSA) de la EUROPEAN COMMISSION cuenta con el muro de reacción más grande de Europa, presentado en la Figura 2. Este muro cuenta con dos plataformas que permiten el ensayo de especímenes a ambos lados del muro.

En estas instalaciones se llevó a cabo el proyecto “SlabSTRESS” en el cual se estudió el comportamiento presentado por un edificio de losa maciza de dos niveles, con dimensiones en planta de 9 m por 14,5 m sometido a cargas gravitacionales y las acciones sísmicas laterales. El diseño de este edificio a escala permitió el ensayo de forma simultánea de las conexiones entre la placa y las columnas interiores, de borde y esquina. Otro proyecto reciente de este laboratorio fue el EQUFIRE (Evaluación del desempeño multirriesgo de componentes estructurales y no estructurales sometidos a terremotos e incendios después de un terremoto), en el cual se estudió el comportamiento de una estructura de acero de cuatro niveles ante la exposición al fuego después de un evento sísmico, utilizando el muro de reacción ELSA y el horno del Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales (BAM). Entre otros proyectos recientes se pueden encontrar el proyecto “RETRO”: Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un antiguo viaducto de concreto reforzado con pilas de marco y estudio de la efectividad de diferentes sistemas de aislamiento mediante ensayos pseudodinámicos en un modelo a gran escala, y el proyecto “DUAREM”; Validación experimental a gran escala de un marco doble arriostrado excéntricamente con eslabones extraíbles.

Figura 2

Muro de reacción laboratorio ELSA



Tomado de (*European Laboratory for Structural Assessment, s. f.*)

Cuenta además con la instalación HOPLAB, utilizada para el estudio de materiales y elementos estructurales sometidos a cargas dinámicas de gran velocidad, basado en las técnicas de Hopkinson Bar.

Se presentan en la Tabla 2 un resumen de los equipos del laboratorio con sus características.

Tabla 2

Equipamiento ELSA

Laboratorio	Equipo
Muro de reacción ELSA	Dimensiones
	Altura: 16 m
https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-and-facilities/european-laboratory-structural-assessment-reaction-wall-facility_en	Longitud: 21 m
	Muro: Momento flector:
	200 MN.m
	Capacidad
Losa: Momento flector:	
240 MN.m	
Fuerza axial: 500 kN	
Corte basal: 20 MN	

ELSA-HopLab	Barra Hopkinson Grande
https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-and-facilities/european-laboratory-structural-assessment-large-hopkinson-bar-facility-elsa-hoplab_en	Utilizada para materiales dúctiles, cuenta con una longitud de 200 m. Barra Hopkinson de tamaño mediano Utilizada para materiales frágiles blandos

3.2.1.4 Fundación EUCENTRE

En la Tabla 3 se muestran los equipos disponibles en los laboratorios de la Fundación EUCENTRE.

3.2.1.4.1 SHAKELAB

El laboratorio SHAKELAB hace parte de la fundación EUCENTRE que se encuentra en Pavía, Italia, una organización que se dedica a la investigación y la formación para la reducción del riesgo sísmico; este laboratorio cuenta con una mesa vibratoria uniaxial, un sistema de prueba de rodamiento biaxial que permite probar dispositivos de aislamientos y rodamientos a gran escala con 5 grados de libertad y un muro de reacción para probar estructuras a escala real en ensayos pseudo estáticos y pseudo dinámicos.

3.2.1.4.2 6DLAB

Este laboratorio cuenta con una mesa sísmica de 6 grados de libertad y un sistema de amortiguadores.

Tabla 3*Equipamiento fundación EUCENTRE*

Laboratorio	Equipo
SHAKELAB	Mesa vibratoria monoaxial
https://www.eucentre.it/shakelab-laboratory/?lang=en	Sistema de pruebas de rodamientos biaxial
	GDL 5
	Sistema 3D de muros de reacción
6DLAB	Mesa vibratoria multiaxial
https://www.eucentre.it/6dlab-laboratory/?lang=en	Sistema para ensayos de amortiguadores

3.2.1.5 Universidad de Chile

El Laboratorio Experimental de Estructuras (LEE) cuenta los equipos mostrados en la

Tabla 4*Equipamiento Universidad de Chile*

Laboratorio	Equipo
Laboratorio Experimental de Estructuras (LEE)	Máquina para ensayos de alambres y gomas de alto amortiguamiento
https://ingcivil.uchile.cl/laboratorios/estructuras	Marco de ensayo de aisladores sísmicos
	Red Nacional de Acelerógrafos del DIC

3.2.1.6 Universidad austral de Chile

CIVILAB es el laboratorio de estructuras de la Universidad Austral de Chile, especializado en el área de diseño, análisis y monitoreo de puentes. Sus equipos principales están destinados a la realización de ensayos no destructivos, contando con dispositivos de monitoreo como transductores, inclinómetros, acelerómetros, entre otros.

Entre los proyectos destacados llevados a cabo en estas instalaciones se pueden encontrar la asesoría en construcción del Puente Quinchilca, Diagnóstico Estructural del Puente Pedro de Valdivia, asesoría y diseño de algunos puentes arco como el Heron Bridge en Estados Unidos, el refuerzo del viaducto FFCC Wehrau en Alemania, también análisis y asesoría en diseño de puentes atirantados como el Tercer Puente de Temuco, el Puente Yelcho y el puente de Los Pelués en Chile, además de algunos proyectos de investigación como la Instrumentación de las rótulas de giro en el Puente Cau Cau y Ensayos de Paneles prefabricados de madera con núcleo de paja, entre otros (*CIVILAB Austral – División Puentes y Estructuras - Facultad de Ciencias de la Ingeniería - Universidad Austral de Chile, s. f.*).

Se presentan en la Tabla 5 un resumen de los equipos del laboratorio con sus características.

Tabla 5

Equipamiento Universidad Austral de Chile

Laboratorio	Equipo
CIVILAB puentes	Equipos para ensayos no destructivos
https://civilab.cl/servicios/puentes-y-estructuras.html	Dispositivos de monitoreo
	Marco de pruebas de hasta 50 t

3.2.1.7 Universidad Técnica Federico Santa María

El departamento de obras civiles de la Universidad cuenta con los equipos presentados en la Tabla 6, en los que se encuentra una mesa sísmica en la Casa Central destinada a la docencia y un muro de reacción capaz de ensayar elementos y sistemas estructurales de hasta dos pisos.

Tabla 6

Equipamiento Universidad Técnica Federico Santa María

Laboratorio	Equipo
Laboratorio del departamento de obras civiles	Mesa vibratoria
https://www.obrasciviles.usm.cl/infraestructura/	Muro de reacción

3.2.1.8 Universidad Nacional Autónoma de México

El Laboratorio de Estructuras y Materiales (LEM) de la Universidad Nacional Autónoma de México cuenta con tres secciones dedicadas a los materiales, pruebas de campo y estructuras respectivamente, en la sección de estructuras es posible realizar ensayos pseudoestáticos e híbridos a elementos o sistemas estructurales, cuenta con losa de ensayos de concreto reforzado de 6x11m, muro de reacción modular conformado por doce bloques de concreto reforzado con dimensiones de 1.5x1.5x1m, diversos marcos metálicos de carga, una grúa de 4.5 m de altura efectiva con una capacidad de carga de 15 t, 6 actuadores dinámicos de 50 a 100 t, más de una docena de gatos hidráulicos para pruebas estáticas con capacidad de 10 t a 500 t, una máquina universal de 200 t y un marco de carga dinámico de la marca MTS con capacidad de 25 t.

La UNAM cuenta además con el laboratorio de mesa vibratoria, que desde 1997 cuenta con una mesa MTS de cinco grados de libertad (Desplazamiento horizontal y vertical, tres giros), de 4x4 m, con una capacidad máxima de 20 t, esta mesa permite desplazamientos horizontales de hasta 150 mm, verticales hasta 75 mm, y cuenta con una grúa viajera de 10 t. En estas instalaciones se ha estudiado la respuesta de la mampostería confinada en modelos hasta de tres niveles, el control activo de la respuesta dinámica torsional de un edificio a escala provisto de amortiguadores magneto-reológicos, entre otros proyectos.

Se presentan en la Tabla 7 un resumen de los equipos del laboratorio con sus características.

Tabla 7

Equipamiento Universidad Autónoma de México

Laboratorio	Equipo	
Laboratorio de Estructuras y Materiales	Losa de ensayos	6 x 11 m
	Muro de reacción	1.5 x 1.5 x 1 m
	Marcos metálicos de carga	
	Grúa con capacidad 15 t, 4.5 m de altura	
	Actuadores	10 t
	dinámicos	50 t
		100 t
	Gatos hidráulicos	10 a 500 t

<p>https://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Capacidades-Experimentales/Estructuras-y-Materiales/Paginas/default.aspx</p>	<p>Marco de carga dinámico MTS 25 t</p> <p>Máquina universal 200 t</p> <p>Equipos para pruebas no destructivas Videoscopio, radar de penetración y Scanners Laser 3D</p> <p>Instrumentación permanente en tres estructuras para el estudio de sismos</p>
<p>Laboratorio de Mesa Vibradora</p> <p>https://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Capacidades-Experimentales/MesaVibradora/Paginas/default.aspx</p>	<p>Mesa sísmica</p> <p>5 (2 desplazamientos, 3 giros)</p> <p>GDL</p> <p>Dimensiones 4 x 4 m</p> <p>Modelos: 20 t</p> <p>Capacidad Frecuencias: 0.1-50 Hz</p> <p>Puente grúa</p> <p>Capacidad 10 t</p>

Figura 3*Muro de reacción UNAM*

Tomado por (Álvaro Viviecas, 2023)

3.2.1.9 Universidad Politécnica de Madrid

El laboratorio de materiales de construcción de la Universidad Politécnica de Madrid cuenta con una vasta experiencia dentro del campo de estructuras de madera y hormigón, los dispositivos de ensayo destacables se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8*Equipamiento Universidad Politécnica de Madrid*

Laboratorio	Equipo
	Máquina universal electromecánica
	Capacidad 300 kN
	Dimensiones 1 m
	Pórtico de carga
	Capacidad 300 kN

Dimensiones	5 m
Equipo de ultrasonido	
Equipo digital de desplazamiento y deformaciones	
Capacidad	Área de 100 x 80 m

3.2.1.10 Universidad Politécnica de Valencia

Las instalaciones del laboratorio de elementos estructurales de la Universidad Politécnica de Valencia constan con una losa de ensayo con anclajes de 500 kN con dimensiones de 32x15 m con un muro de reacción tridimensional de 14 m de altura, 20 actuadores de 10 hasta 5000 kN, un sistema centralizado de grupos hidráulicos de carga y equipos de adquisición de datos con varios sensores de deformación, desplazamiento y carga.

Se presentan en la Tabla 9 un resumen de los equipos del laboratorio con sus características.

Tabla 9

Equipamiento Universidad Politécnica de Valencia

Laboratorio	Equipo	
	Losa de ensayos	
Laboratorio de elementos estructurales	Dimensiones	32 x 15 m
	Capacidad	500 kN/m
	Muro de reacción tridimensional	

https://icitech.webs.upv.es/index.php/home/laboratorio-de-elementos-estructurales/	Dimensiones	14 m de altura
		20 actuadores
	Capacidad	10 a 500 kN
		Equipos de adquisición de datos

3.2.1.11 Universidad Politécnica de Cataluña

El Laboratorio de Tecnología de Estructuras y Materiales (LATEM) "Lluís Agulló" es un centro de investigación y consultoría en construcción con más de 25 años de experiencia. Es un referente nacional e internacional en innovación en estructuras y materiales. Ofrece servicios avanzados de caracterización de materiales, ensayos estructurales y promoción de la sostenibilidad en la construcción, incluyendo la reutilización de residuos. Entre sus equipos principales para la evaluación de estructuras cuenta con una losa resistente de 230 m² con una luz de ensayo de hasta 20 m, un muro de reacción biaxial construido con bloques FRC, dos puentes grúas con capacidad máxima de 100 kN, un bastidor de carga con actuador pseudodinámico con capacidad máxima de 1000 kN en compresión, 650 en tracción, y distintas máquinas de ensayos por compresión con capacidad de hasta 4500 kN y máquinas de ensayo dinámicas axiales de la marca INSTRON con actuadores de 500 kN y 1000 kN.

Algunos de los proyectos que se adelantan en estas instalaciones son los siguientes: "HORVITAL" que consiste en la contribución a la extensión de la vida útil de las estructuras de concreto existentes a través de una adecuada evaluación estructural y fortalecimiento con materiales avanzados, y "PROPONER" que se trata del diseño basado en el desempeño de estructuras de hormigón parcialmente pretensado (*Laboratory LATEM / ATEM UPC, s. f.*).

Se presentan en la Tabla 10 un resumen de los equipos del laboratorio con sus características.

Tabla 10

Equipamiento Universidad Politécnica de Cataluña

Laboratorio	Equipo	
Laboratorio de departamento de Ingeniería Civil y Ambiental	Losa de carga	
	Capacidad	230 m ²
	Luz de ensayo máxima	20 m
	Muro de reacción biaxial	
	Grúa móvil	100 kN
	Marco de carga	
	Actuador pseudodinámico	
	Capacidad	Compresión: 1000 kN Tracción: 650 kN
	Máquina de ensayo dinámica axial	
	https://deca.upc.edu/es/laboratorios/latem/equipo	500 kN
	Actuador	1000 kN
	Máquina de ensayo por compresión	
Capacidad	3000 kN 200 kN 10 kN	

Máquina de ensayo por compresión

Actuador 4500 kN

3.2.1.12 Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres

El laboratorio estructural del CISMID cuenta en su equipamiento maquinas como extensómetros, transductores de desplazamientos, celdas de carga e instrumentos para la medición de distorsión dinámica y estática, un sistema de muro-losa de reacción, marcos de carga, actuadores, gatos hidráulicos, tableros de mando “servopulser”, celdas de carga, entre otros para ensayos estáticos y pseudodinámicos; y para ensayos dinámicos cuenta con equipos como una mesa vibratoria con tablero de control, acelerómetros, osciloscopio y oscilógrafo, y excitadores generadores de vibraciones. Algunos proyectos relevantes adelantados en estas instalaciones son “Evaluación experimental del módulo de vivienda de un piso del Hogar de Cristo”, “Evaluación estructural del edificio TRECCA”, “Módulos de vivienda con paneles Cismid-Sencico, bloques de concreto y panales de Cañacreto”, “Estudio Experimental de Sistema Constructivo SIDERCASA, para SIDERPERU S.A”, entre otros (*Laboratorio de Estructuras - CISMID*, s. f.).

Se presentan en la Tabla 11 un resumen de los equipos del laboratorio, así como algunas de sus características.

Tabla 11*Equipamiento Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres*

Laboratorio	Equipo
Laboratorio de estructuras	Extensómetros
	Transductores de desplazamientos
	Aparato de medición de la distorsión dinámica para desplazamiento
	Celdas de carga
	20 t
	Capacidad
	50 t
	100 t
	Sistema de adquisición de datos analógicos
	Muro de reacción
	Losa de reacción
	Marcos de carga
	Actuadores
	50 t
Gatas hidráulicas	
20 t	
Capacidad	
50 t	
100 t	
Mesa vibradora con tablero de control	

<http://www.cismid.uni.edu.pe/laboratorio-de-estructuras/>

Acelerómetros

Osciloscopio y oscilógrafo

Excitadores generadores de vibraciones

3.2.1.13 Centro de Investigación de Ingeniería de Terremotos de Hyogo, Japón

El instituto INDE, Instituto Nacional de Investigación para Ciencias de la tierra y Resiliencia ante Desastres, cuenta en sus instalaciones con la mesa sísmica tridimensional más grande del mundo llamada : E-Defense, presentada en la Figura 4; diseñada para simular un terremoto comparable con el ocurrido el 17 de enero de 1995 en la prefectura del sur de Hyogo de una magnitud de 7.3 y una intensidad de 7 en la escala japonesa, siendo la más alta registrada en la historia (*25 años del Gran Terremoto de Hanshin-Awaji*, 2020) en edificios a escala real, con una capacidad máxima de 12 t, impulsada por cinco actuadores horizontales y 14 verticales, con una fuerza máxima de 4.5 t en conjunto.

Figura 4

Mesa vibratoria E-Defense 6GDL



Tomado de (*Instituto de Investigación Científica para la Prevención de Desastres / E-Defense (Introducción de cada instalación), s. f.*)

La Tabla 12 detalla las diversas características de la E-Defense.

Tabla 12

Características mesa vibratoria E-Defense

Tamaño de la mesa vibratoria	20 x 15 m	
Dirección de vibración	X, Y-horizontales	Z-vertical
Aceleración máxima	900 cm/s ²	1500cm/s ²
Velocidad máxima	200 cm/s	70 cm/s
Desplazamiento máximo	100 cm	50 cm

Se realiza una comparación de algunas de las mesas sísmicas de Japón en la Tabla 13.

Tabla 13

Comparación mesas vibratorias de Japón

Instituto de investigación	Masa máxima [t]	Área [m ²]	Vibración	Aceleración [Gal]	Velocidad [cm/s]	Desplazamiento [cm]
E-Defense (prefectura de Hyogo)	1200	300	3 (X,Y,Z)	900	200	100

Instituto de

Investigación en

300

64

3 (X,Y,Z)

1000

200

60

Ingeniería Civil

(Tsukuba)

Instituto de

Investigación

Científica para la

500

214

1 (X)

500

75

22

Prevención de

desastres

(Tsukuba)

Tomado de (*Instituto de Investigación Científica para la Prevención de Desastres | E-Defense (Introducción de cada instalación), s. f.*)

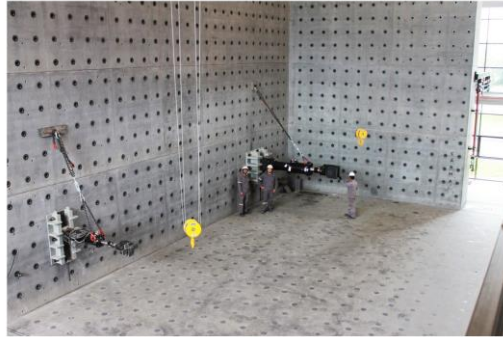
3.2.2 Laboratorios de estructuras a nivel nacional

3.2.2.1 Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

El laboratorio de Estructuras y Materiales, llamado “Alejandro Sandino Pardo”, en sus instalaciones cuenta con un muro de reacción en L, como se muestra en la Figura 5, de 10 m de altura y 14 m de longitud, conectado a una placa de 1.2 m de espesor con un área de 14 m x 8 m, además cuenta con dos puentes grúa con capacidad de 100 kN, actuadores de 1000 kN y 300 kN, dinámico y pseudo-estático respectivamente, una máquina universal de 1000 kN, una prensa universal de 2000 kN, un equipo de adquisición de datos con hasta 50 canales y dos elevadores.

Figura 5

Muro de reacción Alejandro Sandino Pardo



Tomado de (*Laboratorio de Estructuras y Materiales - Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, s. f.*)

3.2.2.2 Universidad de los Andes

El laboratorio de modelos estructurales de la universidad de los Andes cuenta con dos mesas vibratorias unidireccionales de 50 t y 5 t de capacidad respectivamente, un muro de reacción en L con 8 m de altura y una losa de reacción de 450 m², este sistema está asistido por un puente grúa, cuenta además con cuatro actuadores dinámicos de 50 t y un marco de carga vertical, dos marcos universales, un sistema MTS para el control de los dos actuadores hidráulicos con los que cuenta el laboratorio, de 35 y 5 t y un sistema para la adquisición de datos.

3.2.2.3 Pontificia Universidad Javeriana

El laboratorio de modelos estructurales de la Pontificia Universidad Javeriana, presentado en la Figura 6, cuenta con 400 m² en los que se encuentran: un muro de reacción de 8.5 m de altura, una mesa sísmica uniaxial de 1.5 m de lado y otra biaxial de 3x3m, una máquina universal de 6 m de altura con capacidad para carga dinámica de hasta 2500 kN a compresión y tracción, actuadores

desde 100 a 1000 kN, y más de 100 sensores, incluyendo acelerómetros, deformímetros, entre otros.

Figura 6

Mesa sísmica uniaxial y muro de reacción en dos direcciones



Tomado de (*Laboratorio de Modelos Estructurales-Pontificia Universidad Javeriana,*
s. f.)

3.2.2.4 Universidad EAFIT

El laboratorio de construcción la Universidad EAFIT, que se muestra en la Figura 7, cuenta con un muro de reacción junto con una losa de carga de 9 m x 9 m, con cinco actuadores dinámicos de 100 a 1000 kN, además de contar con un marco metálico de carga vertical con una capacidad de 100 t y 7 m de altura, utilizado para ensayar principalmente muros de mampostería, el laboratorio cuenta además con un puente grúa de 10 t de capacidad, entre sus demás recursos se encuentra una mesa vibratoria unidireccional, una máquina universal de ensayos, prensas multiensayos, varios triaxiales, viscosímetros rotacional, ductilómetro, Geogauge, cuarto húmedo, entre otros.

Figura 7

Laboratorio estructural EAFIT



Tomada por (Álvaro Viviescas)

3.2.2.5 Universidad del Valle

La Universidad del valle cuenta con tres laboratorios especializados en el ensayo de materiales y elementos estructurales, el primero es LABESTRUS (Laboratorio de estructuras) en el cual se realizan ensayos normalizados y no normalizados en materiales, cuenta con máquina universal dinámica y estática de ensayos, péndulo para prueba de impacto y sensores de desplazamiento. El segundo es LINSE (Laboratorio de Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural) el cual cuenta con ensayos para la caracterización del comportamiento dinámico en estructuras teniendo ensayos destructivos y no destructivos aplicados a modelos de escala reducido. El laboratorio cuenta con una mesa vibratoria uniaxial que logra recrear movimientos armónicos y aleatorios de hasta 1 t. Y por último está el MAP-H (Laboratorio Marcos de Pruebas para Homologaciones) cuyo propósito es la ejecución de ensayos a escala real de elementos estructurales y no estructurales de madera, mampostería, concreto entre otros sometidos a cargas monotónicas o cíclicas.

3.3 Equipos de laboratorio para ensayos estructurales

3.3.1 Mesas vibratorias

En el contexto Colombiano, enfocado regionalmente en el departamento de Santander, los movimientos sísmicos son de fundamental importancia debido a su capacidad destructiva y su naturaleza impredecible, causando daños en edificaciones y poniendo en riesgo la vida humana, por lo que los estudios en la materia sísmica implican grandes avances en la forma de estudiar sus efectos de forma que sea posible controlar la respuesta estructural a estos, siendo la forma más confiable la experimentación a modelos escalas.

La simulación de estructuras a los pulsos sísmicos es posible actualmente mediante las conocidas mesas vibratorias, cuyo propósito es el simular la actividad sísmica mediante la reproducción de vibraciones y movimientos registrados en perfiles sísmicos en el entorno controlado de un laboratorio, estos perfiles incluyen la información previamente registrada de terremotos reales e incluye características como la frecuencia, amplitud y dirección de las vibraciones en función del tiempo, estas son reproducidas mediante los actuadores controlados por un sistema de computadoras y los datos de respuesta de la estructura puesta a prueba son registrados mediante sensores (Shing & Mahin, 1984). Las mesas sísmicas pueden variar desde un solo grado de libertad, entendiéndose como una mesa vibratoria capaz solo de reproducir movimientos unidireccionales, hasta mesas sísmicas de hasta seis grados de libertad, lo que implica los tres desplazamientos posibles y los tres sentidos de giro de un sólido rígido.

3.3.1.1 Principales componentes de una mesa sísmica

Los componentes de una mesa sísmica varían según su diseño y nivel de complejidad, pero en términos generales en la mayoría de las mesas sísmicas se pueden encontrar los siguientes componentes claves.

3.3.1.1.1 Masa de reacción

Cumple la función de contrarrestar la fuerza generada por los actuadores y es la encargada de asegurar que la plataforma de prueba se mueva según los perfiles deseados, funciona con base en los principios de inercia y resistencia, sus principales características incluyen una gran masa, significativamente mayor a la de la plataforma y a la de los elementos probados, un montaje rígido, ajustabilidad, una distribución uniforme de las fuerzas aplicadas y un sistema de suspensión y amortiguamiento (Lozano, 2013).

3.3.1.1.2 Plataforma rígida del simulador

La superficie de prueba del simulador sísmico debe ser capaz de soportar la fuerza y los movimientos producidos durante las pruebas para su correcto funcionamiento, por lo que debe estar elaborado de un material resistente, usualmente hechas en acero, aluminio u hormigón armado, debe contar con una superficie plana, un sistema de sujeción como tornillos u otros dispositivos, sensores integrados para medir la fuerza y los movimientos generados, un revestimiento antideslizante, resistencia a la fatiga y una frecuencia natural adecuada, superando a la máxima frecuencia de operación de la máquina en 3 o 4 veces (Lozano, 2013).

3.3.1.1.3 Sistema de soporte

El sistema de soporte es fundamental para garantizar la seguridad y estabilidad de las pruebas ensayadas, su principal función es la de absorber las fuerzas generadas y evitar que estas

vibraciones sean transmitidas al suelo circundante, por lo que debe incluir un sistema de aislamiento de vibraciones que generalmente incluyen amortiguadores, resortes y materiales elastoméricos que absorban y disipen la energía producida por las vibraciones (Lozano, 2013).

3.3.1.1.4 Sistema de rodamientos

Este sistema es clave para el movimiento suave y controlado de la plataforma de prueba, de forma que minimice la fricción y permita los movimientos precisos y multidireccionales. Este sistema de rodamientos requiere una lubricación adecuada para su correcto funcionamiento y deben someterse a mantenimiento regular, por lo cual debe ser un sistema de fácil acceso (Lozano, 2013).

3.3.1.1.5 Unidad de potencia

Este es el sistema encargado de alimentar los actuadores y otros componentes. Esta unidad de potencia es conectada a una fuente de energía eléctrica y debe incluir convertidores de voltaje y reguladores de corriente. La unidad de potencia se conecta a los actuadores y los motores del simulador, ya sean eléctricos, hidráulicos o neumáticos. Esta unidad puede estar integrada con sistemas de control que permitan la programación y supervisión de las pruebas sísmicas y suelen incluir también un sistema de seguridad como frenos de emergencia, sensores de sobrecarga o sistemas de apagado automático. En algunos casos, generalmente con el uso de actuadores hidráulicos, es necesario que la unidad de potencia incluya sistemas de control de la temperatura para evitar el sobrecalentamiento (Lozano, 2013).

3.3.1.1.6 Servo-válvulas y actuadores

Las servo-válvulas son dispositivos de control que permiten la regulación de la cantidad de fluido que fluye hacia los actuadores, y son las que permiten el ajustar y controlar la dirección y

velocidad del movimiento del simulador sísmico, estas válvulas trabajan en conjunto con los actuadores (Lozano, 2013).

3.3.1.1.7 Servo-controlador

El servo- controlador realiza la supervisión y regulación de los actuadores, permiten la programación y almacenamiento de los perfiles sísmicos y realiza un seguimiento en tiempo real de las señales de control y los datos de los sensores. El servo-controlador utiliza dos niveles de control, el primero llamado “lazo interno” que permite regular los puertos de fluido de la servo-válvula, y el segundo llamado “lazo externo”, siendo el nivel más alto de control, compara la señal de desplazamiento del actuador con la señal de comando generada por la computadora de control (Lozano, 2013).

3.3.1.1.8 Instrumentación para medición

Se instalan diversos sensores en la estructura del simulador para medir las variables durante la prueba sísmica, utilizando generalmente LVDT's para medir la fuerza ejercida por los actuadores y acelerómetros (Lozano, 2013).

3.3.1.1.9 Sistemas de adquisición y procesamiento de datos

Un sistema típico de adquisición y procesamiento de datos utilizado en mesas sísmicas incluye una variedad de sensores y transductores que tienen la capacidad de medir diversos parámetros. La unidad de adquisición de datos se conecta a un sistema de control, donde se ejecuta un software especializado para controlar el proceso y almacenar los datos recopilados (Lozano, 2013).

3.3.2 Sistemas de reacción

El sistema de reacción que generalmente poseen los laboratorios estructurales se compone por uno o dos muros de reacción y una losa de carga, diseñados lo suficientemente rígidos para que sus deformaciones sean despreciables en el momento de ensayar elementos y sistemas estructurales (Peloso et al., 2011).

.

3.3.2.1 Muro de reacción

El muro de reacción es utilizado para someter a los modelos estructurales a cargas verticales y horizontales mediante el uso de actuadores que se anclan al muro mediante pernos a través de los agujeros de su superficie. Este elemento es construido con hormigón armado y suele unirse a la cimentación mediante contrafuertes que impiden la caída de la pantalla. La Figura 8 ilustra un ejemplo de un muro de reacción.

Figura 8

Muro de reacción de la Universidad Industrial de Santander



Tomada de Autoría propia

3.3.2.2 Losa de reacción

Esta plataforma de hormigón armado permite el ensayo de elementos estructurales anclados mediante pasadores que atraviesan las placas metálicas y los agujeros de la losa.

3.3.3 Marcos de carga

El marco de carga es una estructura diseñada para el ensayo de elementos, componentes o materiales bajo cargas y fuerzas controladas para evaluar su resistencia, el funcionamiento en general de un marco de carga implica lo siguiente: la estructura del marco debe ser resistente y contar con dispositivos de sujeción que mantengan al elemento ensayado de manera firme y segura, además de contar con actuadores que apliquen las cargas, el tipo de actuador dependerá de la naturaleza del ensayo y las cargas aplicadas. El marco de carga también incluye un sistema de sensores y transductores que permiten la medición y el registro de datos.

3.3.4 Puentes grúa

El puente grúa es una componente esencial en un laboratorio estructural, pues se utiliza para el traslado de objetos pesados y de gran tamaño de un lugar a otro, esta máquina se monta

sobre una viga a lo largo del techo, suele contar con dos vigas, una principal y una de carro que cuelga sobre esta primera.

Existen distintos tipos de puentes grúa, entre los más comunes se encuentran los de monorriel, ménsula, birriel y los puentes grúa suspendidos.

3.3.5 Máquina universal de ensayos

La máquina universal de ensayos es un instrumento con la capacidad de imprimir fuerzas sobre diferentes materiales, esto hace que exista una amplia gama de ensayos mecánicos cuyo objetivo principal es determinar la resistencia a tracción y compresión del elemento. La máquina universal de ensayos puede clasificarse de tres maneras diferentes según su funcionamiento: hidráulico, electromagnético, neumático.

3.3.6 Actuadores

Los actuadores son dispositivos que convierten energía en fuerza para controlar válvulas u otros elementos. Los actuadores hidráulicos ofrecen potencia, pero requieren equipo y mantenimiento costoso, mientras que los neumáticos son más simples, pero menos precisos. Los actuadores pueden realizar movimientos lineales o rotativos.

Estos son componentes esenciales en ensayos estructurales, ya que se utilizan para aplicar cargas y fuerzas controladas en estructuras con el fin de evaluar su comportamiento y resistencia. Los actuadores hidráulicos y neumáticos son útiles para aplicar cargas estáticas, mientras que los actuadores eléctricos y servomotores permiten simular cargas dinámicas en tiempo real. Estos actuadores se combinan con sistemas de control para monitorear y ajustar de manera precisa las deformaciones y tensiones de la estructura bajo prueba (Corona et al., 2014).

3.3.7 Sistema de adquisición de datos

Un sistema de adquisición de datos es el conjunto de dispositivos y softwares destinados a la recopilación, procesamiento y almacenamiento de la información obtenida de estructuras físicas bajo condiciones controladas como los ensayos de laboratorio.

Un sistema básico para un laboratorio incluye distintos sensores, una unidad de adquisición de datos (DAQ) encargada de transformar las señales capturadas a un formato digital compatible un computador donde finalmente estas señales se pueden visualizar y analizar mediante un software (Cardona & López, 2017).

3.3.8 Sensores y transductores

Los sensores y transductores son instrumentos de medición que transforman los parámetros de los fenómenos físicos en magnitudes medibles. Es importante diferenciar estos dos dispositivos ya que en conjunto cumplen un mismo propósito, pero su funcionamiento es distinto. El sensor es afectado directamente por el fenómeno, mientras que el transductor es el encargado de transmitir la magnitud como señal a un centro de interpretación (Corona et al., 2014).

3.3.8.1 Acelerómetro

Se emplean para medir la aceleración y su funcionamiento se basa en la fuerza inercial. Un método comúnmente utilizado implica un sistema de masa-resorte, donde una masa está suspendida en reposo sobre un resorte, cuando se produce un desplazamiento, la masa tiende a cambiar su posición relativa. La forma en que se mide este desplazamiento varía según la tecnología utilizada para el acelerómetro. Existen varios acelerómetros además del sistema mecánico como lo son los acelerómetros piezoeléctricos, capacitivos y térmicos (Osorio et al., 2007).

3.3.8.2 Deformímetros

Los deformímetros se usan para medir las deformaciones producidas sobre un material a causa de un esfuerzo aplicado. A partir de este funcionamiento se pueden determinar las propiedades mecánicas de los materiales.

Cuando se requiere realizar la medición de desplazamientos considerables se usan transductores de desplazamiento como el transformador diferencial variable lineal LVDT.

4. Revisión de la reforma de la escuela de ingeniería civil

La proyección del laboratorio de estructuras de la Escuela necesariamente debe ir de la mano de los avances previstos de la actual reforma curricular del pregrado en ingeniería civil, la maestría en ingeniería civil y la elaboración del proyecto educativo del programa para la creación del doctorado en ingeniería civil donde se exponen los siguientes puntos.

Para el programa de pregrado, la reforma en el área de estructuras prevé brindarle al futuro ingeniero civil de la Universidad Industrial de Santander las habilidades y competencias necesarias para abordar problemas estructurales de manera integral mediante la fundamentación teórica y ejercicios prácticos que involucren el análisis y diseño de elementos estructurales esenciales, tales como vigas, columnas, losas, cimentaciones, muros de contención y muros estructurales, así como sistemas estructurales simples incluyendo edificaciones de uso residencial de hasta 5 pisos, puentes con luces menores a los 20 metros y cubiertas metálicas.

Para la creación del doctorado en ingeniería civil, la nueva reforma contempla dentro del campo de la ingeniería estructural el avance en investigación enfocado en el desarrollo de

infraestructura civil resiliente ante efectos naturales y antrópicos, junto con la innovación de métodos de análisis y diseño estructural.

De la mano de estas aspiraciones se contempla la necesidad de un laboratorio capaz de ofrecer las herramientas para alcanzar dichos puntos expuestos en la nueva reforma.

5. Estado Actual de Laboratorio Estructural de la UIS

El laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander, ubicado en el edificio Álvaro Beltrán Pinzón dentro del campus central de la institución, cuenta con un área aproximada de 63 m² y su función primordial según la página oficial de la Escuela es la enseñanza y el aprendizaje teórico y práctico de los conceptos generales y particulares del análisis y modelamiento estructural; en sus instalaciones cuenta con los siguientes equipos:

5.1 Actuadores

En las instalaciones se encuentran dos actuadores de la marca MTS: un actuador dinámico de 50 t y un actuador estático de 25 t, como se muestra en la Figura 9

Figura 99

Actuadores de la UIS



Autoría propia

5.2 Sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento del laboratorio de estructuras es un Chiler basado en el ciclo de refrigeración mediante compresión de vapor. Este equipo falla debido a un problema de nivelación de los tanques, necesitando que el personal ingrese agua a este según el criterio de los mismos usuarios, funcionando de forma desacoplada con los equipos, entorpeciendo el proceso de ensayo y poniendo en riesgo la maquinaria utilizada.

5.3 Sistema de muro-losa de reacción

5.3.1 Muro de reacción

El muro de reacción de este sistema cuenta con 7.1 m de altura, un espesor de 0.46 m y una longitud de 5 m, elaborado con hormigón reforzado con dos grandes contrafuertes que impiden su

volcamiento, el muro cuenta con platinas cuadradas de 48 cm de lado con ocho agujeros para pernos distribuidos en su perímetro.

El estado actual del muro a términos generales podría considerarse adecuado, con la excepción de un par de platinas que se encuentran obstruidas por los contrafuertes, de modo que impide el anclaje en estos lugares específicos, entorpeciendo el dimensionamiento para algunos proyectos. Este problema viene desde el diseño del muro.

La Figura 11 ilustra este muro y sus contrafuertes.

Figura 1010

Muro de reacción de la UIS



Autoría Propia

5.3.2 Losa de reacción

La losa cuenta con una longitud de 10.95 m en la que se apoya el muro de reacción, un ancho de 5 m y un espesor de 0.75 m. Está conformada por seis vigas transversales de 0.6 m de ancho y 0.4 m de altura y cinco vigas longitudinales con las mismas dimensiones. Esta losa tiene

25 platinas ancladas. La funcionalidad actual de la placa es inadecuada, pues no cumple su función como losa de reacción, las perforaciones para la sujeción de las muestras se encuentran colmatadas y su superficie presenta asentamientos considerables y fisuraciones que deben revisarse para asegurar su correcto funcionamiento.

5.4 Marcos para pruebas de carga estática

El laboratorio de estructuras de la Universidad cuenta con dos marcos para pruebas como se muestran en la Figura 12.

Figura 1111

Marcos para pruebas de la UIS



Autoría propia

5.5 Puente grúa

En las instalaciones se cuenta con un puente grúa con una capacidad de carga de hasta 5 t y una longitud de desplazamiento capaz de cubrir toda el área del laboratorio.

5.6 Máquinas Universales de ensayos

Las instalaciones cuentan con un sistema dinámico para pruebas de materiales de la marca MTS, son dos equipos MTS-810 y una unidad de potencia hidráulica. El uso de las máquinas se encuentra limitado a aproximadamente 15 minutos diarios según laboratoristas, pues el sistema de enfriamiento presenta un fallo considerable del cual no se ha tenido respuesta desde la solicitud manifestada en 2023; el uso restringido de la maquinaria trae como consecuencia la sobredemanda y por tanto la disminución de proyectos que requieren su uso.

Para el funcionamiento de las máquinas ubicadas en el salón 202 del edificio Álvaro Beltrán Pinzón se requiere adecuación del sistema eléctrico cotizado en el anexo A y aprobado en febrero del presente año.

Figura 1212

Máquina Universal de Ensayos de la UIS



Autoría propia

6. proyección del laboratorio estructural

Se realiza una entrevista a usuarios frecuentes del laboratorio de estructuras para generalizar la proyección que se tiene de este, limitando y centrando su alcance a los objetivos previstos en el presente trabajo de grado.

Se realizó la entrevista a 4 docentes del área de investigación y docencia de la Escuela de Ingeniería Civil del campo estructural, que se encuentran en el apéndice B, dónde se pueden identificar las siguientes falencias:

Falta de insumos, entre estos equipos e instrumentos que impiden realizar investigación de forma más intensiva o con nuevos enfoques, como la falta de robustez en los sistemas de adquisición de datos.

Falta de condiciones óptimas de aseo, limpieza y seguridad que entorpecen el interés y uso de las instalaciones. Especial énfasis en la disposición de escombros producidos durante los proyectos de investigación.

Falta de mantenimiento, calibración y reparación de los equipos. Se hizo hincapié en el estado actual de la losa del sistema de reacción y el fallo del sistema de enfriamiento.

Los docentes entrevistados coincidieron en que el laboratorio actual se considera competente. Sin embargo, se hace énfasis en el estado de abandono actual de las instalaciones. Teniendo en cuenta la proyección de la Escuela de incluir el programa de doctorado, donde se haría un uso más frecuente del espacio y sus equipos, se estima que es fundamental la mejora de las instalaciones, reconociendo que para iniciar este proceso y justificar la adquisición de equipos

más robustos, se debe pasar primero por una etapa de puesta a punto de la infraestructura existente que permita la realización de ensayos con los dos actuadores actuando en simultaneo sin limitaciones por el sistema de enfriamiento, ni de la unidad de potencia hidráulica. Así mismo, un sistema de adquisición robusto que permita la captura de los datos de los ensayos.

Según la investigación, los antecedentes y las consultas realizadas, acoplado con lo discutido en el Comité de Infraestructura de la Escuela, se identifican como necesario lo siguiente:

7. Revisión y adquisición de equipos

Se considera necesario la revisión técnica y el mantenimiento de los equipos que actualmente se encuentran y que presentan fallas recurrentes, mientras que para la falencia de insumos se considera la adquisición de estos.

Se identifican los instrumentos y equipos para su adquisición en la tabla 14.

Tabla 14

Plan de adquisición de equipos

Equipos

Sensores de medición

Sistema de adquisición de datos

Sistema de enfriamiento

Actuador 1000 KN

Se establece que el actuador no se considera un elemento de urgencia primordial; sin embargo, se reconoce como una herramienta capaz de potenciar la escala y el alcance de futuros

proyectos de investigación. Por lo tanto, se sugiere que una vez implementadas las mejoras en las instalaciones y se observe un aumento en la producción investigativa, se lleve a cabo una evaluación para determinar si es justificable adquirir este equipo.

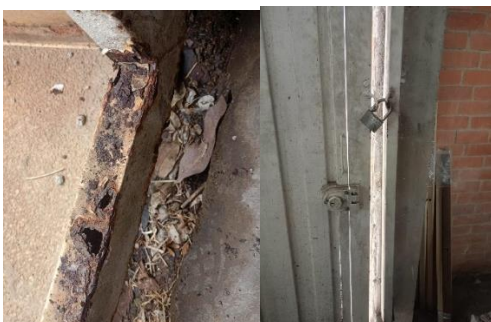
Asimismo, aunque este proyecto no abarca la adquisición de una mesa sísmica debido a su elevado costo y al bajo uso actual de las instalaciones, se subraya la importancia de este equipo para el avance de la investigación estructural. Se registra, por tanto, la consideración de adquirir esta mesa como un equipo robusto de gran interés, y se documentan los esfuerzos realizados hasta el momento para su posible adquisición en los cuales se ha solicitado una cotización de la Shake Table de uno y dos ejes a la empresa Quanser®.

8. Mejora de infraestructura

Es necesario sustituir el portón exterior de las instalaciones, ya que está deteriorado por el óxido y, además, debido a la ausencia de una de las ruedas en el sistema de riel, no se cierra correctamente. Se ha documentado su estado en la Figura 14.

Figura 1313

Estado de deterioro del portón exterior



Autoría propia

Por recomendación de laboratoristas para la ejecución de ensamblajes y demás actividades de pequeña escala necesarios para los proyectos, se requiere la adecuación de un mesón de trabajo con espacio de almacenamiento en su parte inferior.

9. Propuestas complementarias

Debido a las molestias ocasionadas por los escombros en las instalaciones, se proyecta un plan de disposición para estos en un botadero autorizado. Este plan implica el alquiler de una volqueta al menos cada seis meses para eliminar los residuos acumulados en un contenedor. Asimismo, se propone reglamentar que los planes de proyectos de investigación de la Escuela incluyan en su presupuesto la disposición de los residuos generados durante su desarrollo. Se sugiere hacer hincapié en esta normativa con los docentes, quienes son los responsables principales de los proyectos.

Para la disposición de algunos implementos que no tienen un espacio asignado, se recomienda implementar una bodega de almacenaje en el exterior de las instalaciones para un almacenamiento que optimice el espacio y resguarde de forma segura y ordenada los insumos.

Para brindar un apoyo adecuado durante el desarrollo de los proyectos de investigación y procurar el buen manejo y cuidado de las instalaciones del laboratorio, se considera un plan de formación constante para los técnicos mediante cursos, seminarios y reentrenamientos tanto en el

manejo de equipos como en seguridad. Se identifica como prioritario la actualización del técnico Jaime Cadena, en el adecuado uso de los actuadores hidráulicos.

Para la revisión y rediseño de la losa se considera necesario contratar estos servicios a un profesional especialista en estructuras, esto de la mano de la revisión de la posibilidad de ampliar el sistema de reacción a un muro en L para incrementar la capacidad y el alcance de los proyectos.

Considerando las posibles limitaciones en el presupuesto de la escuela para la implementación de estas mejoras, se propone escalar este proyecto en una siguiente fase al banco de programas y proyectos de inversión BBPIUIS, cuya finalidad es apoyar la asignación de recursos a proyectos viables que permitan concretar y dar coherencia al plan de desarrollo institucional.

Para complementar este proyecto, es necesario ampliar el estudio al laboratorio de caracterización de materiales, ya que los resultados obtenidos en este laboratorio son fundamentales para comprender el comportamiento de una estructura. Por lo tanto, se recomienda llevar a cabo una revisión del estado actual de dicho laboratorio.

10. Cotizaciones

Se registran las cotizaciones de los ítems cuantificables tenidos en cuenta en la propuesta en la Tabla 15.

Tabla 15*Cotizaciones*

Equipo	Empresa	Cotización	Anexo
Mantenimiento correctivo sistema de control servohidráulico	DIRIMPEX®	\$14.280.000	Apéndice C
Oferta mantenimiento sistema de ensayos MTS incluyendo capacitación de usuario	DIRIMPEX®	\$63.665.00	Apéndice D
Sistema de anclaje	DIRIMPEX®	\$35.700.000	Apéndice E
Sistema de refrigeración	DIRIMPEX®	\$74.970.000	Apéndice F
Sistema de adquisición de datos	DIRIMPEX®	\$327.250.000	Apéndice G
Actuador 1000 kN	DIRIMPEX®	\$1.312.225.928	Apéndice G

Galga extensiométrica [x10]	Vía Industrial	\$1.487.294	Apéndice H
LVDT	Vía Industrial	\$8.553.663	Apéndice I
Deformímetro	AConstructoras	\$294.500	Apéndice J
Portón exterior	Hugo metálicas	\$7.500.000	Apéndice K
Contenedor	METAL INDUSTRIA FORERO	\$10.800.000	Apéndice L
Mesón de trabajo	N.A	\$839.900	Apéndice M

Se agrupan las cotizaciones según sus fases para evaluar la inversión de la Tabla 16.

Tabla 16*Presupuesto de inversión desglosado*

Optimización de los equipos actuales	188'615,000
<hr/>	
Complementarios de infraestructura	19'138,900
<hr/>	
Sensores de medición	10'335,457
<hr/>	
Adquisición de equipos robustos para ampliar el alcance del laboratorio	1,640'475,928
<hr/>	

Se registra que para el momento en que se finaliza este trabajo de grado se adelanta un plan para la dotación del laboratorio mediante la convocatoria de la Vicerrectoría Administrativa año 2024.

Se realiza un modelado en REVIT® adjuntado en el apéndice N donde se ilustran los elementos considerados y su disposición, además de incluir el plano de este en el apéndice P con las medidas aproximadas tomadas en campo.

Como complemento para la disposición de escombros se considera su posterior desecho adquiriendo los servicios de algunos de los botaderos autorizados por la CDMB para la gestión de residuos de construcción y demolición como la empresa “PROYECTOS E INVERSIONES EL PARQUE S.A” en el KM 4 vía Girón.

Finalmente, se reúne toda la información sobre la propuesta del laboratorio de estructuras en el catálogo adjuntado en el apéndice O donde se encuentran los detalles de requerimientos, recomendaciones y contactos, también se puede consultar el catálogo en el siguiente enlace:

Propuesta del laboratorio de estructuras de la Universidad Industrial de Santander	https://drive.google.com/file/d/1DLXi0JwWYLjKnx61B6yRUkjVE6TE5EIS/view?usp=sharing
---	---

11. Conclusiones

Se llevó a cabo una investigación sobre ensayos estructurales, abordando los diferentes tipos y metodologías para su ejecución, así como algunos de los equipos necesarios para llevarlos a cabo. Además, se realizó una revisión de los antecedentes de laboratorios estructurales en instituciones pares o referentes a nivel nacional e internacional. Esto permitió identificar los equipos utilizados con mayor frecuencia tanto en investigación como en formación, y comprender su función y aplicación

Se acoplaron los alcances previstos con la reforma en curso de los programas de la escuela de ingeniería civil (pregrado, maestría y doctorado), justificando la actualización y rehabilitación del laboratorio de estructuras.

Se documentó el estado actual del laboratorio de estructuras de la universidad realizando repetidas visitas a las instalaciones y entrevistas con usuarios frecuentes como docentes y el

laboratorista a cargo, lo que permitió identificar los equipos e infraestructura existente, su condición actual y las limitaciones para su uso.

Se trazó un plan de rehabilitación y mejoramiento para las instalaciones, incluyendo un apartado de cotizaciones para el mantenimiento y adquisición de insumos y equipos, algunas mejoras de las instalaciones y finalmente una serie de recomendaciones para el adecuado funcionamiento del laboratorio.

Se presupuestó el mantenimiento y adquisición de equipos después de conversaciones con la empresa DIRIMPEX® para las soluciones más eficientes en el laboratorio, de igual forma se realizaron las cotizaciones de elementos menores como sensores, reemplazo e instalación del portón, construcción de la mesa de trabajo y adquisición del container para el almacenamiento de escombros.

Se sintetizaron los resultados obtenidos de la propuesta del laboratorio en un catálogo integral con cotizaciones, contactos, ilustraciones del modelado 3D elaborado en REVIT ® y demás detalles pertinentes.

12. Recomendaciones

Se recomienda realizar la actualización del laboratorio satisfaciendo como mínimo las falencias identificadas en este trabajo de grado para cumplir con las necesidades de investigación y docencia tanto de los programas actuales como del futuro doctorado en ingeniería civil.

Tener en cuenta el tiempo de duración válido para las cotizaciones adjuntas.

Establecer un orden de prioridades para la implementación de lo establecido.

Referencias Bibliográficas

- 6DLAB. (s. f.). *Fondazione Eucentre | European Centre For Training And Research in Earthquake Engineering | Pavia, Italy*. Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://www.eucentre.it/6dlab-laboratory/?lang=en>
- 25 años del Gran Terremoto de Hanshin-Awaji. (2020, enero 16). nippon.com. <https://www.nippon.com/es/japan-data/h00629/>
- Akiyama, H. (2002). *Metodología de proyecto sismorresistente de edificios*. Reverte.
- Bono, F., Zapico, J., Renda, V., Mangonette, G., Verzeletti, G., & Molina, F. (1999). Ensayo Sísmico de Estructuras. *Física de la tierra, ISSN 0214-4557, N° 11, 1999 (Ejemplar dedicado a: Ingeniería sísmica),* pags. 285-305, 11, 285-305.
- Cáceres, J., & Gálvez, G. (2018). Los ensayos no destructivos (END) y su aplicación en la industria. *Campus, 23*, 59-65. <https://doi.org/10.24265/campus.2018.v23n25.05>
- Cardona, M. E., & López, S. (2017). Una revisión de literatura sobre el uso de sistemas de adquisición de datos para la enseñanza de la física en la educación básica, media y en la formación de profesores. *Revista Brasileira de Ensino de Física, 39*(4). <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2016-0308>
- Carrillo, J., Rodríguez, P. P., & Cruz, M. S. (2016). *Educational Tool for quasi-Static Testing of Small Structural Specimens Support pédagogique pour des essais quasi-statiques de petits spécimens structurels Ferramenta didática para ensaios quase-estáticos de pequenos espécimenes estruturais*.

CIVILAB Austral – División Puentes y Estructuras—Facultad de Ciencias de la Ingeniería—

Universidad Austral de Chile. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <http://www.ingenieria.uach.cl/9839>

Clavijo, J., & Ramirez, L. (2011). *Diseño, modelamiento y simulación de una mesa sísmica unidireccional hidráulica.* [Universidad Industrial de Santander]. <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2011/137832.pdf>

Corona, L., Abarca, G., & Mares, J. (2014). *Sensores y actuadores. Aplicaciones con arduino®* (1.^a ed.). Grupo Editorial Patria.

Díaz, R. L. B. (2003). *VULNERABILIDAD Y RIESGO SÍSMICO DE EDIFICIOS. APLICACIÓN A ENTORNOS URBANOS EN ZONAS DE AMENAZA ALTA Y MODERADA.*

Ensayo de fatiga: Definición y descripción. (s. f.). Ensayo de fatiga: Definición y descripción. Recuperado 17 de abril de 2024, de <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-fatiga/>

Ensayos estáticos y dinámicos de estructuras | Cedex. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://www.cedex.es/centros-laboratorios/laboratorio-central-estructuras-materiales-iceym/lineas-actividad/ensayos-estaticos-dinamicos-estructuras>

European Laboratory for Structural Assessment: Reaction Wall facility. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de https://joint-research-centre.ec.europa.eu/laboratories-and-facilities/european-laboratory-structural-assessment-reaction-wall-facility_en

FFM-E-Civil-I-Es – Universidad Industrial de Santander. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://uis.edu.co/ffm-e-civil-i-es/>

Gómez-P, J. A. (1980). Actividad Sísmica en el Departamento de Santander. *Boletín de Geología*, 14(28), Article 28.

Guerrero Ugalde, C. (2009). *Diseño arquitectónico del laboratorio de estructuras y diseño estructural del muro de reacción de la Facultad de Ingeniería U.A.Q.* <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/4896>

Instituto de Investigación Científica para la Prevención de Desastres | E-Defense (Introducción de cada instalación). (s. f.). Recuperado 8 de febrero de 2024, de <https://www.bosai.go.jp/hyogo/profile/facilities/facilities.html>

Instituto de Investigación Científica para la Prevención de Desastres | E-Defense (Perfil). (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://www.bosai.go.jp/hyogo/profile/profile.html>

Laboratorio de Elementos Estructurales – ICITECH. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://icitech.webs.upv.es/index.php/home/laboratorio-de-elementos-estructurales/>

Laboratorio de Estructuras de La Escuela Técnica Superior de Arquitectura Politécnica de Madrid. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de [https://www.upm.es/sfs/Rectorado/Vicerrectorado%20de%20Investigacion/Servicio%20de%20Investigacion/Estructuras-
Unidades_de_Investigacion/Laboratorios/L_Estructuras.pdf](https://www.upm.es/sfs/Rectorado/Vicerrectorado%20de%20Investigacion/Servicio%20de%20Investigacion/Estructuras-Unidades_de_Investigacion/Laboratorios/L_Estructuras.pdf)

Laboratorio de Estructuras y Materiales . (s. f.). Recuperado 5 de febrero de 2024, de [https://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Capacidades-
Experimentales/Estructuras-y-Materiales/Paginas/default.aspx](https://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Capacidades-Experimentales/Estructuras-y-Materiales/Paginas/default.aspx)

Laboratorio de Estructuras y Materiales—Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (s. f.). Recuperado 8 de febrero de 2024, de

<https://www.escuelaing.edu.co/es/campus/laboratorio-de-ensayo-de-materiales-y-estructuras/>

Laboratorio de Estructuras—CISMID. (s. f.). Recuperado 5 de febrero de 2024, de <https://www.cismid.uni.edu.pe/laboratorio-de-estructuras/>

Laboratorio de Modelos Estructurales-Pontificia Universidad Javeriana. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://ingenieria.javeriana.edu.co/w/edificio-sotano-2?redirect=%2Fnuestro-edificio>

Laboratorio de Modelos Estructurales-Universidad de los Andes. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://laboratoriointegrado.uniandes.edu.co/78-laboratorio-ingenieria-civil/77-modelos-estructurales>

Laboratorio Experimental de Estructuras (LEE)—Departamento de Ingeniería Civil—FCFM - Universidad de Chile. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://ingcivil.uchile.cl/laboratorios/estructuras>

Laboratorios de Civil—Centro de Laboratorios / Infraestructura—Universidad EAFIT. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://www.eafit.edu.co/servicios/centrodelaboratorios/laboratorios/Paginas/laboratorio-civil.aspx>

Laboratory LATEM | ATEM UPC. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://www.atem.upc.edu/lab/laboratory-lluis-agullo/>

Lopez, D. (2015). *Model for the implementation of a laboratory of simulation academic practices focused on industrial engineering.*

- Lozano, P. (2013). *Diseño de un simulador sísmico* [Universidad de Almería].
<http://hdl.handle.net/10835/2642>
- Núñez, C., Roca, A., & Jorba, J. (2013). *Comportamiento mecánico de los materiales. Volumen II. Ensayos mecánicos. Ensayos no destructivos*. Edicions Universitat Barcelona.
- Orosco, L., & Alfaro, I. (2007). *Potencial Destructivo de Sismos*.
- Osorio, J. A. C., Osorio, J. A. C., & Aguirre, F. A. M. (2007). Diseño y construcción de un dispositivo para la medición Del trastorno del movimiento en la mano temblor. *Scientia et Technica*, 5(37), 139-144.
- Peloso, S., Pavese, A., & Casarotti, C. (2011). *Eucentre TREES Lab: Laboratory for Training and Research in Earthquake Engineering and Seismology* (Vol. 22, pp. 65-81).
https://doi.org/10.1007/978-94-007-1977-4_4
- Puente grúa: Qué es, tipos y usos*. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de
<https://www.ludusglobal.com/blog/puente-grua>
- Riesgo Sísmico—IDIGER*. (s. f.). Recuperado 1 de mayo de 2023, de
<https://www.idiger.gov.co/rsismico>
- Rodriguez, M. E. (2016). *Una revision crítica de la práctica de diseño por sismo de estructuras en México*. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2016000100027
- Salcedo, E. de J. (1999). *ESTUDIO DE SISMICIDAD HISTÓRICA EN LA REGIÓN DE BUCARAMANGA (COLOMBIA)*. Vol. 23(87), 233-248.

Salgado-Gálvez, M., Bernal, G., Yamin, L., & Cardona, O. (2010). Seismic Hazard Assessment in Colombia. Updates and Usage in the New National Building Code NSR-10. *Revista de Ingeniería*, 28-37.

Sepúlveda-Jaimes, F. J., Cabrera-Zambrano, F. H., & Universidad de Pamplona, Pamplona, Colombia. (2018). Tomografía sísmica 3D del nido sísmico de Bucaramanga (Colombia). *Boletín de Geología*, 40(2), 15-33. <https://doi.org/10.18273/revbol.v40n2-2018001>

Servicios de los Laboratorios de Estructuras y Materiales Alejandro Sandino Pardo—Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. (s. f.). Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://www.escuelaing.edu.co/es/campus/servicios-laboratorios-de-estructuras-y-materiales/>

SHAKELAB. (s. f.). *Fondazione Eucentre | European Centre For Training And Research in Earthquake Engineering | Pavia, Italy*. Recuperado 22 de octubre de 2023, de <https://www.eucentre.it/shakelab-laboratory/?lang=en>

Shing, P.-S., & Mahin, S. (1984). *Pseudodynamic test method for seismic performance evaluation: Theory and implmentation*.

www.ilogica.cl, I.-. (s. f.). *Infraestructura · Departamento de Obras Civiles · Universidad Técnica Federico Santa María*. Infraestructura · Departamento de Obras Civiles · Universidad Técnica Federico Santa María. Recuperado 5 de febrero de 2024, de <https://www.obrasciviles.usm.cl/infraestructura/>

