

# Teoría de modelos físico de ingeniería estructural para edificaciones

**Calero Amores Marcial. PhD.**  
**Calero Proaño Laura. PhD.**  
**Chica Ostaiza Dolores. MSc.**  
**Vélez Aspiazu Eva. MSc.**

# **Teoría de modelos físico de ingeniería estructural para edificaciones**

© Calero Amores Marcial. PhD.  
*Universidad de Guayaquil, Universidad Laica Vicente Rocafuerte*  
Calero Proaño Laura. PhD.  
*Universidad de Guayaquil*  
Chica Ostaiza Dolores. MSc.  
*Universidad de Guayaquil*  
Vélez Aspiazu Eva. MSc.  
*Universidad de Guayaquil*

**Título del libro**

Teoría de modelos físico de ingeniería  
estructural para edificaciones

**ISBN: 978-9942-33-630-9**

Publicado 2022 por acuerdo con los autores.  
© 2022, Editorial Grupo Compás  
Guayaquil-Ecuador

Calero, M., Calero, L., Chica, D., Vélez, E. (2022) Teoría de modelos físico de ingeniería estructural para edificaciones. Editorial Grupo Compás

Grupo Compás apoya la protección del copyright, cada uno de sus textos han sido sometido a un proceso de evaluación por pares externos con base en la normativa del editorial.

El copyright estimula la creatividad, defiende la diversidad en el ámbito de las ideas y el conocimiento, promueve la libre expresión y favorece una cultura viva. Quedan rigurosamente prohibidas, bajo las sanciones en las leyes, la producción o almacenamiento total o parcial de la presente publicación, incluyendo el diseño de la portada, así como la transmisión de la misma por cualquiera de sus medios, tanto si es electrónico, como químico, mecánico, óptico, de grabación o bien de fotocopia, sin la autorización de los titulares del copyright.

   @grupocompas.ec  
compasacademico@icloud.com

## Índice

Introducciòn .....	6
CAPITULO 1.....	8
FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	8
Visión retrospectiva, laboratorio-proceso cognitivo.....	8
Enseñanza-aprendizaje técnica-práctica experimental.....	9
Docentes en la enseñanza de la física.....	12
Desarrollo de equipos/módulos para el área técnica-experimental .....	14
Diseño y construcción de un equipo experimental didáctico de estructuras modelo tipo armadura y pórtico para el laboratorio de Resistencia de Materiales de la FIME. ....	19
Aspectos técnicos-financiero .....	20
Metodología para realizar modelos de concreto reforzado a escala reducida. ....	20
Los sistemas estructurales en los edificios.....	24
Tipos de modelos .....	25
La modelación física de prototipos.....	28
Importancia .....	28
Limitaciones para el desarrollo .....	30
Semejanza estructural y numero de estabilidad .....	31
Modelos analíticos para la modelización .....	34
Selección de la escala geométrica.....	40
Materiales y equipos .....	42
CAPÍTULO 2 .....	43
ESTUDIO DE CASO .....	43
Marco contextual .....	43

Laboratorio para ingeniería estructural.....	43
Estrategias para implementación.....	44
Desarrollo experiencial.....	45
Selección de modelos físico .....	45
Técnico y económico.....	45
Sostenibilidad .....	47
Desarrollo de modelos físicos.....	48
Desarrollo teórico experiencial.....	49
Participantes .....	49
Modelos proyectados .....	50
Modelos estructurales-físico-analíticos .....	51
Escalas por semejanza .....	55
Características técnicas de los modelos físicos .....	57
Diseño de los modelos .....	58
Desarrollo constructivo-operativo-experimental-experiencial .....	61
Participantes .....	62
Tecnología constructiva.....	62
Guías para operatividad de los modelos .....	68
GUIA METODOLOGICA 1 .....	69
Estabilidad de sistemas estructurales tipo viga en edificios.....	69
GUIA METODOLOGICA 2 .....	78
Comportamiento de sistemas estructurales tipo viga en edificios solicitados por momento flector.....	78
GUIA METODOLOGICA 3 .....	86
Deformación por flexión de sistemas estructurales tipo viga en edificios .....	86
Evaluación del proyecto.....	95
Introducción .....	95

Indicadores de rentabilidad técnica, sostenibilidad, económica y ambiental .....	96
Indicador de rentabilidad académica y económica.....	98
Indicador integrado de B/C.....	100
Operación-investigación-Casos de estudios.....	101
CASO DE ESTUDIO 1 .....	102
Modelo físico aplicado a la estabilidad de sistemas estructurales	102
CASO DE ESTUDIO 2.....	109
Modelo físico aplicado para investigar la deformación en sistemas estructurales .....	109
CASO DE ESTUDIO 3.....	114
Modelo físico para la estabilidad en sistemas estructurales por momento flector.....	114
BIBLIOGRAFIA .....	119

## **Introducciòn**

La ingeniería y arquitectura se enmarcan en las denominadas ciencias duras por sus componentes cognitivos teóricos y prácticos. Tanto la ingeniería como la arquitectura abordan espacios territoriales, en la cual, los sistemas desarrollados son edificios o estructuras para el servicio, ordenamiento o finalidad de un objetivo que beneficie a la colectividad y solucione una problemática ambiental-comunitaria.

Los sistemas tipo edificaciones, hidráulicos, geotécnico, ambiental u otros, se caracterizan por demandar de componentes estructurales como, vigas, columnas, canal, coeficiente de flujo o forma, disipadores, vertederos, entre otros, cuyo comportamiento mecánico-estructural dependerá de los escenarios de trabajabilidad a que estará expuesta la estructura. En este contexto, la factibilidad, viabilidad y el potencial comportamiento de la estructura proyectada, dependerá de evaluaciones que van desde los modelos teórico hasta modelos experimentales enfocados en modelos físicos, sean de escala igual a la estructura proyectada o prototipos a escala reducida. Así mismo, el análisis del prototipo puede estar orientado a infraestructura construida, en la cual se fijen modificaciones o soluciones a lo existente.

Los edificios y sus sistemas estructurales tienen que responder a la factibilidad, viabilidad y servicio a la colectividad, por lo cual, el proyecto diseñado o construido debe ser optimizado. Lograr esta optimización considerando directamente el prototipo resulta complejo tanto técnico como económico, planteando el trabajo el proceso de desarrollar modelos físicos estructurales para abordar el problema de idoneidad de los edificios proyectados, en el enfoque de la teoría estructural.

La teoría estructural que sustenta el proyecto del edificio se manejó e innovó para calcular indicadores o números de estabilidad por carga-momento y deformación, que fundamentaron los subindicadores de similitud estructural para obtener los modelos de semejanza y escalas entre modelo y prototipo. Estos subindicadores, constituyeron el marco teórico para la creación y desarrollo de modelos físicos, de manera sostenible, reducida inversión y facilidades técnicas y operativas.

La investigación abordó el desarrollo de conocimiento, habilidades, destrezas e innovación para la modelización física, construcción y operación de sistemas estructurales para edificaciones, constituyendo a través de los estudios de casos un aporte a los procesos formativos, teórico-experimental-experiencial para la ingeniería estructural relacionados con la modelación física de sistemas estructurales a escala reducida.

## **CAPITULO 1**

### **FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

#### **Visión retrospectiva, laboratorio-proceso cognitivo**

La modelación física de sistemas de ingeniería civil se ha sesgado a los componentes fundamentalmente hidráulicos, por ello existen trabajos y bibliografía muy orientado con este tipo de modelización, lo cual se evidencia de bibliografía y experiencias en este tipo de estructuras. Sin embargo, para los sistemas estructurales de edificaciones es poco o casi nada lo que se ha desarrollado determinando que el avance en las ciencias de la modelación física para estructuras es relativamente pobre y restándole importancia a la poderosa ciencia que lo constituye la modelación física.

En este marco, retrospectiva y actual, los fenómenos presentes en el comportamiento estructural de edificios que son componentes básicos de las ciencias de la Arquitectura e Ingeniería no se han desarrollado para fortalecer el campo preprofesional y profesional de estas ciencias para el área técnica.

Generalmente, cuando hay conflictos en los sistemas estructurales y se plantea la necesidad de análisis del prototipo de forma experimental, los profesionales y las Escuelas/Facultades/Universidades en relación con las ciencias técnicas, se enfocan en analizar un prototipo 1:1, lo cual sesga resultados y posibilidades de estudiar el comportamiento estructural en varadas alternativas y generan costos que son semejantes al prototipo, es decir,

esta modelación no representa una modelación física sino, experimentar con un espécimen igual al elemento de la realidad.

Los Centros formativos de Educación Superior en ciencias duras, se han limitado al estudio de las estructuras enfocándose en la experimentación considerando las características mecánicas de materiales y no, de su comportamiento mecánico integral como parte de una edificación y en diferentes escenarios de trabajo de la estructura, lo cual se evidencia por disponer de laboratorios para ensayos de materiales, pero no, laboratorios que determinen el comportamiento del edificio antes los estados de esfuerzos que pueden presentarse en la vida del edificio.

Otro aspecto que genera conflictos en la modelación de sistemas estructurales está relacionado con la falta de laboratorios para la experimentación y los procesos cognitivos de pregrado y profesional que impacta en los servicios que puedan brindarse, determinando un limitado alcance en el desarrollo de sistemas estructurales, en base a la optimización técnica y la viabilidad financiera (<sup>1</sup>Calero, M. Calero, L. 2021).

Algunas aportaciones que se han realizado al campo de la modelación física se han dirigido hacia la física básica e hidráulica que se describen de acuerdo con los escenarios y estrategias didácticas-profesional para estas ciencias (<sup>2</sup>Calero, M. Calero, L. 2021).

### **Enseñanza-aprendizaje técnica-práctica experimental**

Los estudios referentes abordan la realizado y relacionada con laboratorios para la enseñanza-aprendizaje en el área

de las ciencias técnicas-prácticas. Se describe en base a diferentes autores el aporte y postura de la investigación a través del desarrollo del marco teórico.

Aprender y enseñar ciencias: del laboratorio al aula y viceversa  
Es un documento colaborativo a la investigación presentado por Golombek, D. (2008) en IV Foro Latinoamericano de Educación (Aprender y enseñar ciencias, desafíos y oportunidades).

Golombek trata sobre dos aspectos fundamentales académicos relacionados con la enseñanza de ciencias y la investigación científica, indicando que haciendo ciencias es la manera de aprender ciencias y que enseñar ciencias demanda la aplicación de un procedimiento, mientras que la investigación requiere de novedad u originalidad.

Señala el documento que los experimentos no pueden marginarse, pero, debe existir un balance y direccionamiento de la actividad experimental con actividades didácticas no-experimentales en base de que esté claro el argumento y objetivos para adquirir el conocimiento científico; conocimiento, que no puede negarse por la intervención de indagación o formulación de preguntas o el diseño de la experiencia por el diseño y/o construcción de un modelo.

Se describe que el proceso de observar y experimentar para avanzar en el conocimiento no demanda complejas operaciones ni repetir aspectos metodológicos sino, abordar el aspecto empírico y experimentarse con lo que nos rodea y esté disponible en el campo de aplicación respectiva, pero, basados en que enseñar y aprender ciencias científicas requiere del marco teórico como del marco a través del experimento

Se concluye en el trabajo la correspondencia y manejo integrado de la triada entre ciencia-aula-experimento para la

enseñanza-aprendizaje del desarrollo científico y formar un Sujeto apto en los ámbitos investigativo-científico-cognitivo.

Laboratorio didáctico de ciencias: Caminos de Investigación Barrilla Elisabeth, Laburú Carlos et al. (2010) presentan el trabajo, Laboratorio didáctico de ciencias: Caminos de Investigación. El documento hace referencia a los enfoques existente para la función que debe cumplir el laboratorio didáctico de ciencias en el ámbito académico como el aprendizaje Señala que en los cincuenta trabajos analizados la tendencia antes de la década de los 90 es el enfoque de desarrollo metodológico, siguiendo un proceso guiado donde la forma y resultados son las bases para el aprendizaje, posteriormente en la década de los 90 se enfoca al desarrollo de forma más productiva del aprendizaje y orientado hacia la investigación.

Señalan los autores que el aporte de los laboratorios didáctico a la enseñanza de las ciencias siempre será objeto de discusión por la forma como se conceptualiza el aprendizaje, el proceso de construcción del conocimiento y las potencialidades del laboratorio como un espacio físico equipado para adquirir el conocimiento.

En base a la revisión de los documentos, los autores señalan que el análisis de la producción de trabajos centrados en el escenario teórico de la función del laboratorio y la producción fundamentado en las tendencias del razonamiento utilizados por los estudiantes para resolver problemas orientados específicamente a los trabajos prácticos tienen desfase que impactan en el estudiante negativamente.

### **Docentes en la enseñanza de la física**

Crespo, E. Álvarez, T. et. al. (2008), de la Universidad del Pinar del Río, Cuba, son los autores del artículo científico denominado, Docentes en la enseñanza de la física.

El trabajo en su segunda versión aborda la temática de las prácticas del laboratorio y la relación enseñanza-aprendizaje de las ciencias experimentales a fin de mejorar el proceso formativo del estudiante, fundamentándose en la deficiencia de documentos especializados que trate el tema desde la metodología y epistemología de la práctica-enseñanza de la ciencia.

Los autores indican que la ciencia moderna basa el desarrollo de la ciencia en la observación y experimentación, siendo la práctica de Laboratorio un proceso de enseñanza-aprendizaje en la cual el docente es el facilitador temporal y espacial para desarrollar el conocimiento aprendido; sin embargo, la actuación del profesor debe ser reflexiva, suficiente de manera que los objetivos de la práctica de Laboratorio transforme la práctica en un valor cognitivo formativo que beneficie al que aprende.

Sostiene el trabajo que la Teoría Constructivista del Conocimiento queda representada actualmente por la Escuela Nueva, Escuela Cognitiva y Escuela Tecnológica Educativa, representando la base de la práctica del laboratorio que aproxima el Sujeto a la realidad para interpretarla, resuelva problemas, tome decisiones y sobre todo sea el máximo responsable de su proceso formativo.

Uno de los aspectos que aborda el artículo es relacionado con la función de una práctica de laboratorios en el proceso formativo del estudiante señala que debe ser analizado desde la visión académica-laboral-investigativa relacionada con procesos de enseñanza aprendizaje, instructiva y educativa.

Concluye el trabajo que, enseñar y aprender ciencias y la práctica en laboratorios debe fundamentarse en el constructivismo cognitivo respondiendo en los usos del laboratorio y propiciando la calidad académica de los niveles de educación superior.

Práctica de laboratorio en ingeniería. Una estrategia efectiva de aprendizaje

Montes, W. (2004), señala que la práctica de laboratorio en ingeniería que es equivalente al desarrollo de talleres en otras ciencias representa una estrategia de aprendizaje con enfoque constructivista de aprendizaje significativo-alternativo presentando un experimento desarrollado en el Programa de Ingeniería electrónica en la Universidad.

El autor considera a la práctica de laboratorio una estrategia grupal metodológica que permite logros bajo el principio de “aprender haciendo” que tiene un nivel superior al de solo aprender conceptos sino, permite integrar e interactuar dinámicamente la teoría y práctica basado en dos premisas que son: enseñar a pensar y aprender haciendo.

Señala Montes que, por mucho tiempo ha sido la perspectiva conductista la base del aprendizaje del estudiante y que es necesario modificar este método de enseñanza por una estrategia de aprendizaje basado al constructivismo con aprendizaje significativo, caracterizado porque el estudiante es el centro del todo y resuelva problemas reales aprendiendo a pensar.

Otro aspecto que enfoca es el rol del docente en la práctica de laboratorio, resumiéndolo en que el profesor debe ser un líder no solo de saber lo que enseña sino tener claro “como y para que” lo enseña, concluyendo que la práctica de laboratorio es un aprendizaje grupal responsable compartido y cooperativo que continuamente provoque el mejoramiento superando sus

límites cognitivos y motivado por el interés de mejorar su conocimiento que es parte de su proceso formativo.

El mejoramiento depende del compromiso entre los logros esperados y la infraestructura y recursos que tenga el programa de práctica de laboratorio incidiendo en prácticas de mayor o menor complejidad a desarrollarse y la estrategia de aprendizaje a implementarse.

### **Desarrollo de equipos/módulos para el área técnica-experimental**

Un segundo escenario analizado está relacionado con módulos, modelos o equipos desarrollados y experimentados por diversos autores para el proceso formativo del estudiante de las ciencias duras y su crítica o discusión para la investigación y fundamentar los modelos físicos desarrollados, en este marco los aportes representativos para aportar al documento, se detallan a continuación. Impacto de un compendio de experimentos físicos escolares para los estudiantes de la Escuela Militar "Camilo Cienfuegos" de Ciego de Ávila, realizado por Landa, R. y Rodríguez, E. (2013),

El trabajo se orienta desde la visión pedagógica incluyendo la evaluación para determinar el impacto cognitivo en el estudiante. Desarrolla tres equipos orientados al aprovechamiento por la transformación de energía, evidenciando la energía potencial, cinética y mecánica y se enmarca en la enseñanza experimental de la Física a nivel medio y fundamentado en que la Física es una ciencia teórica-experimental.

Los equipos se caracterizan por ser de bajo costo, utilizar materiales como papel, cartón, lata para bebida gaseosa, pequeños tubos metálicos-plásticos-CD, entre otros, pero, todos de uso común para otras funciones. Estos equipos

tienden a solucionar una problemática que es, falta de experimentos para la enseñanza-aprendizaje de la física, debido a los costos de equipos para este tipo de estrategia didáctica. Diseño y construcción de equipo sencillo para la enseñanza de la física. La implementación de prototipos para la enseñanza de las Ciencias Física como enfoque metodológico es abordada por Holguín, C. (2011). El artículo aborda la descripción de la metodología para desarrollar prototipos relacionado con la experimentación incluyendo los laboratorios para la ejecución de los experimentos

Señala que en el mercado existen diferentes empresas especializadas dedicadas a comercializar equipamiento y laboratorios a lo cual recurren muchas instituciones educativas para la enseñanza de la Física.

Indica el documento que la humanidad no cuestiona la importancia de la experimentación, pero, cuando no se dispone de los equipos, sostiene que debe diseñarse y construirse equipos sencillos para cumplir las mismas funciones, ya que son los equipos y laboratorios especialmente los de servicios a Ciencias de tipo Técnico los sitios de importancia estructural para relacionar la teoría con la práctica en el aprendizaje.

Resulta evidente que el conflicto por no disponer de equipos y laboratorios idóneos para la formación del estudiante conlleva a que el docente no realice prácticas experimentales en laboratorios y simplemente asuma como tarea realizar la tarea práctica mediante la resolución de problemas. Esta actitud, implica que el docente no asuma la solución de una realidad y desarrolle creativamente estrategias didácticas como la elaboración de equipos que cubran la deficiencia pedagógica y consolide el proceso formativo.

El desarrollo de un equipo o laboratorio debe ser producto de una clara conciencia de lo que se quiere, se tiene y se puede hacer y en el cual intervienen todos los actores de la cátedra, de forma que no sea el resultado de una práctica común o la oportunidad de obtener una buena calificación en este marco, debe seguirse metodológicamente una serie de procesos a fin de cumplir con los objetivos del curso.

El análisis enfatiza que la práctica no debe situarse en el marco del cumplimiento académico sino, debe ser concienciado por el estudiante y participe del proceso de desarrollo del equipo. El estudiante debe reconocer la importancia de analizar el fenómeno de forma experimental y elaborar su propio constructo que consolide el aprendizaje en base del método científico y pasos que requiere su desarrollo cognitivo.

Para cumplir con los objetivos formativos, el equipo desarrollado debe validarse a través de experimentos que determine información cuantitativa y cualitativa que evalúen el comportamiento y manejo del prototipo que factibilice la posibilidad de reforzar, mejorar o modificar este equipo para su mejor funcionamiento y consolidación de los logros planificados.

Alcances y perspectivas del diseño y construcción de prototipos didácticos realizados por estudiantes de ingeniería para su uso en el laboratorio de ciencias experimentales El análisis del marco teórico aborda el trabajo de Cervantes, M. et al. (2009). El prototipo se desarrolla para la carrera de ingeniería electrónica y para el laboratorio de ciencias básicas para Química y Física, se diseña, elabora y ensaya un prototipo para estudiar el fenómeno físico que interviene en la caída libre de los cuerpos.

El documento destaca la necesidad de la experimentación como una representatividad para estudiar los fenómenos

físicos de las ciencias naturales que motivará e incentivará aptitudes en el estudiante que conlleven a obtener logros en base de recursos experimentales. Sin embargo, indica que muchas veces la experimentación puede ser realizada en la misma aula donde desarrolla las teorías conceptuales, pero, que no debe confundirse lo que se realiza en el aula como una sustitución de la experimentación que debe realizarse en el laboratorio.

Algunas veces las diferentes variables técnicas, humanas y económicas involucradas no pueden ser satisfechas para desarrollar equipos y laboratorios para las ciencias naturales, haciendo que el docente asuma una actitud de preocupación pero, sin realizar ninguna gestión didáctica y estratégica que permita por lo menos mitigar el proceso formativo del estudiante por la falta de equipos y laboratorios para la realización de experimentos que evidencien el comportamiento de los fenómenos de las ciencias naturales.

El artículo describe que el proceso experimental no implica finalizarlo solamente con el diseño y construcción del equipo sino, involucra realizar una serie de etapas posteriores que permita validez y sostener el proceso implementado, en este contexto, deben realizarse actividades relacionadas con la elaboración de guías, confrontar mediciones experimentales y modelos y aplicaciones de validaciones a través de docentes conocedores de la temática y sobre todo de interpretar el impacto didáctico del equipo implementado.

El trabajo analizado señala como problemática la deficiencia en el proceso formativo que debe caracterizar al estudiante de ingeniería y que se debe a la falta de experimentos en las ciencias naturales por no disponer de equipamientos adecuados ya sea por no tenerlos, no están operativos o por que resultan caros para la Institución. En este contexto, desarrollar

equipos y laboratorios son componentes de un proceso que necesita ser implementado pero basado en la disponibilidad de recursos que se tenga en el entorno inmediato.

Los equipos, metodológicamente debe responder a tres fases. La primera está relacionada con el diseño y construcción del prototipo basada en la participación y responsabilidad de los estudiantes y el docente, así como, la selección de materiales y forma constructiva de fácil acceso y bajos costos, en esta etapa se seleccionan los constructos que debe alcanzar el estudiante y que permiten la selección del prototipo. La segunda fase, implica validar el modelo a través de elaborar una guía y la opinión de expertos. La tercera etapa está determinada por poner en marcha el equipo.

Todo el proceso debe estar determinado por actividades relacionadas con las tres fases antes enunciadas y producto del análisis cualitativo y cuantitativo del equipo didáctico y su evaluación a fin de posibilitar la implementación de modificaciones o mejoras que permitan cumplir de forma idónea con los objetivos propuestos y en equipo que cumpla con los productos formativos que se han seleccionado y sobre todo sea solo inicio de un proceso de equipamiento que debe continuarse para disponer de equipamiento para el laboratorio orientado a las ciencias naturales.

El trabajo se enmarca en un proceso colaborativo para la enseñanza-aprendizaje de los fenómenos físicos a través de experimentos en laboratorios con estrategias didácticas de bajo costo, aportando, por tanto, en los aspectos pedagógicos y pertinente a la experimentación de las ciencias naturales, donde el estudiante desarrolle destrezas y habilidades que le permitan consolidar su nivel de aprendizaje.

**Diseño y construcción de un equipo experimental  
didáctico de estructuras modelo tipo armadura y  
pórtico para el laboratorio de Resistencia de  
Materiales de la FIME.**

Garcés, R. Izurieta, P. (2007), diseña y construye para el laboratorio de la FIME un equipo didáctico de modelo de estructuras. El trabajo se fundamenta en las deficiencias del laboratorio de resistencia de materiales de la Facultad, donde existen equipos tipo armadura y pórticos, pero, que solo permiten observar características geométricas y formas tipos y luego mediante cálculo en gabinete estimar valores para cargas supuestas; es decir, los equipos no disponen de aparatos para medir los esfuerzos que se desarrollan debido a cargas activas durante un experimento.

El equipo se caracteriza por tener como fundamento que todos los materiales e instrumentos se encuentran en el mercado local. Los materiales de la estructura modelo está principalmente compuesta por aluminio para la estructura metálica y bastidor tipo pórtico son tubos de acero, así mismo, mediante galgas extensiométricas que son sensores digitales mide los esfuerzos que se producen en la estructura. La estructura en el bastidor tiene como dimensiones netas de 1,35 metros de ancho por 1,84 metros de altura mientras que la cercha metálica es de 60 cms. x 60 cms.

El modelo del prototipo es para prácticas experimentales y utiliza sensores tipo OMEGA DMD-22, 10 CHANNEL que permiten medir deformaciones unitarias y que son distribuidas por casas especializadas en equipo electrónicos para laboratorios; además, se utilizó un software especializado como el RISE 2 para comparar los resultados experimentales

del laboratorio con los obtenidos aplicando los modelos teóricos de cálculo.

El proyecto no solo desarrolla físicamente el equipo sino, que evalúa su impacto económico financiero en un horizonte de planificación. Los costos estimados fueron de \$3596 pero evaluado el proyecto genera un valor actual neto VAN de \$3629 proyectado a 10 años, mientras que se estima un TIR del 35% para un período de 2 años con lo cual justifican el proyecto.

El equipo fue probado para varios sistemas de cargas y comprobados con el programa computacional determinándose, que la diferencia entre los valores medidos durante la práctica experimental y los determinados en gabinete mediante el programa computacional no excede el 10% lo cual permite concluir la aceptabilidad y validez del equipo desarrollado.

### **Aspectos técnicos-financiero**

Un tercer escenario de análisis que apoya la investigación son los referentes bibliográficos relacionados con temas que tratan: escalas para modelación física, modelo matemático-estática para estructuras e incluye materiales y equipos; así como, la evaluación de proyectos con énfasis en la evaluación financiera. Los referentes bibliográficos se abordaron por las temáticas que demanda el conocimiento respecto a modelos y evaluación.

### **Metodología para realizar modelos de concreto reforzado a escala reducida.**

Vides, D. (2006), aborda la problemática de la modelación de elementos de concreto reforzado a escala, señala que,

generalmente los modelos de prototipos de estructuras responden a una escala 1:1 e indica ventajas y desventajas de estos modelos. El trabajo elabora y ensaya el modelo en base a escala reducida para observar los esfuerzos que se desarrollan por las cargas actuantes, incluyendo el efecto de carga crítica para producir la falla parcial o total de la estructura

Entre las ventajas señaladas por la reducción de escala, el Autor indica que los costos económicos, tiempos y condiciones mecánicas-operativas del modelo son fáciles de manejar en el modelo a escala reducida. Además, describe de acuerdo con el parámetro mecánico de interés a estimarse la deducción de las escalas respectivas.

Sin embargo, debe señalarse que el trabajo no relaciona las escalas de semejanza entre modelo y prototipo de forma cuantitativa que permita describir los esfuerzos en el prototipo producto de la experimentación.

Mecánica Vectorial para Ingenieros, parte I. Beer, P. y Johnston, R. (2013), el texto analiza la mecánica de equilibrio o estática de los cuerpos rígidos fundamentado en el desarrollo teórico y problemas. Se aborda desde la física-mecánica de la partícula hasta los cuerpos en los cuales se desarrollan esfuerzos en cerchas y procesos de trabajo, energía, otros.

El texto trata también de los elementos como apoyos que conforman estructuras tipo vigas y las ecuaciones que gobiernan la estática, que son componentes pertinentes al estudio desarrollado. El documento aborda parte de la teoría estructural y constituyo un referente para el comportamiento mecánico del prototipo.

Otros textos analizados con la teoría de las estructuras en prototipo son, Análisis elemental de estructuras Norris, Ch. Wilbur, J. (2012), Análisis estructural McCorman, J. (2013) y Mecánica de materiales Hibbeler, R. (2011). Los libros

consultados están relacionados con el análisis de estructuras y utilizados comúnmente en las carreras de Arquitectura e Ingeniería Civil para el área de la Ingeniería estructural y específicamente para el análisis estructural. Los textos responden al análisis de causas y efectos por cargas, momentos y deformaciones que estiman el equilibrio y estabilidad para estructuras estática o hiperestática determinadas, incluyendo los principales materiales utilizados en las edificaciones como el hormigón y el acero.

El enfoque principal de esta bibliografía es analizar los parámetros básicos para el diseño estructural que son fuerzas, momentos y deformaciones resultantes por esfuerzos actuantes. Así mismo, se describen y plantean las ecuaciones que gobiernan la estabilidad de las estructuras prototipos analizados para elementos horizontales y verticales como son, vigas y marcos; pero, sin acometer el manejo de la resolución con modelos físicos de prototipos a escala reducida.

Los textos bibliográficos desarrollan el análisis teórico de la ingeniería del análisis de estructuras y plantean problemas, pero, relacionados con los diferentes elementos que componen los sistemas estructurales para edificaciones, pero, siempre en el marco del prototipo; sin embargo, el desarrollo teórico es pertinente para fundamentar aspectos teóricos de los prototipos y validar los modelos físicos desarrollados.

Para el análisis financiero, indicadores de rentabilidad o factibilidad se consideraron textos bibliográficos como, Proyectos. Formulación, Evaluación y Control, Arboleda, V. (2009), Formulación y Evaluación de Proyectos, Córdoba, P. (2006), Evaluación de Proyectos para Ingenieros, Rojas, L. (2008) y Matemáticas Financieras, Ayres, F. (1997),

Los textos de Arboleda y Córdoba describen contenidos relacionados con cuatro temas. El primero trata de las

generalidades que orientan los aspectos básicos para proyectar los proyectos, el segundo tema es la formulación de proyectos que va desde necesidades, mercados e ingeniería hasta la programación, costos e inversión, el tercer tema relacionado con la evaluación de proyectos que describe las evaluaciones financiera-social-ambiental incluyendo los indicadores de factibilidad y el cuarto tema es el tema control de proyectos.

El texto presentado por Rojas aborda solamente de forma general y como generalidades los temas de antecedentes, formulación y control del proyecto y se enfoca específicamente al componente de evaluación con todos los subtemas que definen la evaluación.

El aporte principal a la investigación por las tres bibliografías revisadas analizada y mencionadas está relacionado con el tercer tema que describe metodologías y modelos para evaluar proyectos y estimar indicadores de rentabilidad y factibilidad para la modelación desarrollada.

La cuarta referencia bibliográfica cuyo autor es Ayres, es un texto que trata específicamente de las matemáticas financieras, analizando desde los principios básicos de las matemáticas financieras hasta las demostraciones y aplicaciones de las ecuaciones aplicadas a problemas financieros con énfasis en el indicador de valor presente y valor futuro. Por tanto, los indicadores descritos en el texto como VP o VF representan el marco analizado por la investigación en relación con la rentabilidad y factibilidad estimada, que son abordados por Calero, M. Calero, L. (2018).

El análisis de los tres escenarios de aporte al marco referencial del conocimiento concluye que los aportes realmente orientados a la modelación física de sistemas estructurales prototipos, son relativamente pocos o inexistentes y ni siquiera desde la visión didáctica o formativa y profesional.

El análisis retrospectivo señala un conflicto en la teoría de las estructuras en relación con la optimización, por lo cual, la investigación desarrolla un proceso cognitivo y metodológico que impacte en la academia y ámbito de las estructuras (FCI-001-2019. 2022).

### **Los sistemas estructurales en los edificios**

Los edificios son infraestructura de servicio a la comunidad, presentando aspectos arquitectónicos y estructural para un ambiente seguro, estable y agradable, sin embargo, esta combinación debe fundamentarse en la optimización de factibilidad técnica y viabilidad financiera.

Entre los principales componentes estructurales de los edificios se tienen cimentación, columnas, vigas, losas, entre otros, todos los cuales se interrelacionan para cumplir con los fines que demanda el edificio y normativas.

La relación y comportamiento de los diferentes componentes estructurales deben situarse en el marco de la integralidad y responder a dimensionamientos o diseños que deben ser calculados y manejados de manera idóneas para tener elementos que respondan al comportamiento en conjunto de los diferentes elementos relacionados.

Además, los escenarios de exposición de una edificación, demanda respuesta a casos temporales de situaciones que, si bien deben causar cambios e impactos en el edificio, deben tener un comportamiento que haga posible su estabilidad.

La necesidad de situaciones conflictivas que pueden presentarse en la vida útil del edificio requiere de analizar diferentes alternativas no solo, de edificios sino, de sistemas constructivos y exposición a diferentes tipos de esfuerzos y

situaciones, que solamente pueden ser estudiados en modelos físicos, sin afectar el prototipo y fundamentado en técnicas y costos que serán rentables por los beneficios de optimizar el prototipo en base al modelo físico desarrollado.

### **Tipos de modelos**

Con el énfasis en las edificaciones, un modelo físico es una reproducción del edificio o parte de este, a diferentes escalas para estudiar el comportamiento mecánico-físico del prototipo en alguna área de interés. Según el Instituto Americano del Concreto (ACI-2015), un modelo físico estructural es “..... la representación de una estructura o de una porción de la estructura comúnmente construida a escala reducida .....”.

La investigación y experimentación en la ingeniería estructural, se caracteriza porque el modelo es igual geoméricamente al prototipo, exceptuando algunos casos para la modelación sísmica o puentes. Así mismo, la experimentación y observación de fenómenos estructurales están relacionadas con equipos generalmente adquiridos a empresas proveedoras de laboratorios, por lo cual, están limitados como recursos didácticos y no son considerados como modelo de prototipo a escala reducida.

En el marco de la ingeniería estructural, se considera que los modelos físicos desarrollados son reproducción de prototipos a escala reducida de una estructura que, relacionándolos con materiales, cargas, esfuerzos, deformaciones, etc., determinan a través de la experimentación la predicción del comportamiento de la estructura real o prototipo.

De manera general los modelos estructurales por sus características, utilidad y tipo de resultado pueden ser:

- Modelos físicos
- Modelos analógicos

- Modelos teóricos o matemáticos

Los modelos físicos por su caracterización se clasifican como:

- Por su semejanza geométrica
  - Modelos geoméricamente semejantes: son aquellos que geoméricamente responden a una sola relación de escala en la geometría del modelo-prototipo,  $\lambda L: 1:10$  o  $\lambda L: 1:50$ . Siendo  $\lambda$  la relación de escala del fenómeno.
  - Modelos distorsionados o con escala geométrica diferentes: son modelos que se desarrollan con diferentes escalas para las escalas de longitud involucradas. Las escalas diferentes se justifican debido a las diferencias entre longitud, ancho y profundidad y que es el caso de una columna o de una losa,  $\lambda Ly: 1:10$   $\lambda Lx: 1:50$ .
- Modelos por su contorno fijo
  - Modelos indeformables, son aquellos que en su contorno se estima que los componentes externos actuantes, no generan afectaciones en la deformación del material y es característico para modelar reacciones o esfuerzos de respuesta de la estructura ante cargas externas
  - Modelos deformables, se caracterizan por considerar el comportamiento mecánico de la materia debido a sollicitaciones externas, que generan deformaciones en el componente, es el caso de losas expuestas a cargas vivas o muertas.

Los modelos físicos por su función en la experimentación de la ingeniería estructural pueden clasificarse como:

- Modelos elásticos. Se construyen con material elástico y homogéneo, caracterizándose por que el esfuerzo es directamente proporcional a deformación unitaria y siguen la Ley de Hooke.
- Modelos tipo indirecto. Es semejante al modelo elástico y utilizado para analizar diagramas de influencia tanto de reacciones como de esfuerzos internos.
- Modelos tipo directo. Se caracterizan por la semejanza geométrica. Las cargas entre modelo y prototipo son semejantes y calculadas mediante factores de escala, por lo cual, las respuestas del modelo pueden ser transmitidas al comportamiento que tendrá el prototipo.
- Modelos de resistencia última. Son modelos directos y desarrollados con el mismo material del prototipo, utilizado para predecir el comportamiento de la estructura hasta el colapso.
- Modelos para estudio de vientos. Se utilizan para evaluar el impacto del viento en la estructura, midiendo esfuerzos, deformaciones y la interacción dinámica viento-estructura.
- Modelos dinámicos. Sirven para analizar el efecto de vibración producido en las estructuras por cargas dinámicas como sismos. Generalmente se experimentan en mesas vibratorias, para simular el efecto de frecuencia de la onda o impacto.
- Modelos analógicos

Son modelos que se caracterizan por analizar el comportamiento del fenómeno, en base a analogías con otros sistemas como son los campos eléctricos.

- Modelos teóricos o matemáticos

Son modelos que caracterizan el fenómeno de estudio, mediante la utilización de sistemas matemáticos que discretizan el comportamiento del fenómeno y emplean modelos, formulas o procesos analíticos-matemáticos para solucionar la problemática.

Estos modelos son potentes para resolver conflictos, pero de manera específica requieren de información experimental para calibrar y validar variables pertinentes al comportamiento mecánico analizado.

Específicamente las variedades de modelos disponibles se limitan por las inversiones a realizarse y la operatividad, funcionabilidad y variedad de escenarios analizados, sin embargo, los modelos físicos presentan la mejor opción técnica-económica para optimizar los sistemas estructurales en los edificios.

## **La modelación física de prototipos**

### **Importancia**

Los modelos físicos para la ingeniería civil y la arquitectura se han orientado a las ciencias de la hidráulica y a las estructuras. La modelización se enmarca en las leyes de semejanza y los parámetros  $\pi$  o teoremas de Buckingham, sin embargo, el comportamiento del prototipo está relacionado con el efecto agua y el efecto cargas en sólidos, lo cual

determina variables que pueden ser semejantes, pero, que pueden ser modeladas con más o menos complejidad.

La modelación física de sistemas estructurales son uno de los componentes menos estudiados en la teoría estructural, aunque, su importancia es fundamental no solamente por la factibilidad técnica sino, por la viabilidad económica, para cuasi optimizar estos sistemas y por ende el proyecto arquitectónico o edificio construidos.

El proceso para optimizar los sistemas estructurales desde la visión ingeniería-arquitectura, se fundamentan en la comprensión y conceptualización del comportamiento físico-mecánico de los componentes estructurales, lo cual se sesga o se minimiza cuando se acuden a fórmulas de la teoría de las estructuras que fijan un dimensionamiento y que está basado en normas o especificaciones que si bien, hay que cumplirlas no es menos cierto que no existen un seguridad de confianza con procesos de cargas o escenarios llevados a límites y que pueden ser decisorios para tomar las mejores decisiones para el desarrollo del proyecto.

Es conocido que uno de los escenarios más comunes para las edificaciones, representa situaciones de modificar áreas construidas o cambios en el servicio de la estructura como residencial a comercial, ya que esto conlleva a incrementar la rentabilidad del inversionista. Generalmente en estos casos el análisis se realiza con el prototipo o edificio, además, el estado del conocimiento actual de las estructuras propondrá metodológicamente se realicen ensayos no-destructivos que permitan

determinar resistencia y deformaciones del prototipo, lo cual genera costos económicos y asumir condiciones quedando siempre un escenario de inseguridad de conocer el real comportamiento de la estructura y las características límites o críticas ante estas variaciones de carga.

Si, el análisis se realiza con modelos físicos se posibilita calibrar en el modelo las condiciones mecánicas-físicas actuales del edificio y modificar las cargas de acuerdo a lo proyectado y, estimar en el modelo el comportamiento de la estructura y mediciones de sus parámetros como carga en columnas o deformaciones; este proceso o metodología evidencia las ventajas de un análisis con modelos físicos y que permitirá estimar situaciones críticas, lo cual no solamente validara la teoría estructural sino, permitirá conocer dicho comportamiento y seguridad en el nivel de estabilidad de la edificación y, principalmente sin destrucción del prototipo y con pequeñas inversiones.

### **Limitaciones para el desarrollo**

Entre las principales limitaciones que tiene la modelación física de sistemas estructurales deben mencionarse:

1. Limitada capacidad o inexistencias de laboratorios para la experimentación estructural
2. La disponibilidad física del laboratorio o área para el desarrollo del modelo
3. La disponibilidad de equipos de medición para el prototipo analizado

4. Deficiencia en el desarrollo del estado conocimiento de la teoría estructural en relación con modelos físicos para la investigación y experimentación
5. Deficiencia de niveles cognitivos para la investigación y experimentación de tipo experiencial
6. Deficiente currículos académicos en la teoría estructural experimental e investigativa
7. Potenciales inversiones y estrategias para la recuperación de las inversiones
8. Falta de concienciación en la venta de servicios y la potencial rentabilidad por la creación de departamento/empresas relacionadas con el desarrollo y optimización de sistemas estructurales para edificaciones.

### **Semejanza estructural y numero de estabilidad**

La teoría hidráulica y la teoría estructural indican que dos sistemas son semejantes siempre que se cumplan con tener semejanza geométrica, cinemática y dinámica, lo cual, es el principio para analizar modelos físicos estructurales que relacionen y validen el comportamiento físico-mecánico entre prototipo y modelo.

La semejanza se desarrolló en base a dos indicadores adimensionales que caracterizan la teoría estructural de cargas, momentos y deformación, denominados como número de estabilidad carga-momento  $#E_{C-M}$  y numero de estabilidad por deformación  $#E_{MD}$ . Por tanto, para que exista semejanza debe cumplirse que cada indicador en modelo y prototipo deben ser iguales. Adicionalmente se desarrollaron tres subindicadores que relacionaron la modelación física con el prototipo.

El primer indicador o número adimensional denominado como, # estabilidad carga-momento, relaciona las fuerzas actuantes con los momentos resistentes por longitud y generados por las reacciones. El indicador cuantifica proporcionalmente el aporte de la intensidad de la reacción respecto a la estabilidad de la estructura y la transmisión de fuerza a los apoyos:

$$\begin{aligned} \#E_{C-M} &= \text{numero estabilidad carga - momento} \\ &= \frac{\sum F_i}{\frac{\sum M_i}{L_T}} \end{aligned}$$

Siendo:  $F_i$ : Fuerzas actuantes

$M_i$ : Momentos resistentes por fuerzas resistentes

$L_T$ : Longitud total del elemento

El segundo indicador adimensional de estabilidad por deformación relaciona la deformación actuante con la deformación máxima permisible o normada y se denominó número máximo de estabilidad por deformación:

$$\begin{aligned} \# E_{MD} &= \text{numero estabilidad deformacion maxima} \\ &= \frac{(\Delta Y)_{MA}}{(\Delta Y)_{MN}} \end{aligned}$$

siendo:

#  $E_{MD}$ : Indicador de estabilidad por deformacion

$\Delta Y_{MA}$ : Deformacion maxima actuante

$\Delta Y_{MN}$ : Deformacion maxima normado o admisible

Sí: #  $E_{MD} \leq 1 \rightarrow \rightarrow$

estructura estable por deformacion

Sí:  $\# E_{MD} > 1 \rightarrow$

$\rightarrow$  estructura no

– estable por deformación

La deformación actuante  $E_{MA}$  relaciona la deformación de interés con la función de desplazamiento y denominada como indicador de estabilidad por deformación actuante:

$\# E_{DA}$

= número de estabilidad por deformación actuante

$$= \left( \frac{\Delta Y / (L_T)}{\varphi \left( \frac{F, L}{I_S, E} \right)} \right)$$

Siendo:  $\Delta Y$ : deformación del elemento

$L_T$ : longitud total de la estructura

$\varphi \left( \frac{F, L}{I_S, E} \right)$ : función deformación

$I_S$ : indicador característico de sección de acuerdo con el tipo de deformación (área o inercia)

$L$ : longitud característica de la deformación

$E$ : módulo de elasticidad del material

La teoría estructural distingue deformación por esfuerzos de flexión y deformación por esfuerzo axial, por tanto, de forma específica serán:

Deformación por esfuerzo de flexión:

El indicador de estabilidad es:

$\# E_{DF} =$  número de estabilidad por deformación por flexión

$$= \frac{\Delta Y_F}{\frac{\varphi(aX^n + bX^{n-1} + cX^{n-2} + dX^{n-3} + \dots + z)}{E * I}}$$

Siendo:  $\Delta Y_F$ : deformación por flexión

$\varphi(X)$ : función polinómica del momento

*E: modulo de elasticidad*

*I: momentode inercia baricentrico*

y que se desarrolla para la deformación por flexión y la axial.

Deformación por esfuerzo axial:

El indicador de estabilidad es:

$$\# E_{DA} = \text{numero de estabilidad por deformacion axial: } \frac{\Delta Y}{\frac{P * L}{A * E}}$$

Siendo:  $\Delta Y$ : *deformacion por esfuerzo axial*

*P: carga actuante*

*l: longitud caracteristica para la deformacion*

*A: area caracteristica para la deformacion*

*E: modulo de elasticidad del material*

En función de los indicadores adimensionales de estabilidad se formularon cuatros subindicadores de interés para la investigación, se desarrollaron para facilitar la operatividad de la modelación analítica de similitud entre modelo y prototipo y se señalan en el siguiente numeral.

### **Modelos analíticos para la modelización**

La teoría de las estructuras señala que el diseño estructural se fundamenta en parámetros como son fuerzas, momento y deformación que, para sistemas semejantes debe cumplirse con las escalas geométricas, cinemáticas y dinámicas.

El desarrollo de los subindicadores para la modelación física se creó fundamentado en las leyes de similitud y las expresiones para los números de estabilidad deducidas, debiéndose cumplir:

$$\#E_{((C-M)_{\text{modelo}})} = \#E_{((C-M)_{\text{prototipo}})}$$

$$\#E_{((M-D)_{\text{modelo}})} = \#E_{((M-D)_{\text{prototipo}})}$$

Los subindicadores de semejanza desarrollados para la teoría estructural aplicada a la modelación física estructural son:

Subindicador de fuerza:

$$\#F = \text{numero subindicador de fuerza} = \frac{F_m}{F_p}$$

Siendo:  $F_m$ : Fuerza en el modelo

$F_p$ : Fuerza en el prototipo

Subindicador de momento flector:

$$\#M = \text{numero subindicador de momento flector} \\ = \frac{M_m}{M_p}$$

Siendo:  $M_m$ : Momento flector en el modelo

$M_p$ : Momento flector en el prototipo

Subindicador de deformación:

$$\#\Delta Y = \text{numero subindicador de deformacion} = \frac{\Delta Y_m}{\Delta Y_p}$$

Siendo:  $\Delta Y_m$ : Deformacion en el modelo

$\Delta Y_p$ : Deformacion en el prototipo

Representando la relación de escala entre modelo y prototipo de forma general con el símbolo  $\lambda$  y los subíndices  $m$  y  $P$  en correspondencia al modelo y prototipo respectivamente, las principales escalas son:

$$\text{Escala de longitud: } \lambda L = \frac{L_m}{L_p}$$

Siendo:  $L_m$ : longitud en el modelo

$L_p$ : longitud en el prototipo

$$\text{Escala de masa: } \rho = \frac{m}{V} \rightarrow \rightarrow m = \rho * V \rightarrow \rightarrow m = \frac{\gamma}{g} * V$$

$$\lambda m = \lambda \rho * \lambda V \rightarrow \rightarrow \lambda m = \lambda \rho * \lambda L^3 \rightarrow \rightarrow \lambda m = \frac{\lambda \gamma}{\lambda g} * \lambda L^3$$

Siendo:  $\rho$ : densidad

*m: masa*

*V: volumen*

*γ: peso específico*

*g: aceleración de la gravedad*

Escala de Fuerzas:  $\lambda F = \frac{F_m}{F_p}$

$$\lambda F = \lambda \gamma \lambda L^3, \quad \text{siendo}$$

*γ, peso específico del material*

$$F_p = \frac{F_m}{\lambda \gamma * \lambda L^3}$$

Si la escala se relaciona con la Ley de Hooke:

$$\sigma = K * \epsilon = E * \epsilon \rightarrow \frac{F}{A} = E * \epsilon \rightarrow F = A * E * \epsilon$$

$$\lambda F = \lambda A * \lambda E * \lambda \epsilon = \lambda L^2 * \lambda E * \lambda \epsilon$$

Siendo: *F: Fuerza*

*A: Area*

*σ: Esfuerzo*

*K: Modulo de proporcionalidad del material*

*E = K: Modulo de elasticidad*

*ε: Deformación unitaria*

Escala de Momento:  $\lambda M = \frac{M_m}{M_p}$

$$\lambda M = \lambda F \lambda L = \lambda \gamma \lambda L^4$$

$$\lambda M = \lambda F \lambda L = \lambda E * \lambda L^2 * \lambda L == \lambda E *$$

$\lambda L^3$

$$M_p = \frac{M_m}{\lambda \gamma * \lambda L^4}$$

Escala de tiempo:  $\lambda t = \frac{t_m}{t_p}$

$$\lambda t = \sqrt{\frac{\lambda L}{\lambda g}}, \quad \text{siendo } g, \text{ aceleración de la}$$

gravedad

$$\text{Sí, } \lambda g = 1, \lambda t = \sqrt{\lambda L}$$

Escala de Esfuerzos:  $\lambda \tau = \frac{\tau_m}{\tau_p}$

$$\lambda \tau = \frac{\lambda F}{\lambda L^2} = \lambda \gamma \lambda L$$

Escala de Inercia:  $\lambda I = \frac{I_m}{I_p}$

$$\lambda I = \lambda L^4$$

Deformación Axial (cercha):  $\lambda \Delta = \frac{\Delta_m}{\Delta_p}$

$$\lambda \Delta = \frac{\lambda \gamma \lambda L^2}{\lambda E}, \text{ siendo } E, \text{ módulo}$$

de elasticidad

$$\Delta_p = \frac{\Delta_m * \lambda E}{\lambda \gamma \lambda L^2}$$

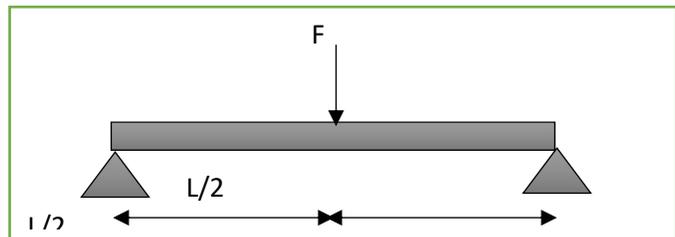
Deformación por Flexión:

En base del modelo:  $E I Y_i = \iint \varphi(M_x)$ , siendo  $Y_i$ : deformación a la distancia  $X_i$  será:

- Desplazamiento máximo “Y” en viga simplemente apoyada en los extremos con carga concentrada F en el centro de la estructura (figura 1):

$$\lambda Y = \frac{Y_m}{Y_p}$$

$$\lambda Y = \frac{\lambda F}{48 \lambda E \lambda L}$$



**Figura 1.** Deformación viga simplemente apoyada en los extremos y carga concentrada en el centro

- Desplazamiento máximo “Y” en viga simplemente apoyada en los extremos con carga concentrada F en cualquier abscisa de la viga, diferente de los extremos

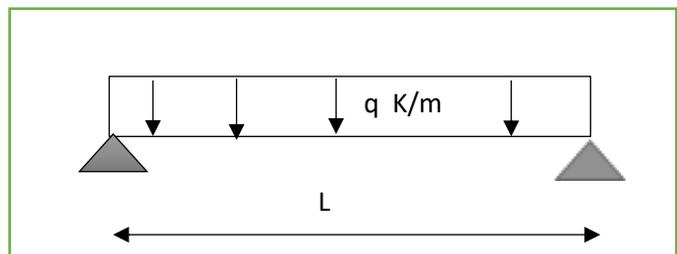
$$\lambda Y = \frac{Y_m}{Y_p}$$

$$\lambda Y = \frac{\lambda F}{9 \sqrt{3} \lambda E \lambda L}$$

- Desplazamiento máximo “Y” en vigas simplemente apoyada en los extremos con carga uniforme distribuida rectangular “q” en todo el vano de la viga y presentada en la figura 2.

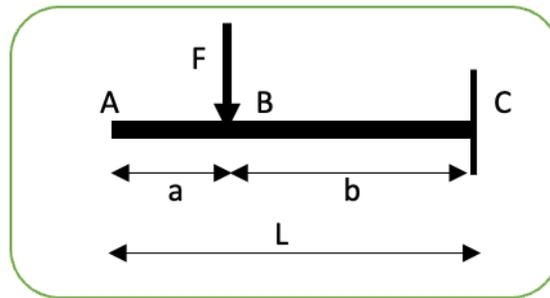
$$\lambda Y = \frac{Y_m}{Y_p}$$

$$\lambda Y = \frac{5 \lambda q}{384 \lambda E}$$



**Figura 2.** Deformación viga simplemente apoyada en los extremos y carga uniformemente repartida

- Desplazamiento máximo “Y” en viga en voladizo con carga concentrada genérica “F” o actuando en cualquier abscisa excepto en el extremo empotrado. Figura 3



**Figura 3.** Deformación, viga empotrada y carga concentrada en una sección cualquiera

- Desplazamiento “Y” en el punto de aplicación de la carga “F”: (sección B) (figura 3).

$$\lambda Y = \frac{Y_m}{Y_p}$$

$$\lambda Y = \frac{\lambda F}{3 \lambda E \lambda L}$$

- Desplazamiento “Y” máximo en el extremo volado de la viga (sección A) (figura 3).

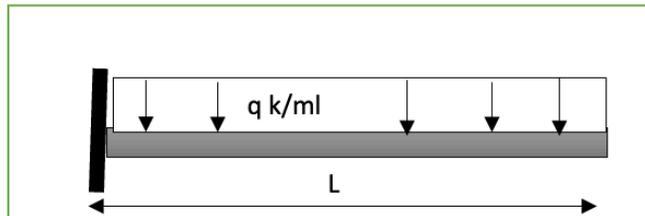
$$\lambda Y = \frac{Y_m}{Y_p}$$

$$\lambda Y = \frac{5 \lambda F}{6 \lambda E \lambda L}$$

Desplazamiento “Y” máximo con viga en voladizo y carga “q” (F/L) uniformemente repartida y en todo el vano de la viga, figura 4.

$$\lambda Y = \frac{Y_m}{Y_p}$$

$$\lambda Y = \frac{\lambda q}{8 \lambda E}$$



**Figura 4.** Deformación, viga empotrada y carga uniformemente repartida

Las escalas descritas constituyen solamente una cantidad de modelos de la teoría estructural y principalmente relacionadas con fuerzas, momentos y deformaciones que son las aplicadas en los estudios de caso.

### **Selección de la escala geométrica**

La selección del material en el modelo y la escala geométrica constituyen dos aspectos principales para la modelación.

La escala de longitudes modelo-prototipo está en función de variables como, disponibilidad física,

equipos de medición, condiciones de frontera de materiales, parámetros medibles por su magnitud, inversión, entre otros. Sin embargo, algunas recomendaciones dadas por Rodríguez, A. (2007) y ampliadas por la investigación se presentan en la tabla 1.

**Tabla 1.** Factores de escala de longitud por estructura

Tipo de estructura	Escala de longitud		Observación
	Modelos elásticos	Modelos de resistencia última	
Puente (vía de comunicación)	1:25	1:20 – 1:4	
Membrana, placas, cubiertas en cascarones	1:200 – 1:50	1:30 – 1:10	
Edificios	1:40 - 1:25	1:10 - 1:5	*
Losas	1:25 – 1:10	1:10 – 1:4	*
Canal	1:50 – 1:10	1:20 – 1:5	*
Presas	1:400 – 1:20	1:75 – 1:10	*
Efecto de viento	1:300 – 1:50	No-aplica	

• Modificado/ampliado

Debe señalarse que la escala es recomendada, pero, la escala seleccionada la determinará la integridad de

variables pertinentes a la modelación. Los modelos desarrollados tienen un comportamiento eficiente para escalas: 1:25 – 1:4.

### **Materiales y equipos**

De manera general los materiales están en función del diseño del prototipo, representando datos de entrada, así como, las cargas actuantes. Los materiales en el modelo dependerán de los que estén disponible y representaron los más idóneos para realizar el análisis.

Sobre el contexto del estudio de caso, los modelos se han desarrollado en base de materiales como aluminio, acero y madera, que se caracterizan por módulos de elasticidad “E” conocidos, los cuales se detallan posteriormente.

Los equipos para simular cargas y medición de registros, de manera genérica pueden tener características mecánica o digital o sensores, para nuestra aplicación o estudio de caso, algunos de los equipos utilizados son, escalas de precisión, balanza, dinamómetros, niveles, pesas, entre otros, pero, todos ellos con imprecisiones que no exceden el 0,1%.

## **CAPÍTULO 2**

### **ESTUDIO DE CASO**

#### **Marco contextual**

##### **Laboratorio para ingeniería estructural**

Los actuales laboratorios para ingeniería estructural de acuerdo con el servicio que prestan están orientados a ensayar prototipo y para actividades didácticas. Sin embargo, la investigación y experimentación en estos laboratorios en base de modelos físicos no existe, lo cual limita la optimización del proyecto y análisis de alternativas en edificios construidos, lo cual impacta en aspectos cognitivos, técnicos y económicos.

Aquellos laboratorios con aptitud para ensayar prototipos de estructuras se caracterizan por la disponibilidad de equipos, infraestructura física e inversiones que demandan. Los equipos para medir las características mecánicas del prototipo objeto del estudio, requieren de gran capacidad y costos, así mismo, el dimensionamiento de la estructura y la operatividad relacionada con el número de muestras que pueden investigarse inciden en el manejo y evaluación de alternativas para optimizar el prototipo.

Los laboratorios orientados a la experimentación de tipo didáctica se caracterizan por el tipo de equipo que disponen y, su manejo y respuesta están fundamentadas en observar fenómenos estructurales señalados en currículos académicos, pero, no representan el comportamiento y diseño de una edificación particular proyectada o construida. Estos equipos requieren de inversiones costosas y no están orientados a una

actividad profesional o de investigación, caracterizándose por tener operatividad, flexibilidad y vida útil limitada.

La conceptualización actual de los laboratorios existentes determina problemáticas y conflictos para la investigación experimental y experiencial y limitan el desarrollo de los sistemas estructurales en base de la experimentación en modelos físicos. La modelación a escala reducida para investigación, servicios y recurso didáctico, potencia estrategias para el desarrollo y equipamiento del laboratorio y demandan menores inversiones y costos por mantenimiento.

### **Estrategias para implementación**

Las inversiones que demandan el laboratorio para ingeniería estructural, la rentabilidad, costos de mantenimiento, operación eficiente, flexibilidad y operatividad de los equipos, representan aspectos que limitan el desarrollo del laboratorio a lo cual se adiciona el estado actual del conocimiento en relación con la modelación física estructural.

Entre las estrategias para el desarrollo del laboratorio deben mencionarse:

1. Conceptualiza el laboratorio para propósitos múltiples como, académico, investigativo, experiencial y servicios.
2. El laboratorio se fundamenta en el desarrollo experiencial, sostenibilidad, limitadas inversiones y rentable.
3. Aporta a la inclusión de la experimentación de la ingeniería estructural en el programa curricular.
4. Evidencia la necesidad de procesos formativos de capacitación que aborden temas relacionados con la

electromecánica y electrónica aplicada a equipos de medición.

5. Desarrolla equipos e instrumentos de medición y registro de información, en base de la disponibilidad local, tanto en recursos materiales, tecnología como humano, haciéndolos sostenibles.

### **Desarrollo experiencial**

El proceso metodológico experiencial realizado de manera general es:

- Identificó la problemática o proyecto de forma específica
- Identificó infraestructuras físicas y equipos existentes
- Planteó estrategias participativas de recursos humanos académicos, profesional y artesanal
- Estimó inversiones y beneficios
- Planificó el desarrollo experiencial y experimental del proyecto
- Desarrolló la modelación en sus diferentes etapas como, diseño, implementación, operación y experimentación
- Validó el proyecto implementado
- Desarrolló estudios de casos para evaluar capacidad y potencialidad de servicios

### **Selección de modelos físico**

#### **Técnico y económico**

En el marco contextual y alcance del estudio, se planificó y evaluó la implementación de tres equipos que respondieron al desarrollo de laboratorios de ingeniería estructural,

fundamentado en modelos físicos con poca inversión, y potenciar procesos cognitivos, recursos didácticos y la investigación.

Los modelos son pertinentes a la estabilidad de las edificaciones por cargas, momento flector y deformación en estructuras. Estos, se conceptualizaron para responder a diferentes escenarios técnico y económico de la edificación:

- Estimar comportamiento mecánico en el modelo y trasladar dicho efecto al prototipo, bajo el principio de similitud o semejanza estructural
- Responder al principio de optimizar los componentes estructurales del edificio y hacer factible y viable el proyecto
- Desarrollar un proceso metodológico experimental y experiencial para investigar prototipos estructurales sin tender a la destrucción del prototipo o el riesgo de alcanzar condiciones críticas de fallas, fisuras o colapso.
- Desarrollar e implementar equipamiento para laboratorios de estructuras, considerando limitadas inversiones, facilidades operacionales y flexibilidad para investigar y generar servicios en el ámbito profesional
- Responden a investigar prototipos estructurales de variadas geometrías
- Cuantificar y cualificar el comportamiento mecánico de sistemas estructurales prototipos, evaluando diferentes alternativas y optimizar el proyecto
- Analizar el comportamiento de sistemas estructurales prototipos construidos, debido a modificaciones por incremento de espacios físicos o esfuerzos proyectados

- Evaluar intensidades de cargas reaccionantes en el modelo y relacionarlas con la acción en el prototipo y evaluarlas respecto a esfuerzos admisibles en el prototipo
- Factibilizar y viabilizar el proyecto que demanda ensayar y formular alternativas directamente en el prototipo
- Implementar el desarrollo eficiente y evaluable del proceso cognitivo formativo, creativo e innovación del profesional participe en el laboratorio.

### **Sostenibilidad**

Los modelos físicos se fundamentaron en tres ámbitos

1. Desarrollar el laboratorio de ingeniería estructural y su equipamiento de forma sostenible a través de recursos y actividades de origen local
2. Implementar el laboratorio con enfoque en el desarrollo académico, investigación, innovación y servicio comunitario
3. Aplicar y desarrollar la teoría de las estructuras relacionada con la teoría de modelos físicos para sistemas estructurales

El desarrollo y equipamiento del laboratorio se realizó con infraestructura y recursos locales que permitió disponer de infraestructura y facilidades factibles y viables, lo cual, determinó manejo y operatividad que asegura la sostenibilidad del laboratorio. Manejar el proceso, representó inversiones de bajo costo y equipamiento con facilidades para el mantenimiento preventivo y correctivo, así como, flexibilidades para ampliar o modificar el equipo para uso en múltiples investigaciones.

El laboratorio se fundamentó en propósitos de servicio integrales, permitiendo un proceso formativo académico, con enfoque en la investigación y la vinculación con la colectividad. La estrategia permite un desarrollo cognitivo formativo y experiencial con capacidad de manejar e investigar la edificación, planteando y evaluar alternativas para optimizar el proyecto diseñado o construido. Adicionalmente el desarrollo cognitivo asegura la calidad y sostenibilidad del laboratorio.

Como estrategia para desarrollar el laboratorio se proyectó e implementan modelos físicos de prototipos estructurales tipo vigas. Los modelos físicos responden a la teoría de semejanza de ingeniería estructural desarrollada en capítulos anteriores para simular y cuantificar el comportamiento del prototipo en base de la experimentación en el modelo. El manejo y operatividad de componentes estructurales está relacionado con equipos de medición e instrumentos que se construyen o se adaptan para la evaluación estructural.

### **Desarrollo de modelos físicos**

La creación y desarrollo de los modelos físicos abordó aspectos técnicos propios de la investigación, eficiencia y factibilidad técnica-económica-ambiental relacionados con el entorno local. Se desarrolló en dos etapas, la primera orientada a la investigación teórica y la segunda orientada a investigación e implementación constructiva, operativa, experimental y experiencial. Los procesos científicos relacionadas con el desarrollo de los modelos fueron:

- 1.** Desarrollo teórico experiencial,
- 2.** Desarrollo constructivo-operativo experimental-experiencial, validación y aplicación
- 3.** Desarrollo de guías para experimentos.

### **Desarrollo teórico experiencial**

El análisis se basó en la perspectiva de la investigación teórica, estructurándolo de acuerdo con indicadores académicos, técnicos, económicos y aplicabilidad al entorno practico-profesional en el ámbito de las edificaciones. El análisis incluyo la parte experiencial para la implementación de laboratorios y equipamiento, con énfasis en la modelación física, lo cual, determinó la falta de fundamentos y experiencia en la modelación estructural y condujo al proceso de innovación y creatividad para el desarrollo teórico de los modelos, laboratorios y equipamiento.

La teoría estructural experiencial abordó diseños propios y característicos a la modelación y representó la parte inicial para implementar la construcción de los modelos. Los indicadores analizados se describen a continuación.

### **Participantes**

En base a la metodología y estrategias, la muestra seleccionada para la fase de desarrollo de los dos modelos son estudiantes y docente de las cátedras de estructuras. La muestra participante para el desarrollo de los modelos, fueron dos grupos denominados grupo de control y grupo experimental.

El grupo de control y experimental permitió estimar el nivel de conocimiento de las estructuras, sin aplicar la modelación, mientras que con el grupo experimental se midió el impacto cognitivo, y creatividad al agregar a su proceso formativa lo relacionado con el desarrollo de los modelos.

### **Análisis curricular académico**

Los modelos físicos fueron el resultado de analizar y relacionarlos con el plan curricular del área de Estructura y la aplicabilidad profesional en el campo de las edificaciones.

El contenido temático abordó la estabilidad de prototipos de estructuras determinadas por fuerzas, momento y deformaciones, estos parámetros, son pertinentes a un proceso formativo enmarcado en la experimentación y experiencialidad y representan espacios fundamentales con la práctica común formativa y desarrollo profesional del Ingeniero o Arquitecto.

### **Modelos proyectados**

Los modelos físicos fueron producto de socializaciones y características técnicas que generen impacto cognitivo y prospectivamente desarrolle competencias profesionales agregadas. Los modelos responden a un nuevo conocimiento en lo relacionado con la creación e innovación de modelos y sistemas de medición que incluyeron procesos sostenibles por uso de materiales y tecnologías sostenible. Los modelos desarrollados por los estudiantes y la catedra cumplen con aprendizajes significativos de tipo experiencial y experimental y principalmente inciden en equipamientos y procesos operativos flexibles y bajos costos

Otro aspecto considerado y adicional a la sostenibilidad, fue relacionar de forma integral, procesos de factibilidad y rentabilidad a través de la operación eficiente de los modelos. Las características principales de los modelos implementados son:

- Modelos elásticos directos
- Leyes de semejanza dinámica ( $F=m*a$ )
- Los factores de escala principalmente elegibles fueron, módulo de elasticidad, peso específico y longitud.
- Flexibilidad para intercambiar materiales, longitudes y cargas

- Facilidad operativa para manejo de escalas
- Medición directa de las variables analizadas

Los modelos proyectados y desarrollados fueron:

- Estabilidad en sistemas estructurales en edificaciones solicitados por cargas
- Comportamiento mecánico de sistemas estructurales en edificios solicitados por momento flector
- Deformación por flexión en sistemas estructurales en edificios

### **Modelos estructurales-físico-analíticos**

Los modelos analíticos-estructurales desarrollados están relacionados con evaluación de estabilidad de sistemas estructurales tipo viga para edificaciones producto de solicitaciones de esfuerzos activos, así como, por el comportamiento mecánico para diferentes alternativas propuestas.

La estabilidad de estos sistemas se fundamenta en resultante de fuerzas, momentos y deformaciones y validan las mediciones realizadas mediante los equipos e instrumentos creados o adaptados.

Para desarrollar y calibrar los modelos físicos, se analizó como prototipo la estructura mostrada en la figura 5, los modelos analítico-estructurales aplicada a las vigas son:

Modelos generales para la estabilidad:

$$\sum_{i=1}^n F_i = 0; \quad \sum_{j=1}^m M_j = 0; \quad \Delta_{max} = \text{admisible} \quad (2.1)$$

Los modelos en función de las componentes son:

$$\sum F_x = 0; \sum F_y = 0; \sum F_z = 0; \quad (2.2)$$

$$\sum M_x = 0; \sum M_y = 0; \sum M_z = 0; \quad (2.3)$$

Los modelos de la teoría de estructura para la estabilidad experimentada con el modelo físico implementado se describen en pertinencia con las expresiones para reacciones aplicables para los casos potencialmente a experimentarse en la viga presentada son:

$$R_2 = \sum_1^{n-2} F_i \frac{L_i}{L_T} = F_1 \frac{L_1}{L_T} + F_2 \frac{L_2}{L_T} + F_3 \frac{L_3}{L_T} + \dots \dots \dots + F_{n-2} \frac{L_{n-2}}{L_T}$$

(2.4)

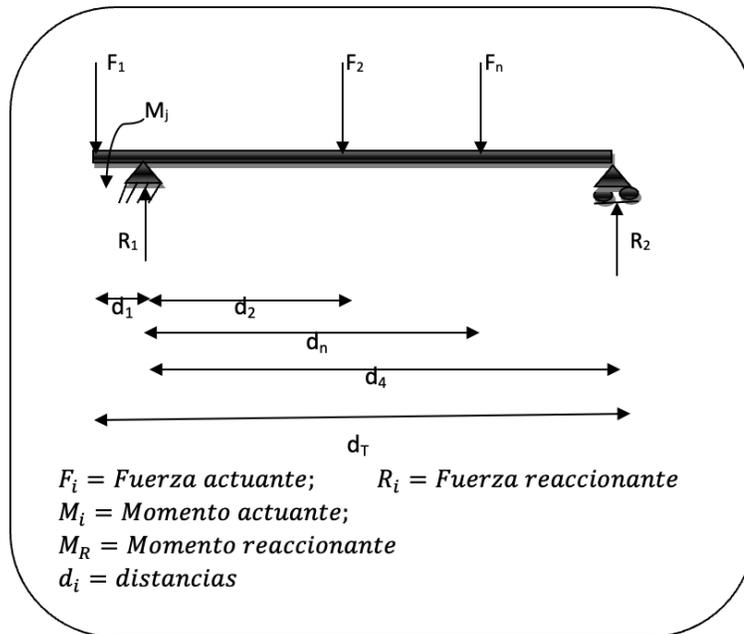
$$R_1 = \sum_{i=1}^{i=n-1} F_i = R_2 + F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + \dots \dots \dots + F_{n-1}$$

(2.5)

Dónde:  $L_T = \sum_{i=1}^{i=n-1} L_i = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + \dots \dots \dots + L_{n-1}$

Las expresiones para calibración del modelo físico se enfatizaron en la estática, sin embargo, el modelo y el equipo de medición implementados, tienen capacidad para analizar vigas continuas o hiperestáticas. En estos casos puede aplicarse métodos idóneos para determinar teóricamente las reacciones y comprobarlos con los registros medidos experimentalmente.

$$\sum F_{i-j} = \sum M_{i-j} = 0, \quad \text{donde } F_{i-j} - M_{i-j} \rightarrow \varphi(\text{Cross})$$



**Figura 5.** Prototipo de estructura para modelación

Los modelos para la estabilidad por los momentos reaccionantes en función de las fuerzas aplicables para los casos potencialmente a experimentarse en la viga analizada como presenta la figura 6 son:

Momento actuante=Momento equilibrante

$$\sum_{i=1}^n F_i d_i = \sum_{i=1}^n P_i e_i \quad (2.6)$$

$$M_0 = \text{Mom. actuante} = \sum_{i=1}^n F_i d_i = F_1 d_1 + F_2 d_2 + F_3 d_3 + \dots + F_n d_n \quad (2.7)$$

$$M_0 = \text{Mom. equilibrante} = \sum_{i=1}^n P_i e_i = P_1 e_1 + P_2 e_2 + P_3 e_3 + \dots + P_n e_n \quad (2.8)$$

$$\sum_1^2 M_0 = M_{\text{actuante}} + M_{\text{equilibrante}} = 0$$

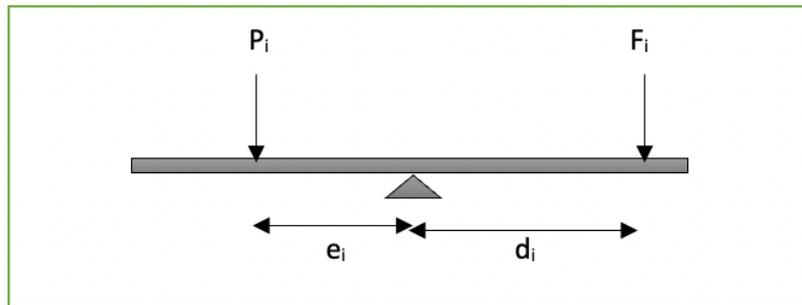
Para casos experimentados con el modelo desarrollado y que la fuerza  $P_R$  a una distancia  $e_R$  sea la única para equilibrar la viga, el modelo aplicable es:

$$P_R = \varphi(F_i, d_i, e_R)$$

$$P_R = \frac{\sum_{i=1}^n F_i d_i}{e_R} = F_1 \frac{d_1}{e_R} + F_2 \frac{d_2}{e_R} + F_3 \frac{d_3}{e_R} + \dots \dots \dots + F_n \frac{d_n}{e_R}$$

(2.9)

Dónde:  $F_i$  y  $d_i$  son las fuerzas y distancias actuantes



**Figura 6.** Estructura prototipo para estabilidad de momento flector

Para las deformaciones el modelo general aplicado para la calibración es:

$$EI\Delta = \iint M_x$$

(2.9')

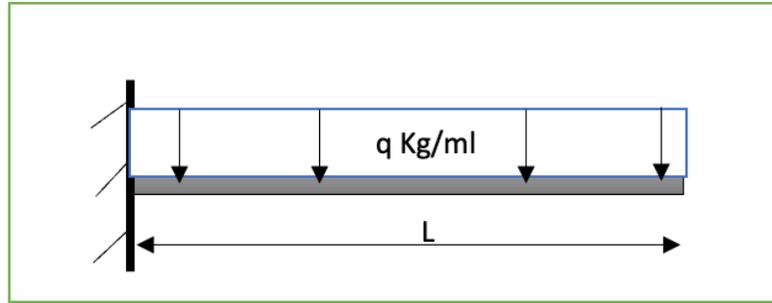
Siendo:  $E$ : modulo de elasticidad

$I$ : inercia

$M_x$ : ecuacion del momento flector

$\Delta$ : deformacion por flexion

La figura 7 describe uno de los prototipos analizados.



**Figura 7.** Estructura prototipo para deformación

### Escalas por semejanza

Las escalas se proyectan en relación con las expresiones de calibración para el modelo y prototipo. Las escalas de forma general y para diferentes variables fueron descritas en el capítulo anterior, sin embargo, en relación con el proceso presentado se formulan:

La relación de escala para longitud, fuerza y momento es:

$$L_E = L_d = \frac{L_P}{L_m} = \frac{d_P}{d_m} \quad (2.10)$$

$$F_E = \frac{F_P}{F_m} \quad (2.11)$$

$$M_E = F_E L_E \quad (2.12)$$

Las escalas del modelo físico se seleccionaron de acuerdo con las cargas y longitudes comunes de vigas usadas en la práctica común con edificaciones, por tanto, los intervalos de escala son:

$$L_E = \frac{1}{4} \text{ a } L_E = \frac{1}{25} ; \text{ para la escala de longitudes o distancias}$$

$$P_E = \frac{1}{100} \text{ a } P_E = \frac{1}{5000} ; \text{ para la escala de cargas o fuerzas}$$

$$R_{E-2} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n-2} F_{E-i}(L_{E-i})}{L_{E-T}} = F_{E-1} \frac{L_{E-1}}{L_{E-T}} + F_{E-2} \frac{L_{E-2}}{L_{E-T}} + F_{E-3} \frac{L_{E-3}}{L_{E-T}} + \dots \dots \dots + F_{E-(n-2)} \frac{L_{E(n-2)}}{L_{E-T}}$$

(2.13)

$$R_{E-1} = \sum_{i=1}^{i=n-1} F_{E-i} = F_{E-1} + F_{E-2} + F_{E-3} + F_{E-4} + \dots \dots \dots + F_{E-(n-1)} \quad (2.14)$$

Dónde:

$$L_{E-T} = \sum_{i=1}^{i=n-1} L_{E-i} = L_{E-1} + L_{E-2} + L_{E-3} + L_{E-4} + \dots \dots \dots + L_{E-(n-1)}$$

Además, para el equipo de estabilidad por momento, si, las distancias son iguales determinan que la escala del momento es igual a las escalas para las fuerzas y distancias y las expresiones aplicables son:

$$M_E = F_E L_E = (L_E)^2 = (F_E)^2 \quad (2.15)$$

$$R_{E-2} = \sum_{i=1}^{i=n-2} F_{E-i} = F_{E-1} + F_{E-2} + F_{E-3} + \dots \dots \dots + F_{E-(n-2)} \quad (2.16)$$

$$R_{E-1} = \sum_{i=1}^{i=n-1} F_{E-i} = F_{E-1} + F_{E-2} + F_{E-3} + F_{E-4} + \dots \dots \dots + F_{E-(n-1)} \quad (2.17)$$

Dónde:

$$L_{E-T} = \sum_{i=1}^{i=n-1} L_{E-i} = L_{E-1} + L_{E-2} + L_{E-3} + L_{E-4} + \dots \dots \dots + L_{E-(n-1)}$$

### **Características técnicas de los modelos físicos**

Los modelos físicos se desarrollaron técnicamente para tener un comportamiento mecánico

igual al prototipo al ser solicitados por esfuerzos semejantes y en función de la relación de escala proyectada.

Los modelos se ajustan a normas y especificaciones que caracterizan a estos equipos, incluyendo materiales, mediciones y tecnologías para desarrollarlos, pero, analizando el mercado que provee los recursos e insumos y optimizar factibilidad, viabilidad y sostenibilidad.

El sistema permite el manejo de una o varias cargas en distintas posiciones. Las cargas máximas aplicadas no deben exceder la capacidad máxima de los sensores de equilibrio que para cada uno no excede los 20 kilogramos, sin embargo, los sensores pueden ser cambiados para tener mayor nivel de medición; así mismo, la longitud del modelo de la viga es de 1.2 metros, construida en aluminio y de peso despreciable, aunque, los sensores se enceran de manera de balancear el peso propio de la viga y de los elementos para colocar las cargas actuantes. Por tanto, el modelo puede analizar el comportamiento de la viga sometida a cargas externas incluyendo su peso propio.

Los sensores para medir las fuerzas equilibrantes se realizan con sensores digitales CAMRY modelo EP 120 validados con norma ISO 9001 y certificado por la SGS adoptados y adaptados para el equipo con errores máximos del 0.1%, es decir, el máximo error será inferior a 0,01 kilogramos. Las cargas actuantes se aplican mediante pesas de acero de distintos pesos que varían desde los 5 gramos hasta 5 kilogramos, pero pueden modificarse de acuerdo al caso analizado. La figura 8 presenta el medidor.



**Figura. 8** Medidor de fuerza

Los materiales para el bastidor y viga del modelo físico/equipo cumple con las siguientes especificaciones:

Bastidor:

- acero galvanizado grado 50
- especificación ASTM A653
- resistencia a la fluencia mínima 350 MPa
- resistencia última a la tensión: 420 MPa
- densidad: 7.86 gr/cm<sup>3</sup>
- Elongación mínima en 50 mm: 20%
- Módulo de elasticidad: 200000Mpa.

Viga

- aluminio, tubo rectangular hueco de aleación 6005,
- espesor 3 mm.
- densidad: 2.7 gr/cm<sup>3</sup>
- límite mínimo de rotura: 255MPa
- límite elástico 0,2: 215 MPa
- elongación: 8%

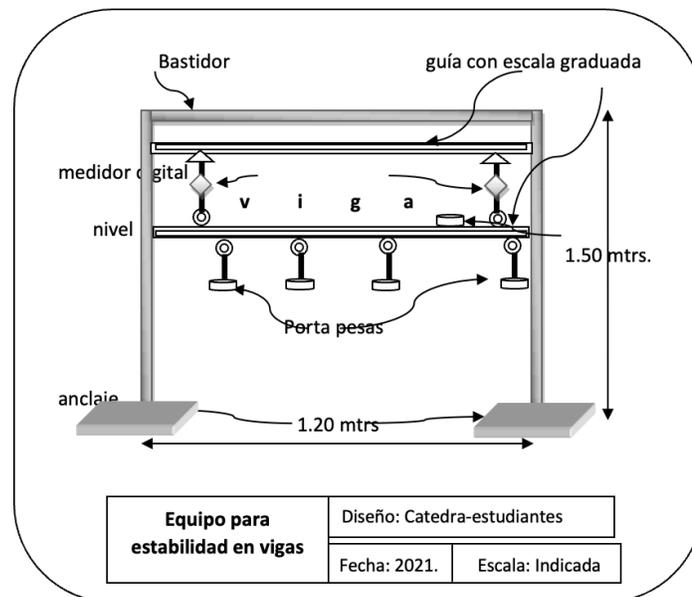
### **Diseño de los modelos**

Los prototipos están representados por vigas o elementos horizontales que colaboran a soportar al edificio cuando son

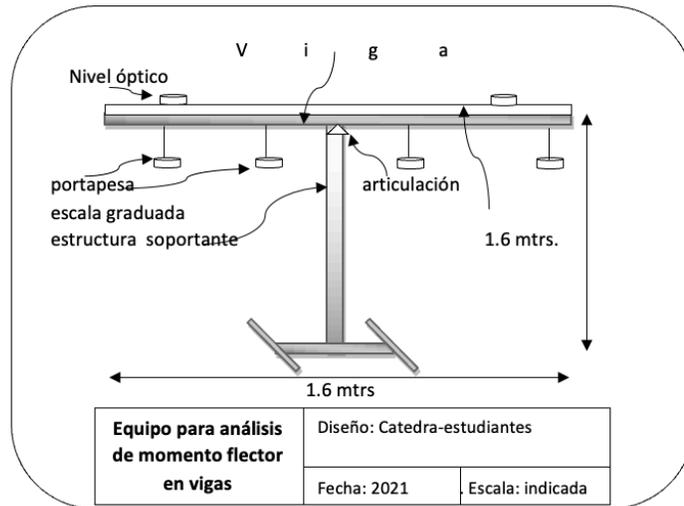
sometidos a fuerzas, momentos y deformaciones. Las sollicitaciones actuantes generan reacciones para establecer equilibrio y estabilidad que dependerá de la intensidad de los esfuerzos, distancias y tipos y cantidad de apoyos, que son objeto del estudio en los dos modelos desarrollados.

La modelación de los sistemas prototipos permite manejar varias alternativas y sollicitaciones en magnitud y ubicación a fin de analizar el comportamiento técnico-económico más conveniente para la problemática en el edificio.

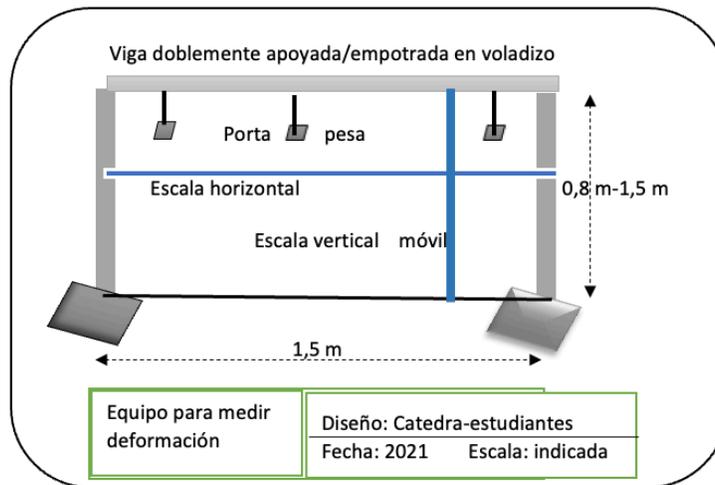
El modelo diseñado tiene como componentes principales: bastidor móvil, viga, sensores digitales para medir las fuerzas reaccionantes, escala metálica, nivel, pesas con su respectivos porta pesas. En las figuras 9, 10, y 11, se describen en elevación los equipos diseñados.



**Figura. 9.** Modelo físico y equipamiento para estabilidad en edificios



**Figura 10.** Modelo físico y equipamiento para momento flector en vigas



**Figura. 11.** Modelo físico y equipamiento para deformación por flexión en vigas

## **Desarrollo constructivo-operativo-experimental-experiencial**

El proceso constructivo y operativo proyectado fue el componente para la implementación de los modelos y su equipamiento, si bien constituyo un proceso de realización de los diseños, la implementación física es un constante aprendizaje, alternativas y decisiones que deben realizarse a fin de lograr los objetivos.

La implementación estuvo limitada por aspectos propios de la cultura relacionada con la ingeniería estructural, debiendo puntualizarse:

- Capacidad para inversiones
- Recursos humanos especializados para el desarrollo de laboratorios y equipos para la ingeniería estructural
- Disponibilidad de equipos de trabajo con visión holística
- Concienciación del aporte a la comunidad por la temática del proyecto
- Recurso humano a nivel medio con disponibilidad y conocimiento para estos proyectos
- Inexistencia o deficiencia de talleres para colaborar con la realización de modelos físicos y equipos
- Valorar el aporte en el ámbito académico y profesional
- Currículos académicos con deficiencia en la enseñanza y aprendizaje del tema tratado por el proyecto

Los ejes para la construcción y operación de los modelos fueron:

- Recursos humanos con diferentes niveles cognitivos
- Recursos económicos disponible

- Operación eficiente y flexible implicando procesos sostenibles, factibles y beneficios financieros.

### **Participantes**

Los participantes para el proceso constructivo fueron, Instructor y estudiantes del grupo experimental; así como, artesanos relacionados con trabajos en aluminio y tornería en hierro.

Para cumplir con los procesos experiencial-experimental, los estudiantes y docente son parte de la carrera y los participantes que no forman parte de la Universidad fueron artesanos del entorno local.

### **Tecnología constructiva**

La tecnología constructiva de forma general para los tres modelos equipados consiste en:

- Bastidor aporcado y soportante de acero con dimensiones de 0,8 m.-1,5 m. de altura x 1m-1, 5 m de longitud y sustentado por placas como fundamentación
- Elemento horizontal (viga) de longitud semejante al bastidor y flexibilidad para simular vigas de diferentes materiales como madera, acero, aluminio, otros.
- Porta pesas y pesas para simular cargas y momentos activos
- Escalas limnimétricas de precisión
- Niveles digitales
- Medidores digitales de fuerzas
- Medidores digitales de longitud tipo laser

La estructura soportante de los equipos se construyó en el laboratorio FAU-UG y talleres artesanales, armando el marco

respectivo con tubos rectangulares de hierro a través de pernos y tornillos y soldaduras. Las características de este elemento es la flexibilidad para intercambiar formas de apoyo o tipo de viga de acuerdo con el material

Las vigas y escalas graduadas se elaboraron con la colaboración de un taller de mecánica industrial y fueron implementadas de forma flexible o móvil a fin de cumplir con diferentes tipos de análisis y características del prototipo.

La estructura de los equipos implementados tiene elementos para simular cargas o momentos activos de manera flexible en cuanto a intensidad como ubicación, facilitando las acciones del prototipo.

El equipamiento de los medidores para parámetros del comportamiento estructural del modelo se realizó de forma que respondan a intensidades y ubicaciones de interés entre modelo y prototipo.

Se equipó con medidores de nivel de precisión para tener planos de referencia horizontal o vertical sin sesgos.

La integración constructiva de los diferentes elementos como bastidores, vigas y escalas con los medidores digitales, niveles, otros, incluyendo las calibraciones respectivas fue realizada por la Cátedra y estudiantes.

La presentación estética del equipo y señalizaciones fue realizada por la Cátedra y estudiantes del grupo experimental.

Los detalles se presentan en los diseños y los equipos terminados se presentan en las figuras 12 a 14.



**Figura 12.** Estabilidad estática-hiperestática en edificaciones



**Figura 13.** Equipo para comportamiento estructural en el edificio por momento flector



**Figura 14.** Deformación por flexión en estructuras apoyadas-empotradas para edificios

### **Puesta en marcha**

La puesta en marcha de los equipos tuvo por objetivo determinar la validez cuantitativa experimental de los modelos desarrollados, así como, evaluarlos respecto al

comportamiento en el prototipo. Se realizó con los equipos calibrados y en base de las guías elaboradas para los experimentos.

Siguiendo el proceso metodológico se realizó las siguientes actividades:

- Diseñar el problema a resolver en relación con intensidad de cargas, distancias y apoyos para prototipo y su semejanza en el modelo, así como, analizando solamente el modelo.
- Distribución espacial de porta pesas en relación con las distancias entre cargas
- Se encerraron los medidores de fuerzas
- Observación del nivel óptico
- Distribución de las cargas activas previamente acordadas y observación de la traslación de la viga
- Medición de las reacciones mediante los registros en los sensores
- Comparar los valores medidos con los valores esperados y calculados con las fórmulas respectivas
- Evaluar las mediciones registradas en el modelo y su valoración en el prototipo
- Determinación de la validez de los equipos creados y experimentados.

Los resultados de los ensayos/experimento tanto del modelo como su extensión al prototipo, se relacionaron con valores calculados de forma analítica determinándose que el error fue

inferior al 0,2%, por tanto, validó los modelos físicos desarrollados y la metodología para modelo-prototipo. Así mismo, la flexibilidad, versatilidad y adaptabilidad del equipo implementado, permite experimentar y analizar diversos casos en el ámbito de la realidad de las edificaciones. Por ejemplo, en el modelo es factible técnica y económicamente estudiarse el caso de la máxima carga que puede soportar la viga de una edificación construida y que resulta imposible analizarlo en el prototipo o edificio construido.

### **Guías para operatividad de los modelos**

El desarrollo de las guías para operar los modelos físicos tiene como objetivo normar el proceso experimental para investigar el fenómeno y comportamiento estructural para un caso específico a nivel académico, así como, señalar procedimientos y directrices para evaluar en el modelo el comportamiento del prototipo para diferentes escenarios de trabajo de la estructura prototipo analizada.

La guía representa el informe general que debe estar relacionado con la investigación y constituye una normalización para el desarrollo y productos de la experimentación y facilitar la toma de decisiones.

Las guías abordaron los siguientes indicadores:

- Objetivo
- Desarrollo teórico
- Equipos e instrumentos
- Procedimiento experimental
- Datos y observaciones
- Discusión
- Conclusiones
- Recomendaciones/Sugerencias

- Bibliografía
- Anexos

Estas guías se describen para la operación de cada uno de los modelos físicos construidos.

## **GUIA METODOLOGICA 1**

### **Estabilidad de sistemas estructurales tipo viga en edificios**

#### **Objetivo**

Analizar el comportamiento y estabilidad estructural de sistemas tipo viga en edificios y solicitadas por cargas.

#### **Desarrollo teórico**

La práctica común del Arquitecto e Ingeniero está comúnmente relacionada con edificaciones que están compuestas por sistemas estructurales de soporte como vigas, columnas, plintos, entre otros elementos, que están integrados e interactuando para que la edificación sea estable.

La problemática estructural puede tener origen en un proyecto diseñado o en un edificio construido.

De manera general la diferencia para abordar el problema con el modelo será, para el diseño la modelación será dirigida para revisar el proyecto y formularse alternativas para optimizar el comportamiento estructural. Para el caso de una obra construida, el modelo se orientará a las dimensiones del sistema existentes y la experimentación con el modelo se orientará a evaluar la problemática y formular evaluar diferentes situaciones en que puede trabajar el prototipo,

generando resultados que posibilite la toma de decisión de acuerdo a los intereses del inversionista.

En todos los casos y espacios situacionales, la experimentación en el modelo estimara cualitativa y cuantitativamente el fenómeno estructural y orientara la factibilidad técnica y económica de forma optimizada. Además, proveerá un proceso para el desarrollo cognitivo y aporte a la comunidad

Los principios básicos de la teoría estructural establecen que una viga será estable si se cumplen las dos leyes fundamentales de la estabilidad:

$$\sum_{i=0}^{i=n} F_i = 0 \quad y \quad \sum_{j=0}^{j=m} M_j = 0$$

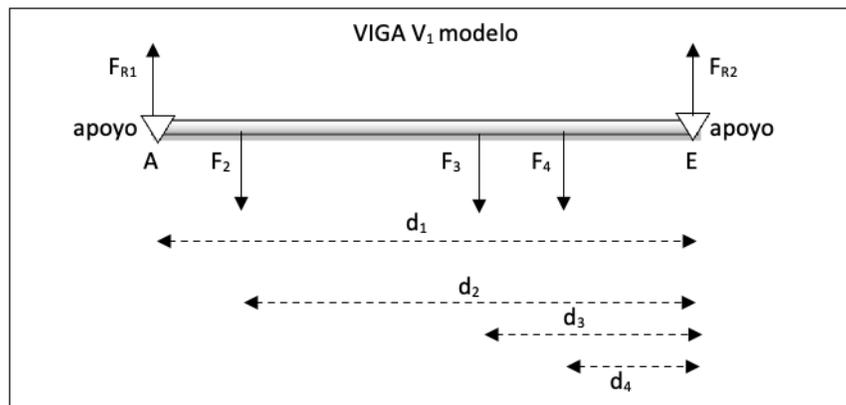
Dónde:

$F_i$ : fuerzas actuantes y reaccionantes

$M_i$ : momentos actuantes y reaccionantes

Para la viga presentada en la figura 15, que semeja un estudio de caso para el modelo desarrollado la aplicación de las fórmulas de equilibrio será:

Equilibrio estático en viga



**Figura 15.** Viga simplemente apoyada

Cálculo del equilibrio por reacciones  $R_A$  y  $R_B$  en viga  $V_1$ :

$$\sum_{j=0}^{j=m} M_j = 0 ; \sum_A^E M_E = 0 \rightarrow R_A = F_{R1} = \frac{F_4(d_4) + F_3(d_3) + F_2(d_2)}{d_1}$$

$$F_{R1} = \sum_{i=2}^{i=n-1} F_i \frac{d_i}{d_T} = F_2 \frac{d_2}{d_T} + F_3 \frac{d_3}{d_T} + F_4 \frac{d_4}{d_T} + \dots + F_{n-1} \frac{d_{n-1}}{d_T} +$$

$$\sum_A^E F_i = 0 \rightarrow F_{R5} = \sum_{i=1}^{i=n-1} F_i$$

$$= F_1 + F_2 + F_4 + F_4 + \dots + F_{n-1}$$

Dónde:

$$d_T = d_4$$

$i$  = número de fuerzas incluyendo las reacciones

$F_{R1} = F_1$  y  $F_{R5} = F_5$ : son las reacciones de los apoyos

Para casos de carga distribuidas, el proceso se hará equivalente al analizado, haciendo que los diagramas de carga se representen por cargas concentradas equivalentes.

Las leyes de modelización para los casos de análisis, modelo físico-prototipo que se aplicaran tiene relación con

$$\begin{aligned} \text{Escala de Fuerzas: } \lambda F &= \frac{F_m}{F_p} \\ \lambda F &= \lambda \gamma \lambda L^3, & \text{siendo} \\ \gamma, & \text{ peso específico del material} \\ \text{Escala de Momento: } \lambda M &= \frac{M_m}{M_p} \\ \lambda M &= \lambda F \lambda L = \lambda \gamma \lambda L^4 \end{aligned}$$

Así mismo, en el caso tener estructuras hiperestáticas, se resolverá con el principio de superposición y haciendo uso del método de carga unitario.

### **Equipos e instrumentos**

El equipo que se utiliza es el denominado “Equipo para análisis de estabilidad de sistemas estructurales en edificios”.

El equipo está compuesto principalmente por bastidor soportante, porta pesas, cargas actuantes simuladas con pesas de diferentes masas, medidor digital de cargas reaccionantes, nivel y escalas graduadas para medir distancias. La figura 16 describe uno de los equipos para la experiencia.



**Figura. 16** Equipo para estabilidad en vigas

### **Procedimiento experimental**

De manera jerárquica el procedimiento experimental es:

1. Identificar la problemática a ensayar
2. Identificar el modelo a utilizar
3. De ser el caso aplicar las ecuaciones de semejanza respectiva y calcular cargas y características físicas del prototipo y modelo
4. Encerar y graduar los sistemas y escalas de medición, nivel para el modelo
5. Ubicar los apoyos de acuerdo con el escenario de análisis
6. Aplicar en los porta pesas las cargas actuantes en distancia y magnitud
7. Registrar las cargas actuantes y de equilibrio medidas en magnitud y distancias

8. Ensayar diferentes casos
9. Registrar digitalmente el experimento
10. Elaborar informe

**Datos y observaciones**

El formato básico para levantar la información del experimento es:

*UNIVERSIDAD:*

*FACULTAD:*

*CARRERA:*

*LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS*

***Estabilidad en sistemas estructurales tipo viga para edificios***

***LEVANTAMIENTO DE REGISTROS***

*Estudiantes:*

*Semestre/Grupo:*

*Asignatura:*

*Fecha:*

*Instructor:*

*Experimento No.*

Descripción de cargas actuantes

Tipo	Denominación	Magnitud	Distancia	Observación

*Esquema/s-links de grabaciones*

*Comentarios*

*Firmas de  
responsabilidad:*

### **Discusión: cálculos y resultados**

Los cálculos y resultados se procesan y se presentan de forma organizada y categorizada y se fundamenta en las fórmulas de estabilidad estática o hiperestática:

$$\sum_{i=0}^{i=n} F_i = 0 \quad \text{y} \quad \sum_{j=0}^{j=m} M_j = 0$$

Los cálculos y resultados deben priorizarse en forma de tabla y acompañado de los gráficos, grabaciones que presenten los experimentos realizados.

*UNIVERSIDAD:*

*FACULTAD DE:*

*CARRERA DE:*

*LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE  
EDIFICIOS*

*Estabilidad en sistemas estructurales tipo viga para edificios*

**RESULTADOS**

*Estudiantes:*

*Semestre/Grupo:*

Asignatura:

*Fecha:*

Instructor:

*Experi  
mento  
No.*

Descripción de cargas actuantes

Resultados

Obser  
vación

Tipo

Denom  
inación

Magnitu  
d

Distancia

Carga

Moment  
o

*Esquema/s-links de grabaciones*

*Comentarios/Sugerencias*

*Firmas  
responsabilidad:*

*de*

**Conclusiones**

Se deben anotar partes de teoría, práctica, experimento y resultados que representan relevancia y pertenencia al desarrollo de las experiencias y casos estudiados, incluyendo los equipos e instrumentos utilizados.

De ser pertinente la investigación con prototipos deberá concluirse sobre los resultados y hallazgos encontrados.

### **Recomendaciones/Sugerencias**

Se debe describir recomendaciones/sugerencias al experimento/investigación realizada

### **Bibliografía escrita y electrónica**

Bibliografía básica:

Bibliografía adicional:

## GUIA METODOLOGICA 2

### Comportamiento de sistemas estructurales tipo viga en edificios solicitados por momento flector

#### Objetivo

Determinar el comportamiento y estabilidad por acción del momento flector en vigas solicitadas por un sistema de cargas.

#### Desarrollo teórico

La práctica profesional del Arquitecto y el Ingeniero está directamente relacionada con las edificaciones y su comportamiento mecánico ante esfuerzos o momentos generados por la acción de cargas. En los diferentes componentes estructurales del edificio, los parámetros de diseño están basados en la determinación de fuerzas y momentos para determinar el dimensionamiento de vigas, columnas, otros elementos.

La teoría de las estructuras y su aplicación a la estabilidad de los edificios representan una de las principales aplicaciones al campo técnico del ámbito de la arquitectura e ingeniería.

La estabilidad está determinada por el balance de las dos causa-efecto que representan las dos leyes fundamentales que determinan que la obra sea estable que son:

$$\sum_{i=0}^{i=n} F_i = 0 \quad y \quad \sum_{j=0}^{j=m} M_j = 0. \quad \text{además } M_{reaccionante} \\ = \sum M_{activos}$$

Donde:

$F_i$ : fuerzas actuantes y reaccionantes

$M_i$ : momentos actuantes y reaccionantes

La modelización física estructural de prototipos describe para estructuras estáticas o hiperestáticas los modelos:

Para el caso de la viga presentada en la figura 17 el esquema del modelo físico desarrollado, el momento equilibrante en función de carga y distancia se calcula aplicando de las fórmulas de equilibrio deducidas será:

Escala de Momento:  $\lambda M = \frac{M_m}{M_P}$

$$\lambda M = \lambda F \lambda L = \lambda \gamma \lambda L^4$$

$$M_{reaccionante} = \sum M_{actuantes} = \sum \lambda F_i \lambda L_i =$$

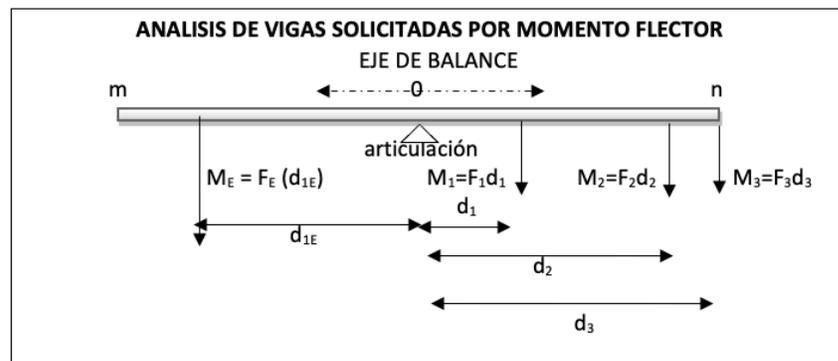
$$\lambda \gamma \sum \lambda L_i^4$$

Escala de Fuerzas:  $\lambda F = \frac{F_m}{F_P}$

$$\lambda F = \lambda \gamma \lambda L^3$$

, siendo

$\gamma$ , peso específico del material



**Figura 17.** Viga simplemente apoyada para análisis del momento flector activo y reaccionante

Cálculo del momento equilibrante  $M_E$ :

$$\sum_{0-n}^{0-m} M_0 = 0 \rightarrow M_E = M_1 + M_2 + M_3 \rightarrow$$

Para el caso de una fuerza equilibrante el modelo es:

$$F_E = \frac{F_1 d_1 + F_2 d_2 + F_3 d_3}{d_{1E}}$$

$$F_E = \sum_{i=1}^{i=n} M_{a-i} = \sum_{i=1}^{i=n} F_{a-1} \frac{d_{a-i}}{d_{E-1}}$$

$$= F_{a-1} \frac{d_{a-1}}{d_{E-1}} + F_{a-2} \frac{d_{a-2}}{d_{E-1}}$$

$$+ F_{a-3} \frac{d_{a-3}}{d_{E-1}} + \dots + F_{a-n} \frac{d_{a-n}}{d_{E-1}}$$

Dónde:

*o*: apoyo y centro de giro

$M_a$  : momento actuante

$M_E$ : momento equilibrante

$F_a$  : fuerza actuante

$F_E$ : fuerza equilibrante

$d_a$  : distancia actuante

$d_E$ : distancia equilibrante

### **Equipos e instrumentos**

El equipo que se utiliza es el denominado “Equipo para análisis de equilibrio por momento flector en sistemas estructurales en edificios”.

El equipo está compuesto principalmente por una base soportante, porta pesas, pesas que simulan la acción de cargas actuantes y generar momentos flectores, niveles ópticos y escalas graduadas para medir distancias. El modelo y los instrumentos se presentan en la figura 18.



**Figura 18.** Equipo para investigar el momento flector en vigas para edificios

### **Procedimiento experimental**

De manera jerárquica el procedimiento experimental es:

1. Identificar la problemática a ensayar
2. Identificar el modelo a utilizar
3. De ser el caso aplicar las ecuaciones de semejanza respectiva y calcular cargas, longitudes y características físicas del prototipo y modelo
4. Encerar y graduar los sistemas y escalas de medición, nivel para el modelo
5. Generar los momentos activos, aplicando en los porta pesas las cargas actuantes en distancia y magnitud

6. Registrar los momentos actuantes y reaccionante a través de las cargas actuantes y de equilibrio medidas en magnitud y distancias
7. Ensayar diferentes casos de acuerdo con el escenario analizado sea prototipo-modelo o solo modelo
8. Registrar digitalmente el experimento
9. Elaborar informe

**Datos y observaciones**

El formato básico para levantar la información del experimento es:

*UNIVERSIDAD:*

*FACULTAD DE:*

*CARRERA:*

**LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL  
DE EDIFICIOS**

**Comportamiento mecánico en vigas para edificaciones  
solicitadas por momento flector**

**LEVANTAMIENTO DE INFORMACION**

*Estudiantes:*

*Semestre/Grupo:*

*Asignatura:*

*Fecha:*

*Instructor:*

*Experiment  
o No.*

Descripción de cargas actuantes

Tipo	Denominación	Magnitud	Distancia	Observación

Esquema/s-Links de grabaciones

Comentario

Firmas de  
responsabilidad:

### **Discusión: cálculos y resultados**

Los cálculos y resultados se procesan y se presentan de forma organizada y categorizada y se fundamenta en las fórmulas de equilibrio:

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^{j=m} M_j = 0 & \quad ; \quad \sum_{i=0}^{i=n} F_i = 0 & \quad ; \quad M_{reaccionante} \\ & = \\ & = \sum M_{i-activos} & \quad ; \quad \sum F_{i-resistente} d_{i-resistente} \\ & = \sum F_{i-activa} d_{i-activa} \end{aligned}$$

Los cálculos y resultados deben priorizarse en forma de tabla y acompañado de los gráficos que pertinentes a los experimentos realizados.

*UNIVERSIDAD:*

*FACULTAD:*

*CARRERA:*

**LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS**

*Comportamiento mecánico estático en vigas para edificaciones  
solicitadas por momento flector*

**RESULTADOS**

*Estudiantes:*

*Semestre/Grupo:*

*Asignatura:*

*Fecha:*

*Instructor:*

<i>Experi mento No.</i>	<i>Descripción de cargas actuantes</i>			<i>Resultados</i>		<i>Observación</i>
	<i>Tipo</i>	<i>Denominación</i>	<i>Magnitud</i>	<i>Distancia</i>	<i>Carga</i>	

*Esquema/s-Links de grabaciones*

*Comentarios/Sugerencias*

*Firmas de responsabilidad:*

**Conclusiones**

Se deben anotar partes de teoría, práctica, experimento y resultados que representan relevancia y pertenencia al desarrollo de las experiencias, incluyendo los equipos presentados y utilizados.

De ser pertinente la investigación con prototipos deberá concluirse sobre los resultados y hallazgos encontrados

**Recomendaciones/Sugerencias**

Se debe describir recomendaciones/sugerencias al experimento/investigación realizada

**Bibliografía escrita y electrónica**

Bibliografía básica:

Bibliografía adicional:

## **GUIA METODOLOGICA 3**

### **Deformacion por flexion de sistemas estructurales tipo viga en edificios**

#### **Objetivo**

Analizar el comportamiento estructural y deformaciones de sistemas tipo viga en edificios.

#### **Desarrollo teórico**

Las obras de ingeniería civil y arquitectura están comúnmente relacionadas con edificaciones que están compuestas por sistemas estructurales de soporte como vigas, columnas, plintos, entre otros elementos, que están integrados e interactuando para que la edificación sea estable.

La problemática estructural puede tener origen en un proyecto diseñado o en un edificio construido.

De manera general la diferencia para abordar el problema con el modelo será, para el diseño la modelación será dirigida para revisar el proyecto y formularse alternativas para optimizar el comportamiento estructural. Para el caso de una obra construida, el modelo se orientará a las dimensiones del sistema existentes y la experimentación con el modelo se orientará a evaluar la problemática y formular y evaluar diferentes situaciones en que puede trabajar el prototipo lo cual, generará resultados que posibilite la toma de decisión de acuerdo a los intereses del inversionista y el profesional.

En todos los casos y espacios situacionales, la experimentación en el modelo estimara cualitativa y cuantitativamente el fenómeno estructural y orientara la factibilidad técnica y

económica de forma optimizada. Además, proveerá un proceso para el desarrollo cognitivo y aporte a la comunidad

Los principios básicos de la teoría estructural establecen que una viga será estable si se cumplen tres leyes fundamentales de la estabilidad:

$$\sum_{i=0}^{i=n} F_i = 0 ; \quad \sum_{j=0}^{j=m} M_j = 0 ; \quad \Delta_{maxima} = \leq \text{Valor admisible por codigos}$$

Dónde:

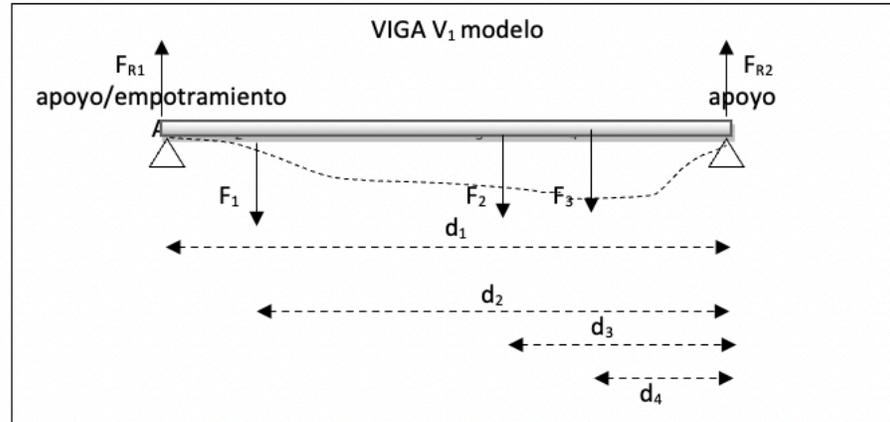
$F_i$ : fuerzas actuantes y reaccionantes

$M_i$ : momentos actuantes y reaccionantes

$\Delta_i$ : *deformacion maxima*

Para la viga presentada en la figura 19, que semeja un estudio de caso para el modelo desarrollado la aplicación de las fórmulas de equilibrio será:

Equilibrio estático en viga



**Figura 19.** Viga simplemente apoyada-deformada

Cálculo de deformaciones y equilibrio por reacciones  $R_A$  y  $R_B$  en viga  $V_1$ :

$$\Delta Y_i = \frac{\iint M_x}{E I} ; \text{expresión general para deformaciones}$$

$$\Delta Y_{maximo} = \frac{F_i}{48 E I} ; \text{viga simplemente apoyada en los extremos y carga concentrada}$$

$$\Delta Y_{maximo} = \frac{5 F}{6 E I} ; \text{viga empotrada en un extremo con carga concentrada}$$

Si la investigación aborda el comportamiento prototipo-modelo físico las expresiones de manera a las planteadas son:

$$\lambda \Delta Y_i = \frac{\iint \lambda M_x}{\lambda E \lambda I}$$

$$\lambda y_{maxima} = \frac{\lambda F}{9 \sqrt[2]{3} \lambda E \lambda L}$$

$$\lambda y_{maxima} = \frac{\lambda F}{48 \lambda E \lambda L}$$

$$\lambda y_{maxima} = \frac{5 \lambda F}{6 \lambda E \lambda L}$$

Escala de Fuerzas:  $\lambda F = \frac{F_m}{F_p}$   $\lambda F = \lambda \gamma \lambda L^3$ , siendo

$\gamma$ , peso específico del material

Escala de Momento:  $\lambda M = \frac{M_m}{M_p}$

$$\lambda M = \lambda F \lambda L = \lambda \gamma \lambda L^4$$

$$\sum_{j=0}^{j=m} M_j = 0 ; \sum_A^E M_E = 0 \rightarrow R_A = F_{R1} = \frac{F_4(d_4) + F_3(d_3) + F_2(d_2)}{d_1}$$

$$F_{R1} = \sum_{i=2}^{i=n-1} F_i \frac{d_i}{d_T} = F_2 \frac{d_2}{d_T} + F_3 \frac{d_3}{d_T} + F_4 \frac{d_4}{d_T} + \dots + F_{n-1} \frac{d_{n-1}}{d_T}$$

$$\sum_A^E F_i = 0 \rightarrow F_{R5} = \sum_{i=1}^{i=n-1} F_i$$

$$= F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + \dots + F_{n-1}$$

Dónde:

$$d_T = d_4$$

$i$  = número de fuerzas incluyendo las reacciones

$F_{R1} = F_1$  y  $F_{R5} = F_5$ : son las reacciones de los apoyos

Para casos de carga distribuidas, el proceso se hará equivalente al analizado, haciendo que

Así mismo, en el caso tener estructuras hiperestáticas, se resolverá con el principio de superposición y haciendo uso del

método de carga unitario y aplicando las expresiones para la deformación.

### **Equipos e instrumentos**

El equipo que se utiliza es el denominado “Equipo para análisis de la deformación y estabilidad de sistemas estructurales en edificios.

El equipo está compuesto principalmente por bastidor soportante, porta pesas, cargas actuantes simuladas con pesas de diferentes masas, medidor digital de cargas reaccionantes, nivel y escalas graduadas para medir distancias. La figura 20 describe uno de los equipos para la experiencia.



**Figura 20.** Equipo para investigar deformación y estabilidad en vigas

## **Procedimiento experimental**

De manera jerárquica el procedimiento experimental es:

1. Identificar la problemática a ensayar
2. Identificar el modelo a utilizar
3. De ser el caso aplicar las ecuaciones de semejanza respectiva y calcular cargas y características físicas del prototipo y modelo
4. Encerar y graduar los sistemas y escalas de medición, nivel para el modelo
5. Ubicar los apoyos de acuerdo con el escenario de análisis
6. Aplicar en los porta pesas las cargas actuantes en distancia y magnitud
7. Registrar las cargas actuantes y de equilibrio medidas en magnitud y distancias
8. Ensayar diferentes casos de acuerdo con la problemática analizada
9. Registrar digitalmente el experimento
10. Elaborar informe

## Datos y observaciones

El formato básico para levantar la información del experimento es:

UNIVERSIDAD:

FACULTAD:

CARRERA:

LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE EDIFICIOS

### ***Deformación en sistemas estructurales tipo viga para edificios***

#### **LEVANTAMIENTO DE REGISTROS**

Estudiantes:

Semestre/Grupo:

Asignatura:

Fecha:

Instructor:

Experimento No.

Descripción de cargas actuantes

Tipo	Denominación	Magnitud	Distancia	Observación
------	--------------	----------	-----------	-------------

Esquema/s-links de grabaciones

Comentarios



UNIVERSIDAD:

FACULTAD DE:

CARRERA DE:

**LABORATORIO DE COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL  
DE EDIFICIOS**

*Deformación en sistemas estructurales tipo viga para  
edificios*

**RESULTADOS**

Estudiantes:

Semestre/Grupo:

Asignatura:

Fecha:

Instructor:

Experi mento No.	Descripción de cargas actuantes				Resultados		Obser vación
	Tipo	Denom inación	Magnitu d	Distancia	Carga	Moment o	

Esquema/s-link de grabaciones

Comentarios/Sugerencias

Firmas de  
responsabilidad:

## **Conclusiones**

Se deben anotar partes de teoría, práctica, experimento y resultados que representan relevancia y pertenencia al desarrollo de las experiencias y casos estudiados, incluyendo los equipos e instrumentos utilizados.

De ser pertinente la investigación con prototipos deberá concluirse sobre los resultados y hallazgos encontrados

## **Recomendaciones/Sugerencias**

Se debe describir recomendaciones/sugerencias al experimento/investigación realizada

## **Bibliografía escrita y electrónica**

Bibliografía básica:

Bibliografía adicional:

## **Evaluación del proyecto**

### **Introducción**

La evaluación se realizó considerando dos escenarios, el primero relacionados solamente aspectos técnicos, económico, sostenible y ambiental, el segundo escenario estima el B/C por el mejoramiento del desarrollo cognitivo que genera el proyecto en los estudiantes y profesional.

Para cada una de las variables del escenario se evaluó de forma integral para obtener un indicador de rentabilidad total.

## **Indicadores de rentabilidad técnica, sostenibilidad, económica y ambiental**

La rentabilidad técnica se evaluó por la sostenibilidad y factibilidad de las facilidades implementadas, mientras que la evaluación económica se realizó relacionando costo por inversión y costo evitado por los modelos y equipos. Para la evaluación ambiental se relacionaron materiales y equipos utilizados en relación con su impacto en el ambiente.

El manejo integrado de los indicadores parciales determinó un indicador integral de rentabilidad, representado como beneficio, costo B/C.

**La sostenibilidad** se la midió por el tipo de materiales y recursos empleados para el desarrollo de modelos y equipos.

El modelo consta de material tipo aluminio y metálico e instrumentado con sensores, niveles, escalas entre otros, obtenidos del mercado local, además, diseño, construcción, calibración, operación y experimentación, fue realizado con recursos tecnológicos y humanos del ámbito local, lo cual determina que el mantenimiento preventivo y correctivo, flexibilidad y los diferentes servicios e investigaciones de los modelos, se caracterizan como proyectos sostenibles.

El indicador beneficio y costo B/C para la variable sostenibilidad, se estimó relacionando los costos totales de los insumos de desarrollo local como, recurso humano, tecnología, inversión, mantenimiento y vida útil del modelo, con los costos de equipos didácticos semejantes adquiridos a una empresa especializada en equipamiento de laboratorios. Actualizando los costos señalados por Calero, M. (2017) y para el horizonte del año 1, el indicador de beneficio-costo se estima en B/C: 4.5.

**La factibilidad operativa técnica** se midió por el proceso experimental de estudios de casos, relacionando los valores

medidos con el equipo creado y lo esperado de acuerdo con el desarrollo teórico-práctico aplicando las fórmulas respectivas. La operabilidad de los equipos que se presentan en las guías para el experimento y los estudios de casos descritos, factibilizan los modelos desarrollados ya que de forma general la variación entre los valores medidos y los teóricos aplicando las fórmulas no exceden al 1% lo cual es válido para experimentos de sistemas estructurales en laboratorios.

Evaluando el número de análisis o alternativas que pueden investigarse en el modelo físico, respecto a la capacidad del prototipo para experimentar alternativas, se evidencia que el modelo físico puede desarrollarse y manejarse en promedio tres (3) alternativas respecto al prototipo sea como proyecto o evaluación post construcción, lo cual, evidencia que el indicador por factibilidad técnica el B/C será 3.

**La factibilidad económica** se abordó relacionando los costos de los equipos, tanto por inversión como costo evitado por el desarrollo.

La evaluación se realizó con el indicador financiero de beneficio/costo B/C; se valoró relacionando los costos del equipo construido con el costo de mercado de equipos para funciones semejantes (Calero, M. 2016). Como se detalla en la parte de costos por los dos equipos desarrollados se estimaron en \$2000.00 (USA), mientras que el costo por equipos con funciones semejantes se valora en el mercado en \$9000.00 (USA); correlacionando los dos valores, el costo evitado o ahorrado fue de \$7000 (USA). El beneficio/costo solo por los equipos es:  $B/C = 7000/2000 = 3,5$  que representa un indicador de alta rentabilidad financiera y factibilidad por inversión.

**La factibilidad ambiental** se determinó analizando los materiales y tecnologías componentes de los tres equipos creados y que se detallan en los diseños. En base de los componentes que son acero, aluminio, sensores digitales y soldaduras comunes se determina que estos no generan impactos negativos al ambiente tanto en la etapa de construcción como tampoco en la etapa de operación y mantenimiento.

Relacionando los impactos ambientales, por los modelos desarrollados con equipos semejantes adquiridos, ninguno generaría conflictos ambientales, por lo cual, no se cuantifica el beneficio y costo.

El indicador de B/C integrado se estimó ponderando los indicadores parciales, calculando que  $(\frac{B}{C})_{integrado} = 3,7$

Los resultados de las evaluaciones determinaron que los equipos son técnicamente factible, viable, sostenible y rentabilidad suficiente para estos proyectos.

### **Indicador de rentabilidad académica y económica**

El indicador B/C, se calculó relacionando variables técnico-económico estimadas como costos y la variable por desarrollo cognitivo a nivel profesional que se consideró como beneficio.

La evaluación estimó que el indicador de costo para la evaluación B/C, se representa por inversión, operación y mantenimiento, recurso docente y que el valor agregado profesional ocurrirá alrededor del segundo año como profesional. Así mismo, el indicador de beneficio se estimó por el nivel de aprendizaje agregado entre los grupos de estudiantes investigados, determinando el impacto cognitivo y

relacionándolo con el potencial incremento económico-laboral por competencia académica agregadas del profesional.

Relacionando los dos indicadores con los resultados de la investigación FCI-001-2019, Calero, M. (2017) y Calero, M. y Calero, L. (2019) y actualizando los indicadores, se calculó que el beneficio costo integrado  $(B/C)_{academico-economico} = 18$ .

El manejo relacional de las variables y su valorización se describen en la tabla 2 que evidencia el B/C calculado.

**Tabla 2.** Evaluación B/C por proceso académico-cognitivo  
**Indicador financiero de beneficio-costos (B/C) por proceso cognitivo**

Rubro	Valoración	
	Parámetro	Costo/Beneficio (\$USA)
<b>1. Costos o Egresos</b>		
Costo por inversión (3 modelos con equipamiento)		2000,0
Costo por operación y mantenimiento anual		1624,0
Total (egresos anuales)		3624,0
Total proyectado (10%-5 años)		5836,5
<b>2. Beneficio Ingresos</b>	0	

<i>Mejoramiento formativo académico</i>	21%
<i>Ingreso económico total mensual por titulado</i>	1672
<i>Beneficio neto mensual por 25 profesionales (primer año)</i>	105336,0
<i>Indicador financiero B/C</i>	18

Los resultados de los dos escenarios para la evaluación, se concluye que la mínima rentabilidad B/C: 3,7, se produce cuando el valor agregado por desarrollo cognitivo no se considera. Sin embargo, se evidencia que el proyecto es altamente rentable.

### **Indicador integrado de B/C**

Los dos tipos de evaluaciones demuestran que el proyecto es rentable y factibilizan los procesos técnicos, económicos y académicos.

Evalutando de forma integral y simultánea las variables pertinentes a los escenarios, tanto, en los beneficios y costos y ponderado por igual para los escenarios, el indicador final de  $B/C = 11$ , el cual, concluye que la rentabilidad es suficiente por el desarrollo de los modelos físicos.

### **Operación-investigación-Casos de estudios**

Los casos de estudios forman parte del desarrollo de la investigación y representan un proceso estudiante-docente que señalan los beneficios del proyecto, en el cual, los participantes consolidaron tanto el uso eficiente del equipamiento del laboratorio y el proceso cognitivo en base a la creatividad, innovación e investigación.

Se abordan tres casos que describen el proceso metodológico y aplicación de los tres equipos e instrumentos creados.

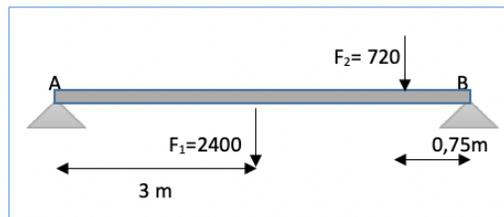
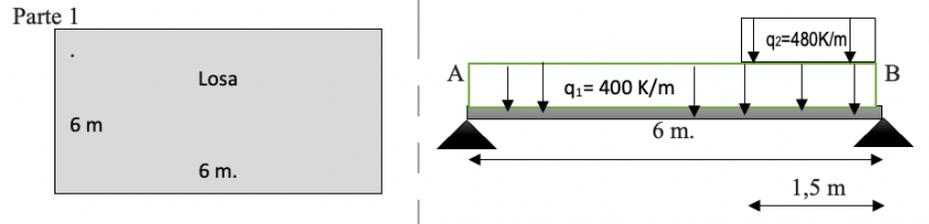
## **CASO DE ESTUDIO 1**

### **Modelo físico aplicado a la estabilidad de sistemas estructurales**

Se proyecta una losa de 6 metros x 6 metros para una edificación, la cual, parcialmente descarga a una viga perimetral de concreto de 6 metros x 0,15 metros x 0,2 metros. La carga viva y la muerta transmitida a la viga se estima en 400 Kg/ml. Adicionalmente en la cuarta parte extremo de la viga existe una pared de mampostería de 1,5 metros x 0,15 metros x 2 metros de altura. La viga este articulada en los extremos. El proyectista decide revisar las cargas transmitidas a los apoyos o columna utilizando modelos físicos que le permitan revisar o modificar los elementos estructurales del prototipo. Determinar:

1. Estabilidad del proyecto/viga
2. Sí, el propietario modifica la pared inicialmente proyectada por otra de 0,15 metros x 4,5 metros de longitud x 4 metros de altura, empleando el modelo físico ¿Cuál será la carga que se transmitirían a los apoyos del prototipo?

Desarrollo:



El prototipo es una losa de concreto, pero, el modelo se investiga con una viga de aluminio.

$$\gamma_{concreto} = 2400 \frac{K}{m^3}; \quad \gamma_{aluminio} = 1600 \frac{K}{m^3}; \quad \gamma_{mamposteria} = 1600 \frac{K}{m^3};$$

Prototipo

$$F_1 = 400(6) = 2400, \quad F_2 = 160(0,15)(2)(1,5) = 720$$

Valores calculados directamente del prototipo para posterior evaluación

$$\sum M_B = 0 = R_A * 6 - 2400 * 3 - 720 * 0,75 \rightarrow R_A = 1290 K.$$

$$\sum F_V = 0 = 1290 - 2400 - 720 - R_B \rightarrow R_B = 1830 Kg$$

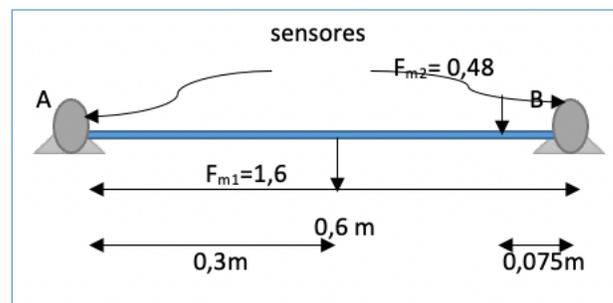
Resolviendo para el MODELO

Seleccionando de acuerdo con la disponibilidad del laboratorio:  $\lambda L = \frac{1}{10}$

$$F_{m1} = F_{P1} \lambda \gamma (\lambda L)^3 = 2400 \left( \frac{1600}{2400} \right) \left( \frac{1}{10} \right)^3 = 1,6 \text{ Kg}$$

$$F_{m2} = F_{P2} \lambda \gamma (\lambda L)^3 = 720 \left( \frac{1600}{2400} \right) \left( \frac{1}{10} \right)^3 = 0,48 \text{ Kg}$$

La estructura de carga en el modelo es:



Los sensores colocados en A y B registraron:  $R_{mA} = 0,86 \text{ Kg}$ ;  $R_{mB} = 1,21 \text{ Kg}$

Los valores que actúan en el prototipo de acuerdo con los valores medidos en los sensores del modelo son:

$$F_P = \frac{F_m}{\lambda \gamma (\lambda L)^3}$$

$$R_{PA} = \frac{F_{mA}}{\lambda \gamma (\lambda L)^3} = \frac{0,86}{\left( \frac{1600}{2400} \right) \left( \frac{1}{10} \right)^3} = 1290$$

$$R_{PB} = \frac{F_{mB}}{\lambda \gamma (\lambda L)^3} = \frac{1,21}{\left( \frac{1600}{2400} \right) \left( \frac{1}{10} \right)^3} = 1830$$

Valores que son similares con los calculados directamente con el prototipo.

Comprobación de valores registrados

$$\sum M_B = 0 = R_{mA} * 0,6 - 1,6 * 0,3 - 0,48 * 0,075 \rightarrow R_{mA} = 0,86 K.$$

$$\sum F_V = 0 = 0,86 - 1,6 - 0,48 - R_{mB} \rightarrow R_{mB} = 1,22 Kg$$

(similares a los registrados)

Los valores registrados por el equipo y los estimados con ecuaciones analíticas por semejanza en el modelo físico se evaluaron con los determinados directamente del prototipo determinando que son similares, concluyendo la validez metodológica, analítica y el desarrollo experimental y experiencial.

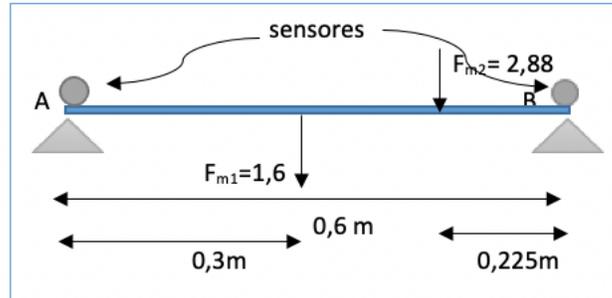
En base a la teoría estructural desarrollada e innovada para la modelación, los números de estabilidad para modelo  $(\#E_{C-M})_{modelo}$  y prototipo  $(\#E_{C-M})_{prototipo}$  son iguales, concluyendo la semejanza y resultados entre los dos sistemas estructurales analizados:

$$(\#E_{C-M})_{modelo} = \frac{0,48+1,6}{0,86*\frac{0,6}{0,6}} = 2,4186$$

$$(\#E_{C-M})_{prototipo} = \frac{720+2400}{1290*\frac{6}{6}} = 2,4186$$

## Parte 2

El estado de carga por las características del problema es:



$$W_{P\text{-pared}} = 1600 * 0,15 * 4,5 * 4 = 4320$$

Del modelo de semejanza:

$$W_{m\text{-pared}} = 4320 * \left(\frac{1600}{2400}\right) * \left(\frac{1}{10}\right)^3 = 2,88 \text{ Kg}$$

$$L_m = \frac{4,5}{10} = 0,45\text{ m}$$

Para el estado de carga del modelo, los sensores registraron:

$$R_{m-A} = 1,88 \text{ Kg.} ; R_{m-B} = 2,6 \text{ Kg.}$$

Las cargas reaccionantes para la estabilidad en el prototipo, a partir de las mediciones de los sensores serán:

$$F_P = \frac{F_m}{\lambda \gamma (\lambda L)^3}$$

$$R_{PA} = \frac{F_{mA}}{\lambda \gamma (\lambda L)^3} = \frac{1,88}{\left(\frac{1600}{2400}\right) \left(\frac{1}{10}\right)^3} = 2820 \text{ Kg.}$$

$$R_{PB} = \frac{F_{mB}}{\lambda \gamma (\lambda L)^3} = \frac{2,6}{\left(\frac{1600}{2400}\right) \left(\frac{1}{10}\right)^3} = 3900 \text{ Kg.}$$

Comprobación de los registros de los sensores en el modelo:

$$\sum M_B = 0 = R_{m-A} * 0,6 - 1,6 * 0,3 - 2,88 * 0,225 \rightarrow R_{m-A} = 1,88 K.$$

$$\sum F_V = 0 = 1,88 - 1,6 - 2,88 - R_{m-B} \rightarrow R_{m-B} = 2,6 Kg$$

Comprobando los valores registrados y de la semejanza, en relación con el prototipo serán:

$$\sum M_B = 0 = R_{p-A} * 6 - 2400 * 3 - 4320 * 2,25 \rightarrow R_{p-A} = 2820 K.$$

$$\sum F_V = 0 = 2820 - 2400 - 4320 - R_{p-B} \rightarrow R_{p-B} = 3900 Kg$$

Los resultados evaluados determinan la validez del modelo, así como, el proceso metodológico y analítico desarrollado.

Los números de estabilidad para modelo y prototipo son:

$$(\#E_{C-M})_{\text{modelo}} = \frac{2,88+1,6}{1,88+\frac{0,6}{0,6}} = 2,383$$

$$(\#E_{C-M})_{\text{prototipo}} = \frac{4320+2400}{2820+\frac{6}{6}} = 2,383$$

La figura 21 indica el análisis del caso estudio 1.

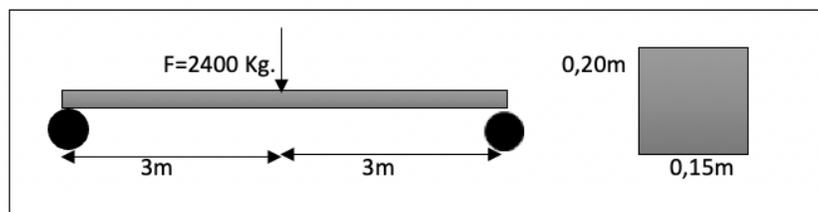


**Figura 21.** Caso de estudio 1

## CASO DE ESTUDIO 2

### Modelo físico aplicado para investigar la deformación en sistemas estructurales

Se proyecta una losa de concreto de 6 m x 6 m, que descarga a una viga metálica de acero perimetral de 6 m x 0,15 m x 0,2 m., simplemente articulada. Se considera que la carga sobre la viga es concentrada y aplicada en el centro con una intensidad de 2400 Kg. Considerando las deformaciones que pueden ocurrir en la estructura, el Proyectista decide estudiar el fenómeno un modelo físico. Determinar la deformación en el prototipo con la información registrada en el modelo y evaluarla su aceptabilidad de acuerdo con las NEC. (deformación máxima  $\Delta_{maxima} \leq 0,005 L$ )



Deformación máxima normada:  $\Delta_{maxima\ acero} = 0,005 * L = 0,03\ m = 3\ cms.$

El prototipo es acero y se toma como modelo una viga de madera por la disponibilidad de equipo. Así mismo, por facilidades se selecciona una escala geométrica de 1/10.

La información básica para la investigación es:

$$\text{Peso específico del acero: } \gamma_{acero} = 7200 \frac{Kg}{m^3}$$

Modulo de elasticidad del acero:  $E_{acero} = 2,1(10)^6 \frac{Kg}{cm^2}$

Peso especifico de la mader (roble blancosemiduro):  $\gamma_{madera}$   
 $= 740 \frac{Kg}{m^3}$

Modulo de elasticidad de la mader:  $E_{madera} = 0,1(10)^6 \frac{Kg}{cm^2}$

Deformacion maxima por flexion para la carga concentrada y en el centro  $(\Delta Y)_{maxima}$

$$(\Delta Y)_{maxima} = \frac{F * L^3}{48 * E * I}$$

$$\lambda L_{geometrica} = \frac{1}{10}$$

Calculo en el prototipo para posterior evaluaci3n con el modelo:

$$I = \frac{b * h^3}{12} = \frac{15 \text{ cms} * 20 \text{ cms}^3}{12} = 10000 \text{ cms}^4$$

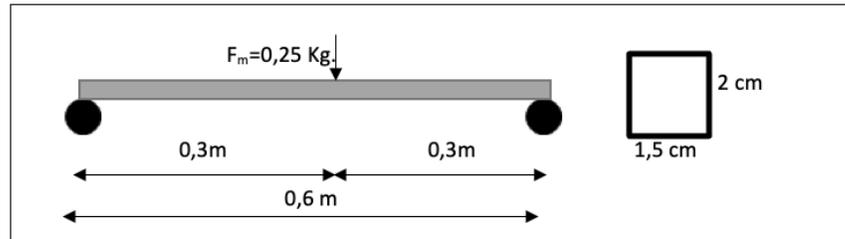
$$(\Delta Y)_{prototipo-maxima} = \frac{F_{prototipo} * L^3}{48 * E * I} = \frac{2400 * 600 \text{ cms}^3}{48 * 2,1(10)^6 * 10000}$$
$$= 0,5 \text{ cms} = 5 \text{ mm}$$

Aplicando el modelo fisico:

C3lculo de las cargas para el modelo y longitudes, as3 como estimaci3n de la deformaci3n m3xima en el modelo:

$$F_m = F_1 \lambda \gamma (\lambda L)^3 = 2400 \left( \frac{740}{7200} \right) \left( \frac{1}{10} \right)^3 = 0,25 \text{ Kg}$$

La estructura y la carga en el modelo es:



Para el modelo cargado la deformación máxima es:

$$(\Delta Y)_{\text{maxima-modelo}} = \frac{F_m * L_m^3}{48 * E_m * I_m}$$

$$F_m = 0,25 \text{ Kg.}; \quad L_m = 60 \text{ cms}; \quad E_m = 0,1 (10)^6 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}; \quad I$$

$$= \frac{b * h^3}{12} = \frac{1,5 \text{ cm} * 2 \text{ cm}^3}{12} = 1 \text{ cm}^4$$

$$(\Delta Y)_{\text{maxima-modelo}} = \frac{F_m * L_m^3}{48 * E_m * I_m} = \frac{0,25 * (60)^3}{48 * 0,1(10^6) * 1 \text{ cm}^4}$$

$$= 0,01125 \text{ cms.}$$

Las dimensiones en modelo y prototipo, así como los materiales de que están contruidos son constantes, lo cual, determina que la deformación será solo función de las fuerzas aplicadas y relacionadas, es decir:  $\Delta = \varphi(F)$ , definiendo una ecuación de la forma,  $\Delta = a(F)$ . La escala de deformación será:

$$\lambda \Delta = \frac{\Delta_m}{\Delta_p} = \frac{0,01125 \text{ cm}}{0,5 \text{ cm}} = 0,022$$

$$\lambda \Delta = \frac{1}{\frac{1}{0,022}} = \frac{1}{45,45}$$

Con el modelo y las escalas se midió que:  $\Delta_{m-\text{medido}} = 0,01 \text{ cm}$

La deformación en el prototipo es:

$$\Delta_p = \lambda \Delta * \Delta_m = 45,45 * 0,011 = 0,5 \text{ cm}$$

Deformación que es semejante al valor determinado directamente con el prototipo.

Evaluando los resultados calculados por el modelo y lo obtenido directamente con el prototipo se valida el modelo físico desarrollado.

Además, de acuerdo con la pregunta relacionada con la deformación admisible, se determina que la deformación no cumple con el valor máximo admisible.

deformacion maxima en el prototipo: 5 mm.

deformacion maxima normada para prototipo:  $0,005 * 6 = 0,3$  mm.

deformacion maxima en el modelo: 0,11 mm.

deformacion maxima normada para modelo:  $0,005 * (6 * 0,022) = 0,007$  mm

El cálculo de los números de estabilidad por deformación es:

$$\# E_{MD(prototipo)} = \frac{(\Delta Y)_{MA}}{(\Delta Y)_{MN}} = \frac{0,5}{0,3} = 16,7$$

$$\# E_{MD(modelo)} = \frac{(\Delta Y)_{MA}}{(\Delta Y)_{MN}} = \frac{0,011}{0,005(6 * 0,022)} = 16,7$$

Por el estudio de caso se recomienda utilizar para el modelo madera ligera a fin de generar desplazamientos fácilmente medibles, observables y en escala característica.

La figura 22, evidencia el desarrollo del modelo para la problemática analizada.



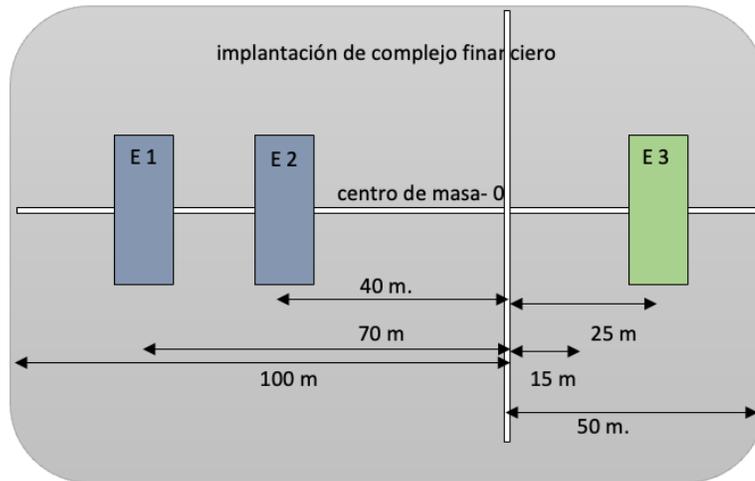
***Figura 22.*** Caso de estudio 2

## **CASO DE ESTUDIO 3**

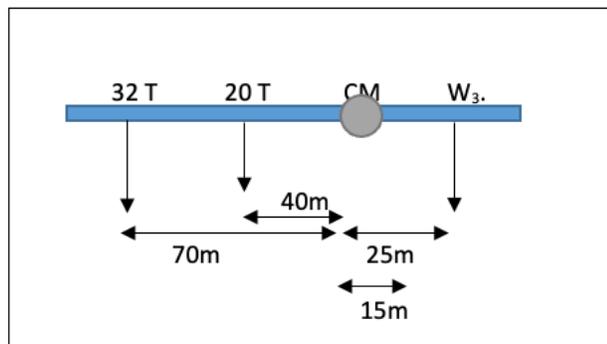
### **Modelo físico para la estabilidad en sistemas estructurales por momento flector**

Se proyecta un complejo financiero como describe el esquema adjunto, en el cual se implantará 3 edificios de concreto. Dos edificios se sitúan a la izquierda del sitio señalado como cero (0) y un tercer edificio a la derecha del sitio cero. Los pesos y distancia de ubicación de los edificios respectivamente en relación con el sitio cero son, edificio 2, 20 toneladas y 40 metros y edificio 1, 32 toneladas con 70 metros, mientras que el edificio 3 esta a la derecha. El sitio cero es de interés geológico-estructural y se caracteriza porque la ingeniería estructural lo define como sitio para el centro de masa del complejo.

El Proyectista decide tomar decisiones en base al estudio en modelo físico para determinar el peso y ubicación del edificio tres, señalando que las distancia deben estar entre 25 metros y 15 metros desde el centro de masa. Determinar la ubicación del tercer edificio en base a las especificaciones planteadas.



La estructura cargada será:



De acuerdo con las facilidades del equipo, se asume una escala  $\lambda L = \frac{1}{50} = 0,02$  y el equipo que simula el sistema es acero, mientras que las estructuras prototipos son concreto.

Los pesos específicos son:

$$\gamma_c = 2400 \text{ Kg}/\text{m}^3. \quad \gamma_{A0} = 7200 \text{ Kg}/\text{m}^3$$

### Prototipo

Evaluación prototipo-modelo. Centro de masa en o, la intensidad de la carga dada por el edificio 3 para la distancia de 25 metros es:

$$\begin{aligned} \sum M_{actuante} &= \sum M_{resistente} = 32 * 70 + 20 * 40 = W_3 * 25 \\ &\rightarrow \rightarrow W_3 = 121.6 \text{ Ton.} \end{aligned}$$

Para el caso de distancia de 15 metros, el peso del edificio 3 es:

$$\begin{aligned} \sum M_{actuante} &= \sum M_{resistente} = 32 * 70 + 20 * 40 = W_3 * 15 \\ &\rightarrow \rightarrow W_3 = 202.67 \text{ Ton.} \end{aligned}$$

### Modelo

Las cargas en los prototipos relacionados con el modelo son;

$$\begin{aligned} F_m &= F_p \lambda \gamma (\lambda L)^3 \\ L_m &= \lambda L * L_p \\ \lambda \gamma &= \frac{\gamma_m}{\gamma_p} = \frac{7200}{2400} = 3 \end{aligned}$$

Expresión para hallar  $W_3 = E_3$ :  $\sum M_{i-j} = 0$ ,  $\sum M_{izq} = \sum M_{dera}$   
Caso 1 cuando  $E_3$  se plantea para  $d = 25 \text{ m}$ .

Las fuerzas en el modelo de acuerdo con las aplicadas en el prototipo son:

$$\begin{aligned} F_{m1} &= F_{p1} \lambda \gamma (\lambda L)^3 = 20 * 10^3 * 3 * (0,02)^3 = 0,48 \text{ Kg} \\ F_{m2} &= F_{p2} \lambda \gamma (\lambda L)^3 = 32 * 10^3 * 3 * (0,02)^3 = 0,768 \text{ Kg} \\ L_{m1} &= \lambda L * L_{p1} = 0,02 * 40 = 0,8 \text{ m}; \quad L_{m2} = \lambda L * L_{p2} \\ &= 0,02 * 70 = 1,4 \text{ m} \end{aligned}$$

$$L_{m3} = \lambda L * L_{3P} = 0,02 * 25 = 0,5 \text{ m}$$

$$\sum M_{izq} = \sum M_{dera}; \quad 0,48 * 0,8 + 0,768 * 1,4 = F_3 * 0,5 \rightarrow \rightarrow$$

$$F_3 = W_3 = 2,92 \text{ Kg.}$$

El peso que debe tener el edificio tres (3) será:

$$F_{P3} = \frac{F_{m3}}{\lambda \gamma (\lambda L)^3} = \frac{2,92}{(3) * (0,02)^3} = 121667 \text{ Kg.} = 121,7 \text{ Ton.}$$

La solución para la distancia del edificio tres (3) a la distancia de 15 metros será:

$$F_{m-E1} = 0,48 \text{ Kg.} \quad F_{m-E2} = 0,768 \text{ Kg.}$$

$$d_{m-E1} = 0,8 \text{ m.} \quad d_{m-E2} = 1,4 \text{ m.}$$

$$d_{m-E3} = \lambda l * L_{p-E3} = 0,02 * 15 = 0,3 \text{ m.} \quad F_3 = W_3 = ?$$

Del modelo:

$$\sum M_{izq} = \sum M_{dera}; \quad 0,48 * 0,8 + 0,768 * 1,4 = F_{m-3} * 0,3 \rightarrow$$

$$\rightarrow F_3 = W_3 = 4,8648 \text{ Kg.}$$

El peso que debe tener el edificio tres (3) será:

$$F_{P3} = \frac{F_{m3}}{\lambda \gamma (\lambda L)^3} = \frac{4,8648}{(3) * (0,02)^3} = 202700 \text{ Kg.} = 202,7 \text{ Ton.}$$

$$F_{P3} = 202,7 \text{ Ton.}$$

Los resultados calculados con el modelo y los determinados directamente con el prototipo resultan semejantes, lo cual, evidencia y valida el desarrollo del modelo y sus mediciones registradas.

El calculo del numero de estabilidad para modelo y prototipo es:

$$(\#E_{C-M})_{\text{modelo}} = \frac{0,48+0,768}{2,92 * \frac{0,5}{0,5}} = 0,428$$

$$(\#E_{C-M})_{\text{prototipo}} = \frac{32+20}{121,6 * \frac{25}{25}} = 0,428$$

La figura 23 evidencia los trabajos realizados para el caso de estudio 3.



**Figura 23.** Caso de estudio 3

## BIBLIOGRAFIA

- Arboleda, V. (2009). *Proyectos. Formulación, Evaluación y Control*. Séptima edición. Cargraphics S. A. Cali, Colombia.
- Ayres, F. (1997). *Matemáticas Financieras*. McGraw-Hill. Impreandes Presencia S.A. Colombia.
- Barrolli, E. Laburú C. et al. (2010). Laboratorio didáctico de ciencias: caminos de investigación. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* Vol. 9, No. 1, 88 - 110. Brasil.
- Beer, P. Johnston, R. (2013). *Mecánica vectorial para ingenieros, Tomo I*. McGraw-Hill de México. S.A. Sexta edición.
- <sup>1</sup>Calero, M. Calero, L. (2021). Evaluación de los modelos de enseñanza y aprendizaje experiencial mediante modelos físicos para estructuras en edificios del ámbito de la arquitectura. IV Encuentro de Investigación e Innovación 2021-PUCE, Sede Ibarra
- <sup>2</sup>Calero, M. Calero, L. (2021). Evaluación técnica y económica en modelo físico en un canal revestido de suelo cemento y no revestido para Tarifa. XXIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica-IAHR-AMH. México.
- Calero, M. Calero, L (2019) Impacto cognitivo y económico en estudiantes de Arquitectura e Ingeniería Civil por modelización física de estructuras para edificios. Ponencia, VI Congreso Científico Internacional INPIN. Universidad Laica Vicente Rocafuerte. Ecuador.
- Calero, M. Calero, L. (2018). Impacto de la modelación física y operación eficiente de prototipos de sistemas estructurales en los aprendizajes en carreras de arquitectura. ISBN: 978-9942-770-26-4. Editorial: Compais. Revisión de pares: Alan Acuña Gamboa – Dr. C. Educación Brendan Janet –

- MSc. en Desarrollo de proyectos. Dirección:  
<http://142.93.18.15:8080/jspui/handle/123456789/227>
- Calero, M. (2017). Impacto de la modelación física y operación eficiente de prototipos de los sistemas estructurales en los aprendizajes de los estudiantes de arquitectura de la Universidad laica Vicente Rocafuerte. Tesis Doctoral. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Perú
- Calero, M. (2016). Beneficio-Costo de la modelación física de sistemas estructurales de edificios para arquitectura. Revista del Instituto de Investigaciones Educativas. Volumen 20 No. 7 Julio 2016. Facultad de Educación de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Cervantes, M. et al. (2009). Alcances y perspectivas del diseño y construcción de prototipos didácticos realizados por estudiantes de ingeniería para su uso en el laboratorio de ciencias experimentales. Tecnológico de Estudios Superiores de Cuautitlán Izcalli, TESCI. México.
- Córdova, P. (2006). Formulación y Evaluación de Proyectos. Ecoe ediciones Ltda. Bogotá, Colombia.
- Crespo, E. Álvarez, T. et.al. (2008). Docentes en la enseñanza de la física. Universidad del Pinar del Río, Cuba. Recuperado de:  
<http://www.monografias.com/trabajos29/practicas-laboratorio/practicas-laboratorio.shtml>
- FCI-001-2019. (2022). Modelación física de prototipos de ingeniería estructural y evaluación del impacto en los estudiantes de la facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Guayaquil con grupos de control y experimental. Informe de cierre en proceso

- Garcés, R. Izurieta, P. (2007). Diseño y construcción de un equipo experimental didáctico de estructuras modelo tipo armadura y pórtico, para el laboratorio de resistencia de materiales de la FIME. Escuela Politécnica de Ejército. Quito, Ecuador
- Golombek, D. (2008). Aprender y Enseñar Ciencias: del laboratorio al aula y viceversa. IV Foro Latinoamericano de Educación (Aprender y enseñar ciencias, desafíos y oportunidades) Fundación Santillana. Buenos Aires. Argentina
- Hibbeler, R. (2011). Mecánica de materiales. Pearson Educación de México, S. A. de C.V. Octava edición.
- Holguín, C. (2011). Diseño y construcción de equipo sencillo para la enseñanza de la física. 5º Congreso Nacional de Enseñanza de la Física. Universidad Pedagógica Nacional U.P.N. Bogotá, Colombia del 16 al 20 de mayo del 2011.
- Instituto Americano del Concreto. (2015). Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318RS-14). Recuperado de: [https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci\\_318s\\_14\\_en\\_espanol.pdf](https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf)
- Landa, R. Rodríguez, E. (2013). Impacto de un compendio de experimentos físicos escolares para los estudiantes de la Escuela Militar "Camilo Cienfuegos" de Ciego de Ávila. Revista Digital. Año 11-Número 3. Julio-septiembre 2013. Universidad de Ciencias Pedagógicas –UCP- “Manuel Ascunce Doménech” Ciego de Ávila-Cuba.
- McCormac, J. (2013). Análisis estructural. Harper&Row Latinoamericana. México. Sexta edición.
- Montes, G. (2004). Prácticas de Laboratorio en ingeniería: Una estrategia efectiva de aprendizaje. Colombia: Universidad de Antioquia, Revista Notas Universitarias.

- Norris, Ch. Wilbur, J. (2012). Análisis elemental de estructuras. McGraw-Hill de México S.A. de C.V. Sexta edición.
- Rodríguez, Á. (2007) Modelación estructural para cargas sísmicas Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia Tunja, Colombia. Recuperado de:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=413940756003>
- Rojas, L. (2008). Evaluación de Proyectos para ingenieros. Ecoe Ediciones. Primera edición. Bogotá, Colombia.
- Vides, D. (2006). Metodología para realizar modelos de concreto reforzado a escala reducida. Proyecto de Grado en la modalidad de investigación para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil. Bucaramanga

ISBN: 978-9942-33-630-9



**compAs**  
Grupo de capacitación e investigación pedagógica

   @grupocompas.ec  
compasacademico@icloud.com