



BOLETIN DE INVESTIGACIÓN

ARTÍCULOS

SENSOR DE FIBRA ÓPTICA TIPO LPG APLICADO A LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD FLEXURAL DE MADERAS
Dr. Luis Mosquera Leiva

IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS VIRTUALES -BIM EN LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS Y VIALIDAD EN LA INGENIERÍA CIVIL
Mag. Ing. Félix Ulloa Velásquez

RESPUESTA DINÁMICA DE PUENTES PEATONALES EN LA DIRECCIÓN LATERAL FRENTE A CARGAS PEATONALES
Ing. Julio León Deza

IMPLEMENTACIÓN DE TECHO VERDE COMO SISTEMA PASIVO EN VIVIENDAS RURALES ALTOANDINAS PARA EL DESARROLLO DE POLÍTICAS PÚBLICAS
Bach. José Lucero Ccencho

CONSIDERACIONES SÍSMICAS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS, CON PROTECCIÓN DE BASE AISLADA
Ing. Cleiver Ayala Flores

UN MODELO MULTI-RESORTE PARA EL ANÁLISIS NO LINEAL DE MUROS ESBELTOS DE CONCRETO ARMADO
Bach. Humberto Rojas Barrueta



UNIVERSIDAD NACIONAL
DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil



Editorial

Con gran satisfacción respondo a la solicitud del señor director (e) del IIFIC-UNI, Dr. Miguel Ángel Torres Matos, de unas líneas de presentación para la séptima edición del Boletín del Instituto.

Es consenso de la comunidad académica de la UNI la prioridad de la investigación y el posgrado. Nuestra Facultad de Ingeniería Civil tiene una larga trayectoria en ambos campos, que le hace posible ofrecer al país un importante número de docentes con doctorado obtenido en universidades de nivel internacional y una constante investigación en áreas fundamentales de la especialidad.

Felicito vivamente el esfuerzo del Dr. Torres, del equipo directivo del Instituto y de los autores de las investigaciones que se publican en este número. Son estos esfuerzos los que nos permiten informar con seriedad de mejoras en la calidad académica. El indicador más significativo viene de la importante empresa de rankings académicos, Quacquarelli Symonds (QS), que cada año publica una tabla de las universidades latinoamericanas. Según QS hace algunos años ocupábamos el puesto 162 entre las universidades de América Latina, el año pasado avanzamos hasta el puesto 128 y este año llegamos al 119.

Es un logro sumamente difícil mantenerse y no retroceder, pues todas las universidades con vocación de superación trabajan constantemente en mejorar sus indicadores de investigación y calidad de los egresados, de manera que, si en un año determinado nos quedamos en los mismos niveles que el año anterior, el resultado será que otras universidades ocuparán nuestro puesto y retrocederemos.

En Latinoamérica el país mejor posicionado es Brasil, porque desde hace 50 años sus gobiernos invierten en investigación científica. Puede decirse que el único país de América del Sur que posee una industria es Brasil y es también el único con institutos de matemáticas de nivel internacional. Otros países como Colombia y Chile están avanzando. De nosotros depende que el Perú mejore sus resultados.

En conclusión, expreso mi confianza en que el aporte del Boletín IIFIC-UNI será cada vez mayor, y por lo tanto tendremos la evidencia de que nuestros docentes investigadores cumplen con esmerada dedicación sus responsabilidades.

Dr. JORGE ELIAS ALVA HURTADO
RECTOR
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Editado por:
Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Civil – FIC
Instituto de Investigación
Av. Túpac Amaru 210, Rímac – Lima
Apartado postal 1301 Lima 100 – Perú
Telfs. 4827944 / 4811070 anexo 4006

Director
Dr. MIGUEL ÁNGEL TORRES MATOS

Colaboradores
Óscar Fernando Limache Ruiz
Poeta, educador y traductor peruano
Jurado evaluador del Concurso de Poesía
"Palabras que construyen" IIFIC 2019

Hecho el Depósito Legal en la
Biblioteca Nacional del Perú N° 2020-01473

Impreso en agosto 2020 en
Foster Miranda Pérez, Jr. Azangaro N° 708
Cercado de Lima
R.U.C.: 10081150805
Correo: serviciosgraficos_ff@hotmail.com

Esta publicación contiene artículos de investigación de experiencia propia de los autores y de recopilación de información de diferentes temas nacionales e internacionales, de interés ingenieril, elaborados cuidadosamente para mostrar al lector lo que actualmente se está investigando y lo que aún queda por hacer.

Editorial **1**

ARTÍCULOS

- 1.- Sensor de fibra óptica tipo LPG aplicado a la determinación del módulo de elasticidad flexural de maderas
Dr. Luis Mosquera Leiva **3**
- 2.- Implementación de herramientas virtuales - bim en la enseñanza de estructuras y vialidad de la ingeniería civil
Mag. Ing. Félix Ulloa Velásquez **6**
- 3.- Respuesta dinámica de puentes peatonales en la dirección lateral frente a cargas peatonales
Ing. Julio León Deza **13**
- 4.- Implementación de techo verde como sistema pasivo en viviendas rurales altoandinas para el desarrollo de políticas públicas
Bach. José Lucero Ccencho **19**
- 5.- Consideraciones sísmicas para el análisis y diseño de estructuras, con protección de base aislada
Ing. Cleiver Ayala Flores **23**
- 6.- Un modelo multiresorte para el análisis no lineal de muros esbeltos de concreto armado
Bach. Humberto Rojas Barrueta **30**

POESÍAS GANADORAS DEL CONCURSO DE POESÍA "PALABRAS QUE CONSTRUYEN" IIFIC 2019

- 1.- Fractales
Est. José Peñaherrera Córdova **37**
- 2.- Recuerdos
Est. Antony Yanac Espinoza **38**
- 3.- Crepúsculo amazónico
Est. Michael Sánchez **40**

SENSOR DE FIBRA ÓPTICA TIPO LPG APLICADO A LA DETERMINACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD FLEXURAL DE MADERAS

L Mosquera¹, L Yana, J Basurto

Síntesis: Nosotros determinamos el módulo de elasticidad flexural Y de distintas maderas aplicando sensores de fibra óptica de período largo (LPG) para monitorear el movimiento oscilatorio de una barra del material en configuración de voladizo. De los datos de frecuencia de oscilación versus la longitud de voladizo y haciendo uso del modelo de Euler- Bernoulli determinamos los valores de Y para las maderas. $Y_{\text{Cachimbo}} = 11,53$ GPa, $Y_{\text{Pino}} = 10,1$ GPa y $Y_{\text{Tornillo}} = 9,86$ GPa fueron determinados.

Palabras Claves: Sensores de fibra óptica. Redes LPG en fibra óptica. Monitoreo de vibraciones. Módulo de elasticidad flexural de maderas

Introducción

Los dispositivos basados en redes gravadas en fibra óptica juegan actualmente un papel importante en el campo de las comunicaciones ópticas y en el diseño de sensores. Existen dos tipos de redes gravadas en fibra óptica: redes de período corto o de Bragg (FBG) con periodicidades del orden de la longitud de onda óptica y redes de período largo (LPG) con periodicidades de varios cientos de longitudes de onda. Desde las primeras redes escritas en fibras de vidrio convencional: FBG (Hill, 1978) y LPG (Vengsarkar, 1996), las técnicas de fabricación de redes y sus aplicaciones han logrado un gran y rápido desarrollo. Diversos métodos de fabricación de redes en fibras ópticas ya han sido desarrollados: exposición de la fibra a láser ultravioleta UV, irradiación con láser de CO₂, grabado por descarga eléctrica, exposición de la fibra óptica a láser de femtosegundos, grabado por material corrugado, etc. Asimismo, redes LPG han sido grabadas en diferentes tipos de fibras ópticas: monomodo, multimodo, de núcleo estructurado, de núcleo hueco, en fibras afinadas, en fibras de sílice y en fibras poliméricas, habiéndose desarrollado numerosos dispositivos basados en estas redes LPG. Nosotros, entre las diferentes técnicas de exposición de la fibra óptica al láser para la grabación de redes, optamos por la técnica de irradiación con láser de CO₂ por ser una técnica que no requiere de fibras especialmente fotosensibles y/o cualquier otro proceso de pretratado de la fibra para escribir la red; asimismo, porque el proceso de irradiación con láser de CO₂ puede ser fácilmente controlado para generar distintos perfiles de redes a través de la técnica de grabado punto a punto y porque se pueden escribir redes LPG en casi todos los tipos de fibras incluyendo las fibras de núcleo estructurado.

Es en este marco, que mostramos en este trabajo el uso de redes de período largo (LPG), fabricadas con el equipo montado en el

laboratorio de física de la Facultad de Ingeniería Civil, aplicándolos en la determinación de los módulos de elasticidad a la flexión de las maderas cachimbo, pino y tornillo.

Objetivo

En este trabajo, mostramos la viabilidad de la aplicación de las redes de fibra óptica tipo LPG para el monitoreo de vibraciones permitiendo a partir de los datos medidos de desplazamiento en función del tiempo la determinación de los módulos de elasticidad flexural de diferentes maderas.

Metodología

1. Viga en voladizo

Una barra del material de interés se dispone en configuración de voladizo. La barra se flexiona ligeramente y se deja oscilar. El movimiento oscilatorio resultante es monitoreado por el sensor de fibra óptica. Usamos un sensor tipo LPG sensible a la curvatura para registrar el desplazamiento de la barra en función del tiempo. Si la barra en la configuración en voladizo se desplaza verticalmente de su estado de equilibrio y luego se libera, el movimiento resultante es oscilatorio y su amplitud decae en función del tiempo. El tratamiento formal de este movimiento, a través de la ecuación de Euler-Bernoulli, indica que la solución general tiene una forma en serie con componentes de frecuencia infinita f_n , dados por la ecuación (1), donde ρ e Y son, respectivamente, la densidad del material y su módulo de elasticidad flexural; A y L son, el área de la sección transversal y la longitud de vibración de la barra; I es el momento de inercia de la sección transversal, que, para una barra rectangular de ancho b y profundidad h , puede calcularse como $b h^3/12$; k_v es la constante de amortiguamiento viscoso del sistema. El valor de la constante λ_n está determinado por las condiciones de frontera del problema [1-2].

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{YI}{\rho A} \left(\frac{\lambda_n}{L}\right)^4 - \left(\frac{k_v}{2\rho A}\right)^2} \quad (1)$$

Se observa, de la ecuación (1), que el conocimiento de un solo componente de frecuencia es suficiente para determinar el módulo de elasticidad flexural Y del material a partir del ajuste de esta ecuación con los datos experimentales de frecuencias del primer modo ($n=1$) correspondientes a distintas longitudes de voladizo de la barra.



¹ Doctor en Ciencias, mención Física.
Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.

E-mail: lmosquera@uni.pe

Miembro del IIFIC – UNI.

iifc.edu.pe

2. Sensor LPG de fibra óptica

El equipo implementado para fabricar el sensor de fibra óptica implementado en el laboratorio de física de la FIC es mostrado en la figura 1.



Figura 1. Láser de CO2 y desplazadores micrométricos utilizados para el grabado de las redes LPG.

La figura 2 muestra la luz viajando por la fibra óptica con red LPG grabada en ella. La red consta de periodos de 500 μm de longitud.

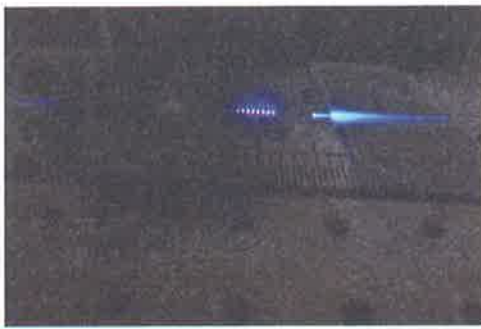


Figura 2. Red LPG de 10 periodos grabada en fibra óptica monomodo comercial.

Las redes (LPG) consisten en una perturbación periódica longitudinal del índice de refracción de la fibra óptica que puede proporcionar acoplamiento entre los modos guiados por el núcleo de la fibra y su revestimiento para ciertas longitudes de onda. La ecuación (2) define las longitudes de onda $\lambda_{(m)}$ donde ocurre el acoplamiento entre los modos referenciados: n_{co} es el índice de refracción efectivo del modo central, $n_{cl}^{(m)}$ es el índice de refracción del m modo del revestimiento y Λ es el período de la perturbación del índice de refracción [1-2].

$$\lambda^{(m)} = (n_{co} - n_{cl}^{(m)}) \Lambda \quad (2)$$

La curvatura origina estiramiento o compresión de la fibra, cambiando los índices refractivos n_{co} , n_{cl} debido al efecto elasto-óptico. Adicionalmente la deformación de la fibra cambia el periodo de la red (Λ) originando, a su vez, variaciones de fase y amplitud en la luz transmitida por la fibra óptica. El cambio de amplitud es dado por la ecuación 3.

$$T^{(m)} = 1 - \sin^2(\kappa^{(m)}L) \quad (3)$$

Donde, $T^{(m)}$ es el dip del m-ésimo modo de la transmitancia y $\kappa^{(m)}$ denota el coeficiente de acoplamiento entre el modo del core y el m-ésimo modo de la cubierta.

3. Arreglo experimental

En esta investigación, se emplearon sensores LPG con períodos de 500 μm y 2,5 mm de longitud impresos en fibras ópticas comerciales usando láser de CO2. La configuración experimental para el monitoreo de las vibraciones de la barra en voladizo se muestra en la figura 3. Se utiliza un SLED superluminiscente como fuente de luz. Un fotodetector acoplado a un osciloscopio transforma la luz transmitida por la fibra óptica en una señal de voltaje eléctrico que es leído por un osciloscopio digital. El sensor LPG es pegado sobre la barra de madera en configuración de voladizo (figura 3a). La barra es inicialmente desplazada de la posición de equilibrio dejándola luego oscilar libremente. La sensibilidad del sensor LPG a las deformaciones de curvatura de la barra permite monitorear el movimiento oscilatorio de la barra.

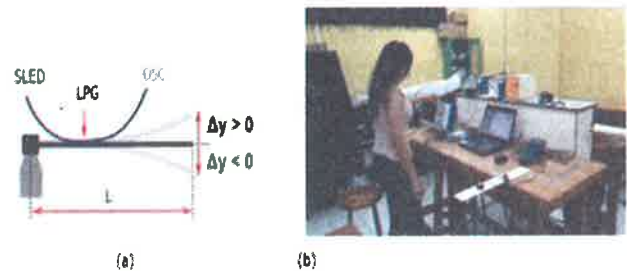


Figura 3. Diagrama esquemático y fotografía del arreglo experimental utilizado para el monitoreo de las vibraciones de las barras.

4. Resultados

La tabla 1 muestra los valores de las dimensiones, densidades, porcentajes de humedad y momento de inercia de las maderas estudiadas.

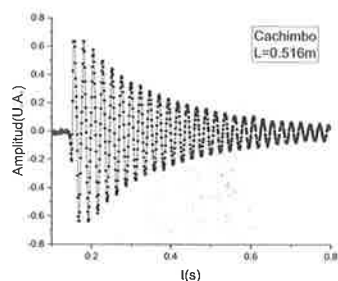
Tabla 1

Material	h (m)	b (m)	P (kg/m^3)	$I \times 10^{-8}$ (kgm^2)	Humedad (%)
Cachimbo	0,0158	0,0513	590	1,6862	12,42
Pino	0.0149	0.04925	465	1.3576	10,91
Tornillo	0.01574	0.05175	470	1.6817	11,39

La barra en configuración de voladizo se desvía ligeramente de la horizontal y luego se suelta, dejándola oscilar libremente. La señal transmitida por la fibra óptica es captada por un fotodetector cuya medida es observada y guardada por un osciloscopio digital (figura 4a). Al tomar la transformada de Fourier de la señal medida por el osciloscopio, se pueden identificar los componentes de frecuencia del movimiento de la barra oscilante. La figura 4b muestra la amplitud de la transformada rápida de Fourier (FFT) en función de la frecuencia para la madera Cachimbo con longitud de voladizo $L=0,516\text{m}$.

El valor del módulo de elasticidad flexural Y del material se determina a partir del ajuste de parámetros de la curva que cumple la ecuación 1 con los datos experimentales de la barra en voladizo.

(4a)



(4b)

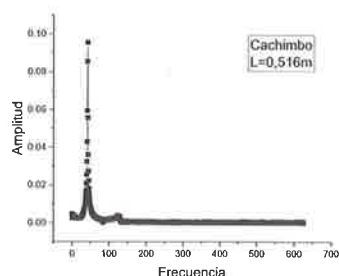


Figura 4. a) Transmitancia del sensor LPG versus el tiempo. b) Transformada rápida de Fourier (FFT).

Las curvas de ajuste correspondiente a las maderas Cachimbo, Pino y Tornillo son mostradas en la figura 5.

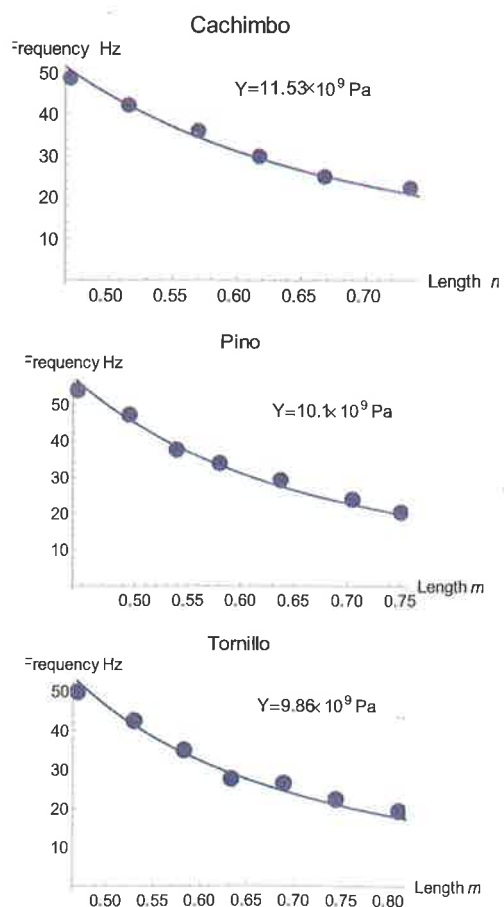


Figura 5. Las frecuencias f_1 (círculos azules) versus la longitud de voladizo. Las curvas sólidas representan el ajuste de la ecuación (1) con los datos experimentales de las maderas.

Los valores de los módulos de elasticidad a la flexión, determinados por esta técnica no destructiva, para las maderas estudiadas son mostrados en la tabla 2. Los valores determinados están de acuerdo con el orden de magnitud de los valores reportados medidos utilizando diferentes técnicas [3-6].

Tabla 2. Módulos de elasticidad flexural de las maderas

Material	γ (GPa)	γ_{ref} (GPa)
Cachimbo	11.53	9.29-12.84
Pino	10.1	8.0-13.1
Tornillo	9.86	8.2-10.9

Conclusiones y Recomendaciones

En este artículo damos a conocer la aplicación de sensores de fibra óptica tipo LPG al monitoreo de vibraciones. Medición de la amplitud de vibración de una regla en configuración de voladizo nos ha permitido determinar los valores de los módulos de elasticidad flexural de las maderas cachimbo, Pino y Tornillo. Los valores encontrados se mostraron en buen acuerdo con los valores determinados usando otras técnicas y distintos sensores basados en medidas de resistencia, capacitivas, magnéticas, acústicas, etc.

Los sensores de fibra óptica han sido fabricados con el equipo implementado en el laboratorio de física de la facultad, lo que nos sitúa en capacidad de medir diferentes parámetros físicos haciendo uso de la tecnología de fibras ópticas.

Referencias

- [1] L Mosquera, Jonas H Osório and Cristiano M B Cordeiro. "Determination of Young's modulus using optical fiber long-period gratings". Meas. Sci. Technol. 27 (2016).
- [2] Rafael M. Digilov and Haim Abramovich. "Flexural Vibration Test of a Beam Elastically Restrained at One End: A New Approach for Young's Modulus Determination". Advances in Materials Science and Engineering (2013).
- [3] P Langbourd et all. "Comparison of wood properties of planted big-leaf Mahogany (Swietenia Macrophylla) in Martinique island with naturally grown Mahogany from Brasil, Mexico and Perú". Journal of tropical Forest Science 23(3):252-259 (2011).
- [4] Yoza L., Baradit E. & Acevedo M., "Characterization of the physical mechanics properties of the peruvian species, pino (pinus patula) and tornillo (cedrelinga cateniformis) by using non destructives techniques". Anales Científicos, 76 (1): 12-16 (2015). DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.758>
- [5] JuliánAndrés Zárate Ramírez and óscar Javier Gutiérrez Junco, "Wood species used in Boyacá characterization, according the Colombian Earthquake-Resistant Construction's Regulations". Engineering Faculty Journal, UPTC, January-June (2012), Vol. 21, No 32, pp.73-91.
- [6] A. Aróstegui and A. Sato. "Study of the physical-mechanical properties of wood from 16 forest species in Peru". Revista Forestal del Perú V.4 (1-2):1-13.

IMPLEMENTACIÓN DE HERRAMIENTAS VIRTUALES- BIM EN LA ENSEÑANZA DE ESTRUCTURAS Y VIALIDAD EN LA INGENIERÍA CIVIL

Jefe de proyecto

Mag. Ing. Félix Wilfredo Ulloa Velásquez

Asesores

Dr. José Carlos Matías León

Dr. Rafael Rolando Salinas Basualdo

Egresados

Bach. Ing. Civil Adolfo Anahui Mamani

Bach. Ing. Civil David Arturo Palomino Paucar

Alumnos

Sak Clinton Inga Pariona

Alex Daniel Romani Rivera

labdcvfic@uni.edu.pe



Universidad Nacional de Ingeniería
CONCURSO PROYECTOS DE
INVESTIGACIÓN IIFIC 2016

Sinopsis: La presente investigación está enfocada a usar las herramientas virtuales BIM en la enseñanza en la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, en el área de Caminos con el diseño de obras viales como carreteras y obras complementarias, así mismo en el área de Estructuras con el diseño de los sistemas estructurales más usados en el Perú como el sistema estructural de concreto armado, y el sistema estructural de acero en naves industriales, beneficiando así principalmente a los estudiantes y docentes de la FIC.

Palabra Clave: Herramientas virtuales, BIM, Caminos, Vialidad, Estructuras, Ingeniería Civil.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la enseñanza de pregrado como en la vida profesional, el modelamiento, análisis y diseño de obras viales se limita al uso básico de curvas de nivel aproximadas obtenidas mediante el proceso tradicional de levantamiento topográfico por estación total y en otros casos mediante fotogrametría aérea tripulada (aviones), que no permite la opción de corrección y percepción de la forma de la superficie en estudio.

En cuanto al modelamiento, análisis y diseño de estructuras se vienen realizando en forma separada, en el presente proyecto se presentará un flujo de trabajo integral del modelamiento, análisis y diseño. Para este caso se utilizará un edificio de concreto armado y una nave industrial, los cuales son parte de la formación profesional de un ingeniero civil; no obstante, el aprendizaje de los cursos de estructuras, recibido a nivel de pregrado resulta ser complejos debido a su alto grado de cálculo para el desarrollo de un proyecto estructural.

OBJETIVO

Implementar las herramientas virtuales que ofrece el BIM en la enseñanza de la especialidad de estructuras y vialidad de la Ingeniería Civil.

Objetivo Específicos

Propiciar el uso de las herramientas BIM por los docentes involucrados en la especialidad de estructuras y vialidad.

Fomentar y promover en los estudiantes el uso de la metodología BIM mediante talleres, eventos y conferencias.

ANTECEDENTES

Las metodologías de enseñanza han ido evolucionando a lo largo de los años, empezando desde antes que existiera el papel, cada día avanzando a pasos agigantados con el desarrollo de la tecnología, llegando a estos tiempos a usar las computadoras para hacer los cálculos ingenieriles de manera más rápida; sin embargo, el estudiante generalmente tiene que imaginar los fenómenos explicados en clase muchas veces a través de imágenes en 2D.

La metodología BIM es la evolución del diseño asistido por computadora que usa softwares como por ejemplo AutoCAD, el cual se basa en el uso de líneas, curvas y figuras en dos dimensiones para representar objetos geométricos. A diferencia del AutoCAD, un software BIM usa elementos inteligentes en tres dimensiones que contienen información de la infraestructura del proyecto necesaria para su construcción.

El modelamiento, análisis y diseño en la etapa de pregrado se viene realizando mediante metodologías tradicionales, mediante la utilización de curvas de nivel mediante estación total, en donde tanto el estudiante como el docente tienen que realizar suposiciones que no son captadas por todos, haciendo que la clase se torne no tan atractiva. La PROPUESTA DE VIALIDAD busca implementar la metodología BIM mediante un flujo de trabajo más dinámico, objetivo y visualmente más atractivo.

Los sistemas estructurales más usados son de concreto armado y de acero estructural, los cuales son parte de la formación profesional de un ingeniero civil; no obstante, el aprendizaje de los cursos de estructuras, recibido a nivel de pregrado resulta ser complejos debido a su alto grado de cálculo para el

desarrollo de un proyecto estructural. Ante ello la PROPUESTA DE ESTRUCTURAS busca implementar herramientas que ayuden a los docentes a mejorar su nivel de enseñanza y así permitir al estudiante recibir un aprendizaje más gráfico y aproximado de lo que se quiere explicar en tercera dimensión.

En nuestra Facultad de Ingeniería Civil el Laboratorio de Diseño y Construcción Virtual fue creado mediante RD N° 061-2013/FIC-UNI del 19 Setiembre del 2013 tiene como Misión:

Propiciar la difusión de la tecnología virtual en la comunidad de ingeniería en nuestro País

Propiciar la colaboración multidisciplinaria de las especialidades de ingeniería para obtener soluciones integrales que sean sostenibles

Promover el uso de la tecnología virtual en la integración de la gestión con la ingeniería

Propiciar la innovación y la integración de ideas y tecnologías en los campos público, privado y académico

Brindar servicios de Investigación & Desarrollo en tecnología y procesos constructivos.

En ese desarrollo el Lab DCV de la UNI, inició el estudio de las herramientas BIM para el diseño de obras viales y diseño estructural.

PROPUESTA DE VIALIDAD

En esta oportunidad se dictó un curso taller a los alumnos de la rama de caminos mediante el enfoque BIM para el diseño de carreteras. El software BIM a utilizar en este taller fue el Autodesk Infracworks.

Autodesk Infracworks es un software que nos ayudará en el diseño preliminar del proyecto y que permitirá tener varias alternativas al comienzo de los mismos, podemos combinar y conectar datos de diversos tipos para ver, analizar, comparar, compartir y gestionar mucha información que nos permite tomar mejores decisiones en el contexto de un modelo tridimensional y realista.



Imagen 01. Superficie de terreno obtenido en Infracworks

Podemos organizar las capacidades de Infracworks por la cantidad de datos que podemos conectar como modelos digitales de terreno, archivos lidar, archivos raster, ortofotos, archivos GIS, modelos REVIT, así

como modelos de AutoCAD Civil 3D; esto nos permite realizar modelos del mundo real en tiempo real.

Mediante el modelo generado podemos realizar varias alternativas de trazo, presentar al cliente y tomar la mejor decisión.

Autodesk Infracworks contempla 3 módulos, una específicamente para carreteras, con el cual podemos pre diseñar trazos en planta y en perfil. También tenemos el módulo de puentes e hidrología.



Imagen 02. Vista en Planta y Perfil de un trazo vial en Infracworks

Optimización de trazo

El Software Infracworks también realiza un trazo optimizado (mejor opción de trazo, tomando en cuenta la variable de movimiento de tierras), en donde el software mediante dos o más puntos (Inicio de tramo, puntos obligados de paso y Fin de tramo) trazara la mejor alternativa.

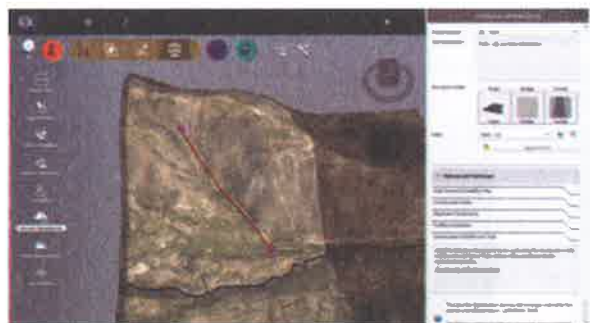


Imagen 03. El trazo de vía optimo mediante Infracworks



Imagen 04. Presentación de una infraestructura vial en el Software Infracworks.

Levantamiento fotogramétrico mediante dron

Esta metodología de levantamiento fotogramétrico no tripulados es un tanto reciente, esto desde la aparición de los vehículos de vuelo no tripulados que tienen incorporados sistemas de posicionamiento global (GPS) y una cámara.

Se llama plan de vuelo al conjunto de cálculos previos a la realización de un vuelo fotogramétrico, mediante los cuales se organiza las operaciones para conseguir el fin propuesto con las condiciones que se han establecido.



Imagen 05. Plan de vuelo con el software Map Pilot for DJI en el área del Proyecto.

Una vez realizado el plan de vuelo mediante el software antes mencionado, se han de obtener las coordenadas E, N, h de determinados puntos bien definidos en el terreno (puntos de control) e identificables en las fotos mediante una marca distinguible. Para la restitución fotogramétrica del proyecto del curso, se utilizará el software PIX4D mapper Pro, para lo cual se cargaran las fotos digitales obtenidas mediante el vuelo del DRON.

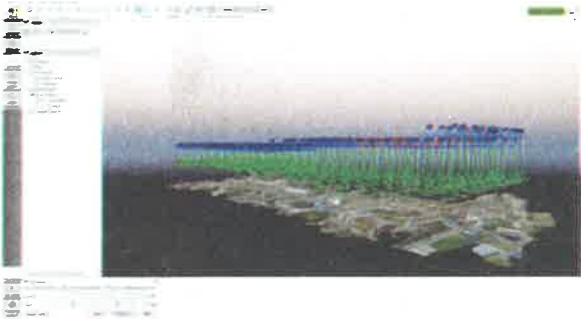


Imagen 06. Restitución fotogramétrica en PIX4D

Presentación y planos

A continuación, como etapa final del proyecto del curso, se elaborarán los planos de planta, perfil y secciones, como se puede apreciar una muestra en la Imagen, esto en el software BIM Autodesk Civil 3D, en donde los formatos y escalas acorde a lo indicado a las especificaciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones que también se muestran.

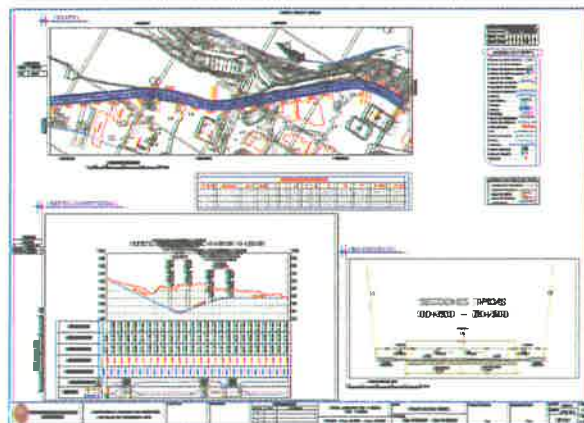


Imagen 07. Presentación de documentos – Planos

DICTADO DEL CURSO TALLER EN VIALIDAD

Las asignaturas de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI participantes del curso taller fueron DISEÑO VIAL, TRÁNSITO Y DISEÑO VIAL y PLANEAMIENTO.



Imagen 08. Fotografía del Curso Taller.

Los participantes de los cursos de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, se dividió en dos grupos, los SABADOS Y DOMINGOS, en donde en el primer se tuvo 20 participantes y el segundo 22 participantes respectivamente.

El contenido del curso taller a los alumnos de pregrado fueron los siguientes temas.

Semana 1

- BIM y la Ingeniería Vial
- Interfaz y modelado

Semana 2

- Modelamiento de carretera, Obras de arte y
- Optimización de trazo

Semana 3

- Plan de vuelo
- Restitución fotogramétrica y
- exportación a AutoCAD Civil D.

También se capacito a los miembros del INSTITUTO PARA LA MITIGACIÓN DE LOS EFECTOS DEL FENOMENO EL NIÑO – IMEFEN, a quienes se les mostro las bondades del software Infracworks 360 en sus cuatro módulos, así como el post proceso de restitución fotogramétrica mediante Drone.

El modulo en el que más énfasis se dio fue el módulo de hidrología en la cual se vio las bondades de delimitación de cuenta en función de un punto de interés tal como podemos ver la Imagen 09.



Imagen 09. Fotografía con integrantes del IMEFEN.

En este grupo los participantes fueron alumnos de pregrado y postgrado en un numero de 05 integrantes pertenecientes al IMEFEN; a este grupo se les capacito en los temas de:

- Obtención de áreas de estudio a nivel mundial mediante el Infracworks.
- Delimitación de cuentas, en función de un punto de interés mediante Infracworks.

También se tuvo la capacitación a los alumnos del curso de PLANEAMIENTO en un numero de 05 alumnos más el docente del curso (Fotografía 10), en donde se presentó las aplicaciones que tiene el software para el planeamiento urbano y rural con data obtenida del Model Builder, el cual nos provee información topográfica y othomosaico del área de interés.



Imagen 10. Fotografía del Curso Taller con los alumnos de Planeamiento.

Y finalmente se realizó una segunda convocatoria para el curso taller de Autodesk Infracworks para los docentes e involucrados en la rama de vialidad, contando con la presencia de nuestros docentes FIC-UNI tal como se puede apreciar en la Imagen 11.

Los temas que se tocaron en el Lab DCV en el Departamento de Construcción fueron los siguientes:



Imagen 11. Fotografía del Curso Taller con los docentes del Departamento de Vialidad.

En el grupo de docentes participantes del departamento de Vialidad y Geomática FIC – UNI, se tuvo la participación de 03 docentes, en donde se tocaron los temas:

Semana 1

- BIM y la Ingeniería Vial
- Interfaz y modelado

Semana 2

- Modelamiento de carretera, Obras de arte y
- Optimización de trazo

Semana 3

- Plan de vuelo
- Restitución fotogramétrica y
- exportación a AutoCAD Civil D.

PROPUESTA DE ESTRUCTURAS

Para la rama de estructuras se dictó el curso taller Autodesk Robot Structural Analysis Professional (ROBOT), dicho software BIM a utilizar es de la empresa Autodesk.

Autodesk Robot Structural Analysis Professional es un software que nos ayudará en el modelado, análisis y diseño del proyecto y que nos permite tener un entorno de trabajo BIM.

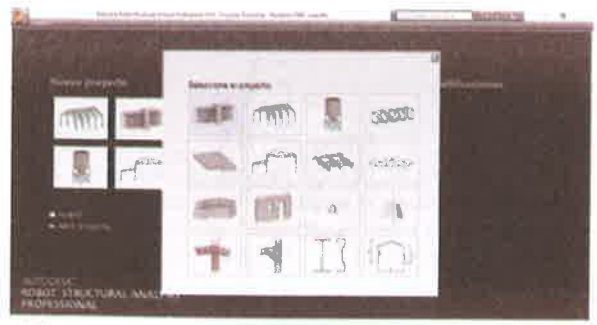


Imagen 12. Pantalla de inicio de Robot Structural

Podemos trabajar con estructuras de concreto armado, así como con acero estructural.

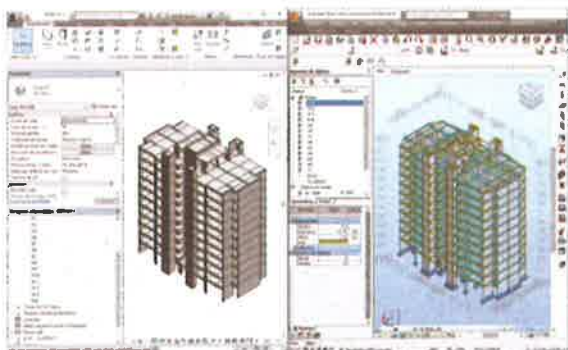


Imagen 13. Modelo de estructura de concreto armado

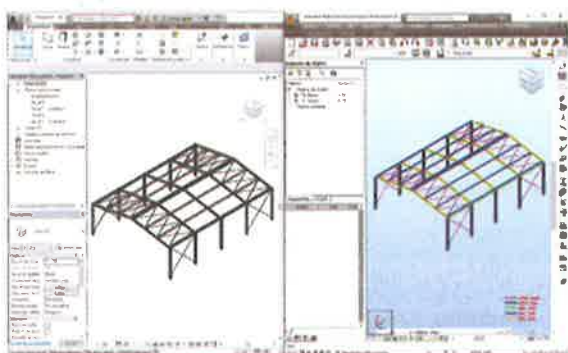


Imagen 14. Modelo de estructura de acero – Nave Industrial

Podemos conectar los modelos digitales de ROBOT con Autodesk Revit (REVIT); esto nos permite realizar modelos interactivos y con posibilidad de modificación en tiempo real.

Mediante el modelo generado podemos realizar el análisis estático lineal y no lineal así como también el análisis dinámico modal – espectral.

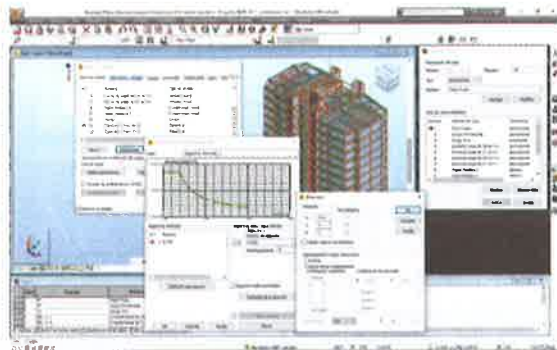


Imagen 15. Espectro de pseudoaceleración

Optimización del diseño

ROBOT realiza un diseño optimizado, en donde el software muestra en 3D los diámetros, así como las cantidades y formas de acero de refuerzo a emplear.



Imagen 16. Diseño de una viga armada de 3 tramos

ROBOT también realiza el análisis y diseño de los elementos estructurales de la cimentación, así como zapatas, zapatas conectadas y vigas de cimentación

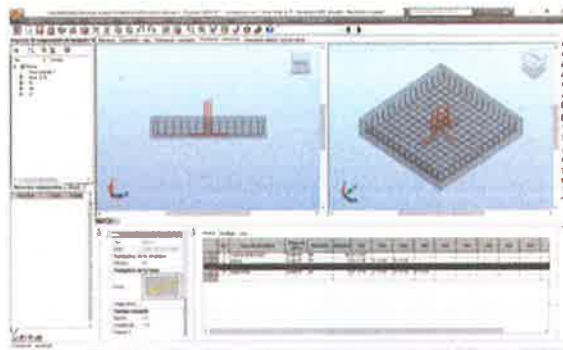


Imagen 17. Diseño de una zapata aislada

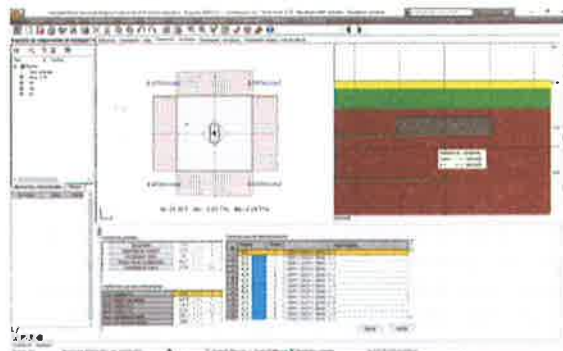


Imagen 18. Análisis de una zapata aislada

Otra de las bondades de ROBOT es que entrega una memoria del cálculo justificativo de las estructuras diseñadas y entrega un plano de detallado de cada elemento estructural, cabe decir de vigas, columnas, placas, losas, zapatas.

Presentación y planos

A continuación, como etapa final del proyecto del curso, se revisan los planos de los elementos estructurales.

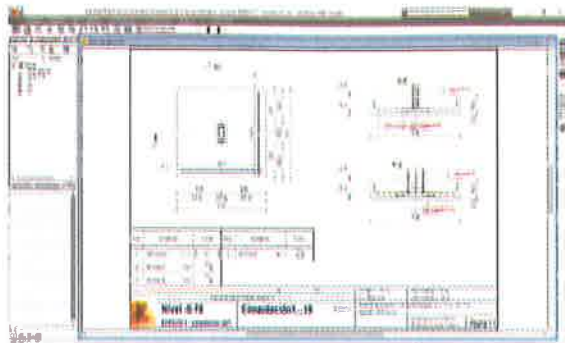


Imagen 19. Plano de zapata aislada

De la imagen anterior se observa el plano de una zapata aislada donde se aprecia la vista en planta, cortes longitudinal y transversal, así como el detallado de las varillas de refuerzo a usar.



Imagen 20. Reporte de los cálculos hechos por ROBOT

Por último, ROBOT entrega una memoria de los cálculos hechos, cuantificando a su vez el volumen de concreto, así como las cantidades y formas de las varillas a usar.

DICTADO DEL CURSO TALLER EN ESTRUCTURAS

Las asignaturas participantes del curso taller fueron:

ANÁLISIS ESTRUCTURAL II E INGENIERÍA SISMORRESISTENTE Y PREVENCIÓN DE DESASTRES.



Imagen 21. Fotografía del Curso Taller de Estructuras

Del mismo modo que en Vialidad, en estructuras los participantes de los cursos de pregrado de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, se dividió en dos grupos, los SABADOS Y DOMINGOS, en donde en el primer se tuvo 18 participantes y el segundo 15 participantes respectivamente.

El contenido del curso taller a los alumnos de pregrado fueron los siguientes temas:

Semana 1

- BIM y la Ingeniería Estructural
- Interfaz y modelado

Semana 2

- Análisis estático y dinámico según la norma E.030 – RNE.
- Diseño de super estructura

Semana 3

- Diseño de sub estructura
- Integración ROBOT-REVIT.

También se capacitó a 5 miembros del CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID, a quienes se les mostro las bondades del software Autodesk Robot Structural Analysis Professional.

El módulo en el que más énfasis se dio fue el análisis y diseño de concreto armado para edificaciones en la cual se vio las bondades gráficas en 3D de los elementos estructurales, así como la interactividad con la metodología BIM.



Imagen 22. Fotografía con integrantes del CISMID.

Y finalmente se realizó una segunda convocatoria para el curso taller de Autodesk Robot para los docentes e involucrados en la rama de estructuras, contando con la presencia de nuestros docentes FIC-UNI. Se contó con una participación total de 6 docentes.



Imagen 23. Fotografía del Curso Taller con los docentes del Departamento de Estructuras.

Los temas que se tocaron en el Lab DCV en el Departamento de Construcción fueron los siguientes:

- Interfaz y modelamiento
- Estructuras aplicado a BIM

- Análisis y diseño de edificaciones de concreto
- Detallado de elementos estructurales

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El uso del flujo de trabajo BIM en la etapa de diseño es una novedosa propuesta de gestión del diseño de infraestructura vial, así como también lo es en el diseño de estructuras en nuestro país, que permitirá tomar decisiones en esta etapa, eliminando ambigüedades y suposiciones por falta de información y obtener mejoras en la productividad como las que se obtienen en países que van adoptando esta metodología.

En proyectos de infraestructura vial que se diseñará ya no deberá considerar como un conjunto de planos en 2D, sino como un grupo de objetos que contienen información en más dimensiones.

En proyectos de estructuras se diseñará de manera más eficiente aprovechando el entorno BIM, usando en todo momento modelos 3D y obteniendo como resultado de estos los planos en 2D como documentación impresa.

El modelamiento de información de análisis y diseño (BIM) es un proceso inteligente basados en modelos 3D que ofrece una visión precisa, accesible y practica para permitir una mejor toma de decisiones durante el ciclo de vida del proyecto.

El flujo de trabajo BIM y toda nueva tecnología pasa por un proceso de maduración, se recomienda la difusión de los conceptos, beneficios y limitaciones a nivel de pre y post grado en las universidades.

REFERENCIAS

- Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015: Essentials (Inglés). Ken Marsh. October 2014.
- BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors – 2da edition (Inglés). Chuck Eastman, Paul Teicholz, Rafael Sacks, Kathleen Liston. April 2011.
- Case Study: Scope-Cost-Time Integrated Model with Work Breakdown Structure. Stanford University - Peterson, F., R. Fruchter, and M. Fischer. Paper: WP 115 - Center for Integrated Facility Engineering, Stanford, CA, APRIL 2009.
- Diseño geométrico de vías. Chocontá Rojas, Pedro Antonio. Bogotá Escuela Colombiana de Ingeniería 2004.
- Investigaciones en Tecnologías de Información Aplicadas a la Industria A/E/C (Arquitectura, Ingeniería y Construcción). Mourgues, C., and M. Fischer. Paper: TR 124 -. January 2001.
- Manual de Carreteras - Diseño Geométrico DG-2013. Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Lima, 2013
- Tesis para optar el título de ingeniero civil "Metodología para minimizar las deficiencias de diseño basada en la construcción virtual usando tecnología BIM". Paul Vladimir Alcántara Rojas. Lima 2013.
- Tesis para optar el título de ingeniero civil "Modelamiento virtual de armaduras para mejorar la constructabilidad en estructuras de concreto armado". Luis Felipe Quiroz Mory. Lima 2015.

RESPUESTA DINÁMICA DE PUENTES PEATONALES EN LA DIRECCIÓN LATERAL FRENTE A CARGAS PEATONALES

Julio Alfredo León Deza¹

Sinopsis: En las última décadas del siglo XX e inicios del siglo XXI numerosos puentes peatonales experimentaron vibraciones excesivas en la dirección lateral, casos como el Millenium, Solferino y Toda entro los más conocidos, causando en los peatones dificultades para cruzar y requiriendo frecuentemente caras reparaciones. El presente reporte resume la investigación realizada sobre el problema de la vibraciones laterales producidas por el cruce de peatones en puentes peatonales, conocido como Fenómeno de excitación sincrónica lateral, a través del estudio del fenómeno de excitación sincrónica lateral, de los modelos de carga peatonal que simulan el paso peatonal y del análisis de vibración lateral de la pasarela adyacente al puente peatonal "Rayitos de sol" que cruza el río Rímac cerca al centro de Lima. Este puente en particular presentaba excesivas vibraciones laterales desde su construcción en 2006 hasta el momento que fue desarrollado la investigación en 2016. Esta situación particular constituyó un estado ideal para el desarrollo del trabajo experimental que fue parte de la investigación. En general se obtuvieron aceleraciones dentro de los límites permitidos, siendo algunos de estos sobrepasados en casos particular evidenciándose la presencia del fenómeno de excitación sincrónica lateral.

Palabras Claves: Puentes peatonales, Cargas peatonales, Vibración ambiental, resonancia, elementos finitos.

Introducción

En las últimas décadas el estudio del comportamiento dinámico de puentes peatonales ha sido de gran interés para la comunidad científica y especialmente para la Ingeniería Civil, esto debido a grandes acontecimientos ocurridos en donde puentes peatonales colapsaron o tuvieron que ser cerrados para su evaluación producto de que presentaban vibraciones excesivas en su dirección lateral. Estos hechos se acrecentaron tras los eventos ocurridos en junio del 2000 durante la inauguración del puente Millennium en Londres. P. Dallard et al. en 2001 describió el fenómeno y descubrió que el movimiento del puente Millennium fue claramente causado por la gran carga lateral peatonal, la cual no había sido anticipada durante el diseño.

Esta no evaluación de los efectos dinámicos de la carga peatonal en la etapa de diseño, puede producir en algunos casos consecuencias como la incomodidad de los peatones producto de las vibraciones y vaivenes perceptibles, haciendo que el puente pierda servicialidad y en casos extremos queden inutilizables, por lo cual se generarían futuros gastos para la corrección de estos problemas.

Objetivo

Esta investigación tiene por objetivo estudiar la respuesta dinámica teórica y experimental de puentes peatonales en la dirección lateral frente a cargas peatonales a través del estudio del Fenómeno de excitación sincrónica lateral, modelos de carga peatonal y análisis de vibraciones de la estructura en estudio

Antecedentes

Fenómeno de excitación sincrónica lateral

La explicación más extendida del fenómeno de Excitación sincrónica lateral producida por el cruce de peatones sobre puentes peatonales afirma que esta se debe, esencialmente, a la sincronización del paso de los peatones con el movimiento del puente, de modo que estos inducirán una fuerza lateral con frecuencia igual a la frecuencia de la estructura (resonancia) y en fase con la velocidad. El grado de sincronización, o dicho de otra forma, la probabilidad de que una cierta fracción de los peatones ajuste su paso al balanceo del puente, aumentaría con la amplitud(o la velocidad) de las oscilaciones, puesto que la sensación de incomodidad llevaría a un número creciente de ellos a modificar su forma de caminar. Esta modificación del paso implicaría, además un incremento en la separación entre ambos pies, por lo que la fuerza ejercida por el peatón individual también aumentaría con la amplitud (Moya, 2015). Este proceso se reconoce en la ingeniería como fenómeno de resonancia y evidencia que es un problema relacionado a los puentes peatonales con frecuencia cercana a 1Hz.

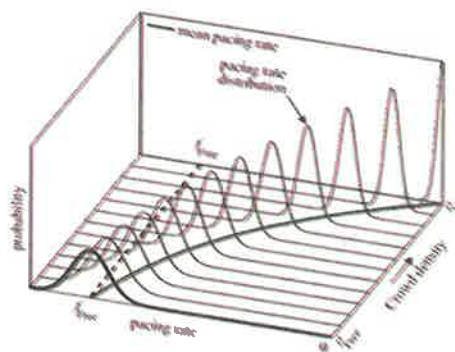
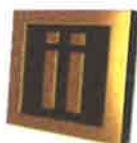


Figura 1. Vista esquemática de la relación entre la densidad promedio de la multitud y la distribución de la frecuencia de paso (Ingólfsson, 2011).



¹ Ingeniero Civil.
Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.
E-mail: jleond@uni.pe
Miembro del IIFIC – UNI.
Ganador del concurso Mejor Tesis 2016 IIFIC-UNI.

 iifc.edu.pe

Esto se puede interpretar matemáticamente como que a medida de la cantidad de peatones aumente, la dispersión en los valores de sus frecuencias decrece, uniformizándose este valor y haciendo que la función normal de la frecuencia sea más estrecha. La Figura 1 representa claramente este fenómeno, mostrando como de pasar de una densidad peatonal a una densidad mayor, la distribución de frecuencias de acentúa y estrecha.

Modelos de carga que simulan la caminata peatonal

Durante la caminata, un peatón produce una fuerza dinámica que varía en el tiempo la cual tiene componentes en las tres direcciones vertical, horizontal-lateral y horizontal-longitudinal. Estas fuerzas dinámicas dependen de la frecuencia de caminar de las personas o frecuencia de paso, la velocidad al caminar (ritmo), la longitud del paso, etc. Todos estos factores varían de persona a persona, entre mujer y hombre, entre niños, jóvenes, adultos y adultos mayores, etc. Por ejemplo, en la Figura 2 tenemos la variabilidad de la velocidad de un peatón, la cual depende de la edad y género de la persona.

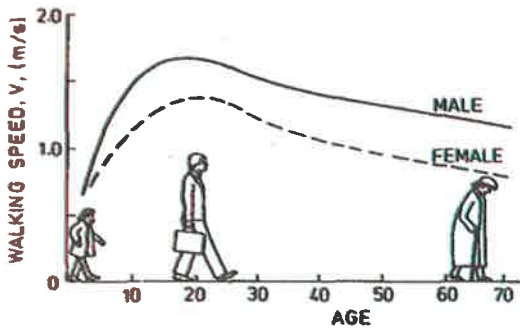


Figura 2. Velocidad de caminata en función de la edad para hombres y mujeres (Ingólfsson, 2011).

Acorde con lo mencionado, muchas investigaciones han sido estudiadas por años a través de diversos ensayos y experimentos con el fin de determinar las características del paso de peatones como sus frecuencias, las fuerza de pisada, la forma del paso, etc.

Tabla 1. Mediciones de la frecuencia de paso peatonal por varios autores (Kobayashi, 2011).

Autor	N° de personas	Media-Vertical (Hz)	Media-Lateral (Hz)	Desviación (Hz)
Matsumoto et al. 1972	505	1.99	0.995	0.173
Kerr y Bishop 2001	40	1.90	0.950	-
Zivanovic et al. 2005	1976	1.87	0.935	0.186
Pachi and Ji 2005	200	1.86	0.930	0.110
Ingólfsson 2006	19	1.83	0.915	0.104
Pachi and Ji 2005	200	1.80	0.900	0.100

Kobayashi muestra los resultados de las mediciones de la frecuencia de paso de varios autores (Tabla 1). Estos resultados pueden ser descritos estadísticamente como una distribución normal con una media de 1.99 Hz y una desviación estándar de 0.173 Hz. Se agrega una columna para la dirección lateral considerando lo descrito en la ecuación (1).

Es evidente que la forma completa del caminar humano es representada con el conjunto del paso derecho más el paso izquierdo, esto ha sido comprobado y se asumirá como un evento periódico dado que las diferentes mediciones así lo aproximan. Por lo que en la literatura se ha asumido como real que:

$$T_{lateral} = 2T_{vertical} = 2T_{longitudinal} \tag{1}$$

dónde: T es periodo

Para poder representar la caminata peatonal muchos autores toman como referencia los siguientes modelos de sistemas de carga, los cuales representan la mayor y la menor condición dinámica. Se presentan en la Figura 3 los modelos con carga vertical para un mejor entendimiento, pero se entiende que la componente lateral de la caminata peatonal se comporta de manera similar.

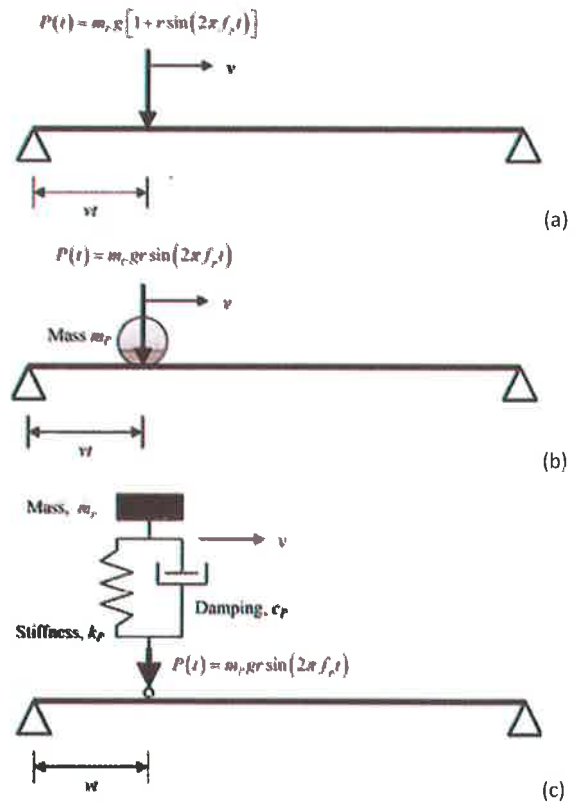


Figura 3. Modelos de sistema Peatón – Puente. (a) modelo de movimiento de fuerza pulsante; (b) Modelo de movimiento de masa con fuerza pulsante; (c) Modelo de movimiento masa-resorte-amortiguador con fuerza pulsante. (Sullivan et al).

La forma de aplicación de las cargas que simulan la caminata peatonal es de suma importancia y es un factor relevante en los

resultados a obtener, para esto se encontraron en la literatura estudiada tres formas diferentes de aplicación de la carga peatonal en la dirección lateral. Tenemos el caso de aplicación de carga distribuida a lo largo del área cargada (Figura 4). Que consiste en aplicar la componente lateral de la carga peatonal a lo largo y ancho del área cargada.

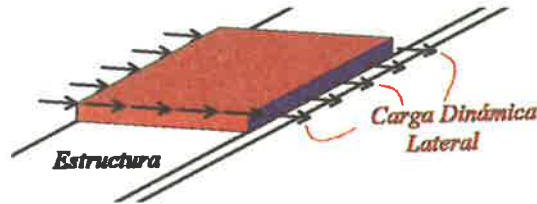


Figura 4. Forma 1 de aplicación de Modelos de Carga.

El segundo caso consiste en aplicar la carga peatonal concentrada en la zona más desfavorable de la estructura, es decir, como carga puntual. (Figura 5)

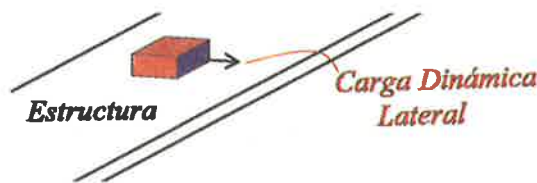


Figura 5. Forma 2 de aplicación de Modelos de Carga.

La tercera y última forma de aplicación de carga es la que toma en cuenta el movimiento peatonal, es decir, aplica una carga móvil que trasmite su fuerza a medida que va cruzando la estructura del puente, en la Figura 6 se muestra el detalle de aplicación, esta forma tomara en cuenta la velocidad de caminata, la característica de la carga (puntual o distribuida), entre otros factores.

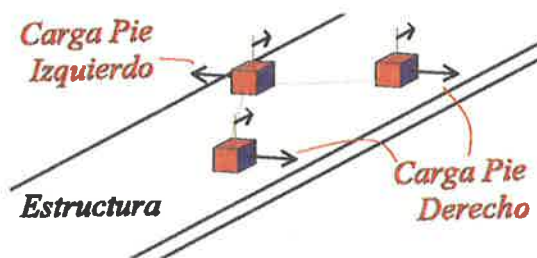


Figura 6. Forma 3 de aplicación de Modelos de Carga.

En el estudio realizado se pudieron encontrar cinco modelos de cargas que representan la caminata peatonal en la dirección lateral que utilizan los conceptos descritos líneas arriba. Estos modelos de carga fueron escogidos de entre muchos otros ya que cuentan con ensayos y experimentación comprobada, además de estar presentes en otras bibliografías y normas.

Normativa

A través del estudio del estado del arte del fenómeno de excitación sincrónica lateral en puentes peatonales, se puede decir que estos están contenidos en diferentes normativas alrededor del mundo, y se aprecia que las exigencias de las

mismas buscan anticipar cualquier efecto perjudicial para la vida humana. El tema de sensibilidad o en otras palabras, confort del peatón, ha encontrado oídos estas últimas décadas y diversas investigaciones se han llevado a cabo para mejorar este sentir.

La guía técnica – evaluación del comportamiento vibratorio de puentes peatonales bajo la carga de peatones propuesta por Séttra (service d'Études techniques des routes et autoroutes) en el 2006, proporciona tablas para la verificación de los dos niveles antes mencionados. En la Tabla 2 se muestra los rangos de frecuencia a partir de los cuales habrá un mayor o menor riesgo de que ocurra el fenómeno de excitación sincrónica lateral.

Tabla 2. Riesgo de resonancia según frecuencia (Hz) de la estructura para la vibración lateral. (Séttra, 2006)

Rango de frecuencia (Hz)	0 - 0.3	0.3 - 0.5	0.5 - 1.1	1.1 - 1.3	1.3 - 2.5	2.5 - a mas
Rango 1			BAJO RIESGO			
Rango 2		MEDIO RIESGO		MEDIO RIESGO		
Rango 3					POCO RIESGO	
Rango 4	SIGNIFICANTE RIESGO					POSIBLEMENTE RIESGO

A su vez propone cuatro rangos para evaluar los límites de aceleración y frecuencia de la estructura. En la Tabla 3 se aprecia los rangos de aceleraciones y lo que cada rango significa.

Tabla 3. Nivel de confort según de aceleraciones (m/s²) para vibración lateral (Séttra, 2006)

Rango de aceleraciones	0 - 0.1 - 0.15	0.15 - 0.3	0.3 - 0.8	0.8 - a mas
Rango 1	MAXIMO NIVEL DE CONFORT			
Rango 2		MEDIO NIVEL DE CONFORT		
Rango 3			MINIMO NIVEL DE CONFORT	
Rango 4				INCÓMODO - NO ACEPTABLE

Vibraciones en la pasarela adyacente al puente peatonal "Rayitos de Sol"

La elección del puente Rayito de Sol como estructura de estudio tuvo lugar debido a la preocupación de la comunidad frente a los movimientos excesivos de la estructura, específicamente en la zona llamada pasarela, lo cual hacía sospechar de la ocurrencia del fenómeno de Excitación sincrónica lateral producida por el cruce de peatones sobre puentes peatonales.

Después de una inspección preliminar se reconoció como un sitio apropiado para el estudio del fenómeno objeto de la presente.





Figura 7. Visitas e inspecciones previas en puente Rayitos de Sol

Descripción de la Estructura

El puente Rayito de Sol ubicado entre los distritos del Rímac y Cercado de Lima cuenta con una estructura de aproximadamente 216 m de luz. Este puente cuenta con un tramo principal atirantado y un tramo de acceso (pasarela) de concreto pretensado apoyado en pilares de concreto armado; además de sus respectivos accesos en el inicio, medio y final del recorrido (rampas y escaleras)



Figura 8. Vista general del Puente Rayitos de Sol.

El tablero de la pasarela está construido con vigas de concreto pretensado y losa de concreto armado, la cual se conecta con el tablero principal del puente (tramo atirantado). Esta pasarela de acceso cuenta con 5 tramos que se unen a través de topes sísmicos en 4 secciones de la pasarela, los cuales se apoyan en pilares circulares de 80 cm de diámetro a cada 20 m aproximadamente.

El tablero del tramo principal atirantado está compuesto de dos luces que comparten un apoyo central en la torre, en cada luz de este tramo llegan 20 cables de diferentes longitudes que parten de la torre a distintas alturas, haciendo un total de 40 cables espaciados cada 5.80 m en la luz más larga y cada 4.00 m en la luz más corta. A su vez estos cables están espaciados verticalmente en la torre 1 metro uno del otro. Este tramo cuenta con dos vigas metálicas longitudinales unidas a una losa de concreto de 15 cm de espesor y vigas transversales cada 5.80 m en la luz más larga y cada 4.00 m en la luz más corta. El tramo más corto se conecta a los paraderos a través de una rampa de acceso en la zona de la torre y a través de una escalera en su otro extremo.

Modelo de elementos finitos

A partir de la geometría y propiedades materiales obtenidas de los planos de proyecto, se elaboró un modelo tridimensional de elementos finitos con el fin de poder estimar en primera instancia la ubicación de los puntos de medición más adecuados para detectar las propiedades dinámicas de la estructura y para registrar las mayores respuestas.

Posteriormente se validó el modelo teórico a través de la obtención de las frecuencias naturales producto de las vibraciones registradas y analizadas en el dominio de la frecuencia (Transformada de Fourier).

Tabla 4. Propiedades de los materiales de la estructura.

Material	Resistencia (MPa)	Módulo de Elasticidad (ton/m ²)	Densidad de Masa (kg/m ³)
Concreto: Pilares, losa (atirantado), vigas	28	2534563	0.245
Concreto: Torre, losa (pasarela)	35	2806243	0.245
Acero de refuerzo	412	20389019	0.8004
Cables	1690	20037484	0.8004

El modelo fue elaborado mediante el software computacional SAP2000, se usó un amortiguamiento del 1%, empleando elementos viga para el modelamiento del tablero, los pilares, y la torre, elementos barra para simular el comportamiento de los cables, elementos cáscara para modelar la losa de los diferentes tableros y elementos vínculo (link) para emular las conexiones y condiciones de frontera.



Figura 9. Modelo de elementos finitos tridimensional del puente Rayitos de Sol.

Mediciones de las vibraciones de la estructura

En este trabajo, se optó por la aplicación de la técnica de vibración ambiental que consistió en la medición de la vibración del puente ante sollicitaciones de carga peatonal, con el fin de registrar las respuestas del puente para su respectiva comparación teórica.

Sistema de adquisición de datos empleado

Los datos experimentales se obtuvieron usando el equipo de medición "StrainIndicator" que se muestra en la Figura 10, el cual es un equipo registrador de datos, de 4 Canales. En este caso, solo los Canales 1 y 3 fueron utilizados para las mediciones, los cuales registraron datos de Sensores de Velocidad (Pickups Schenck), mientras que los otros canales 2 y 4, utilizan datos de Sensores "Strain Gauge", que cambian su valor nominal, cuando se les someten a ciertos esfuerzos.



Figura 10. Equipo utilizado: (izquierda) "StrainIndicator"; (derecha) Sensores de medición.

En el almacenamiento de los datos se empleó la memoria EPROM del equipo. Posteriormente, estos datos fueron descargados a través de la conexión a Red Ethernet, para lo cual se utilizó el programa "StrainIndicator.exe".

Puntos de Medición

La medición se realizó en 11 puntos diferentes de la estructura, 5 puntos en la pasarela y 6 puntos en el tramo atirantado como se muestra en la Figura 11 tanto en la dirección vertical como lateral. Para esta el análisis de aceleraciones solo se tomó en cuenta los registros del punto de medición 3, el cual fue el que presentó mayores aceleraciones. Cada medición fue registrada individualmente debido a que el sistema adquirente de datos solo cuenta con dos sensores.

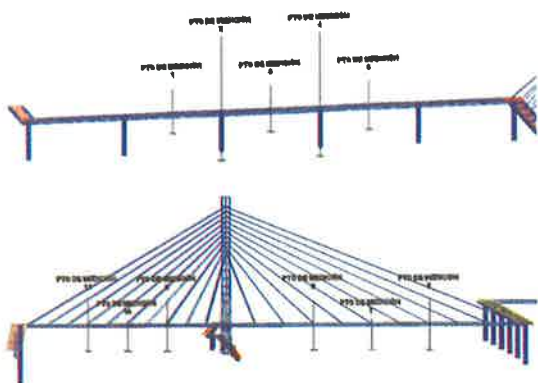


Figura 11. Puntos de medición: (arriba) Puntos de medición en el tramo de la pasarela; (abajo) Puntos de medición en el tramo Atirantado.

Densidad Peatonal

Los modelos de carga que simulan la caminata peatonal se aplicaron bajo las mismas condiciones en la que las mediciones fueron realizadas, es decir, bajo la misma densidad peatonal. Para este fin se realizaron tomas fotográficas de cada evento de medición con el fin de obtener la densidad peatonal para cada evento. Siguiendo esta metodología se obtuvo ocho eventos representativos, mostrados en la Tabla 5, con los que se procedió a ensayar los Modelos de cargas peatonales.

Tabla 5. Densidad peatonal por evento.

N° de evento	1	2	3	4
N° de Personas:	48	50	54	66
Densidad Peatonal :	0.16327	0.17007	0.18367	0.22449

	5	6	7	8
	55	54	35	56
	0.18707	0.18367	0.11905	0.19048

Análisis y resultados

Tras las mediciones realizadas se obtuvieron registros de la forma de la Figura 12. A su vez tras la aplicación de los modelos de carga que simulan la caminata peatonal se obtuvieron respuestas de la forma de la Figura 13.

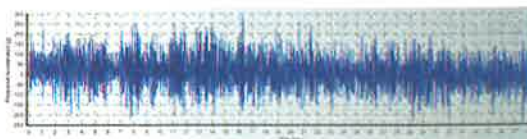


Figura 12. Respuesta medida de la estructura frente a carga peatonal.

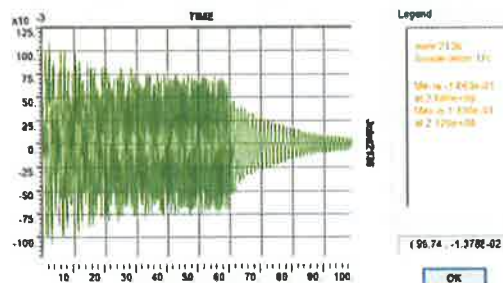


Figura 13. Respuesta simulada de la estructura frente a carga peatonal.

Tras obtener las características dinámicas de la estructura, específicamente la frecuencia fundamental, se notó que dicha frecuencia es muy cercana a 1 Hz (Tabla 6), el cual es el valor promedio relacionado a la frecuencia de paso peatonal en la dirección lateral (perpendicular a la dirección de paso).

Tabla 6. Resultado de las frecuencias naturales detectadas vs las del modelo matemático.

	Medido	Modelo	Diferencia
Modo 1	0.830	0.836	0.72%
Modo 2	1.563	1.455	6.90%
Modo 3	1.801	1.572	12.71%
Modo 4	2.541	2.477	2.50%
Modo 5	3.175	3.033	4.46%
Modo 6	3.268	3.696	13.09%
Modo 7	3.423	3.892	13.70%
Modo 8	4.218	4.372	3.65%

Tras obtener las máximas aceleraciones de los registros medidos en la zona central de la pasarela del puente Rayitos de Sol, se notó que las mayores aceleraciones se dieron para densidad altas (las más altas de las mediciones realizadas). Figura 14.



Figura 14. Aceleraciones (m/s²) Vs Densidad Peatonal de la estructura.

Se comparan los resultados de las mediciones reales con los resultados de los Modelos de carga peatonal teóricos. Estas comparaciones se centraron en la verificación de la frecuencia lateral de paso de los peatones utilizada por los modelos teóricos de carga peatonal (MCP) y de las aceleraciones máximas que la estructura presentó versus la respuesta simulada. Figura 15.

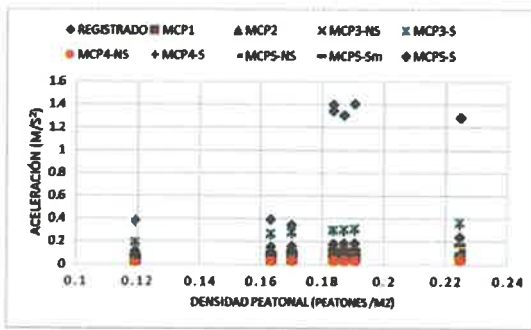


Figura 15. Aceleraciones (m/s²), de la estructura, medidas y simuladas.

Las aceleraciones máximas obtenidas se grafican a continuación, mostrando una coloración que zonifica los datos, representando a los límites de aceleración del setra que se presentaron en la Tabla 3. Reconociéndose que la estructura presentaba aceleraciones no aceptables para el confort del ser humano. Haciendo que la estructura pierda servicialidad.

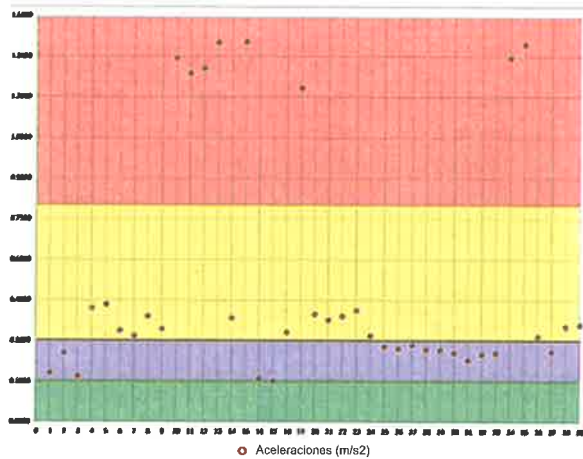


Figura 15. Aceleraciones (m/s²) zonificado según los rangos de aceleración del setra (Tabla 3).

Conclusiones y Recomendaciones

- Las características dinámicas del puente rayitos de sol obtenidas a través del análisis modal del modelo numérico elaborado pueden ser consideradas como fiables al ser validas con las vibraciones ambientales registradas del puente. A partir de la Tabla 6, se constatan que las diferencias porcentuales no superan el 15%, por lo que el modelo es considerado como modelo base para la futura estimación de las respuestas dinámicas del puente ante cargas de tránsito, viento y terremotos.
- Tras las comparaciones realizadas, se observó muy poca coherencia entre las respuestas de los modelos teóricos y las respuestas medidas en campo para los eventos de mayor aceleración. Principalmente cuando se obtuvieron respuestas con aceleraciones que hacían suponer que la sincronización peatonal se había dado.
- En una etapa inicial de esta investigación, se tuvo como premisa que la estructura a ser estudiada presentaba problemas de vibración lateral frente a densidades peatonales altas. Esto se atribuyó (por muchos de los

consultados) a problemas en la estructura. Durante el desarrollo de la investigación y de los resultados obtenidos líneas arriba se confirmó que estos problemas de vibración eran más bien, procedentes a la ocurrencia del fenómeno de excitación sincrónica lateral producida por el paso peatonal.

Referencias

- DALLARD P., FITZPATRICK A., FILNT A., BOURVA S., LOW A., SMITH R., WILLFORD M., The London Millennium Footbridge, The Structural Engineer, Volumen 79/No 22, Lóndres.(2001)
- INGÓLFSSON E. T., Pedestrian-induced Lateral Vibrations of footbridges: Experimental studies and probabilistic modelling, Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Dinamarca. (2011).
- KOBAYASHI M., Prediction and Control of Pedestrian Induced Vibration on an Interior Footbridge, Tesis para optar el grado de Master, Departamento de Ingeniería, Universidad Técnica de Dinamarca, Lyngby. (2011)
- MOYA G.L., Comportamiento Dinámico de Pasarelas Peatonales, Trabajo fin de Master, Madrid, Universidad Politécnica de Madrid. (2015)
- O’Sullivan D., Caprano C. C. y KEOGH J., The Response of a Footbridge to Pedestrian Carrying Additional Mass, Department of Civil Engineering & Structural Engineering, Ireland.
- SÉTRA, Footbridges: Assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading – Technical Guide, The Technical Department for Transport, Roads and Bridges Engineering and Road Safety- French Assoc. Civ. Eng. Paris. (2006)

IMPLEMENTACION DE TECHO VERDE COMO SISTEMA PASIVO EN VIVIENDAS RURALES ALTOANDINAS PARA EL DESARROLLO DE POLÍTICAS PÚBLICAS

José Benjamín Lucero Ccencho¹

Sinopsis: El Perú es un país expuesto a la ocurrencia de distintos fenómenos naturales que pueden afectar el normal desarrollo de las actividades cotidianas. Las heladas es uno de estos fenómenos que se caracteriza por la caída brusca de la temperatura registrando cifras por debajo de los 0° C, y afectando de forma negativa a la calidad de vida de las poblaciones ubicadas por encima de los 3000 msnm de las zonas centro y sur de la sierra del país. Tomando como referencia países cuyo comportamiento térmico ambiental es similar y, donde han implementado sistemas constructivos que hagan frente a esta situación; se ha planteado generar una política pública a partir del estudio de la implementación del sistema constructivo de techos verdes para mejorar la calidad térmica de las viviendas rurales alto andinas ubicadas a altitudes superiores a los 3000 msnm.

Palabras Claves: Vivienda Rural, Política pública, confort térmico, techo verde, aislamiento térmico, calidad interior del ambiente.

Introducción

La diversidad geográfica de nuestro país muestra las bondades de la naturaleza en sus distintas formas de expresión. Sin embargo, y a su vez, toda esta variabilidad, expone al país a fenómenos naturales como sismos, inundaciones, heladas, friaje, entre otros; los cuales, históricamente, generan enormes pérdidas sociales y económicas a nuestro país.

Año a año, durante los meses de abril y setiembre, los pobladores de la zona centro y sur del país conviven con bajas temperaturas que generalmente llegan a cero grados o menos. Casualmente estas zonas son las más vulnerables del país, haciendo que los efectos de la salud pública de estas poblaciones sean hasta mortales. Anualmente, el Minsa reporta más de un centenar de niños fallecidos debido a su frecuente exposición a estas bajas temperaturas.

Es por eso que las viviendas juegan un rol determinante, ya que deben estar acondicionados para brindar confort térmico a sus habitantes y de esta forma evitar la constante exposición a temperaturas extremas. Esto es, si se logra controlar los deltas térmicos en las viviendas, podrían reducirse las incidencias de enfermedades respiratorias en estas poblaciones.

Objetivo

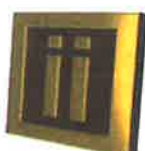
Proponer un programa de implementación de sistemas pasivos de conservación térmica para vivienda rurales (altitud mayor a 3500 msnm) orientados al cumplimiento de las políticas públicas en relación al Desarrollo de Infraestructura y Vivienda (Política Pública N° 21).

Asimismo, proponer un sistema pasivo aplicando los Techos Verdes que desarrolle una condición de aislamiento térmico de 10° C, 5° por encima de la temperatura mínima y 5° C por debajo de la temperatura máxima.

Antecedentes

Anualmente, el país sufre un periodo de bajas temperaturas conocido como Heladas. Este fenómeno meteorológico, caracterizado por la caída brusca de la temperatura que llega a cifras cercanas a 0° C o menor, afecta negativamente a poblaciones ubicadas por encima de los 3000 msnm de las zonas centro y sur de la sierra del país.

Sin embargo, países donde el comportamiento térmico ambiental es similar, han podido superar con bastante satisfacción estos desafíos. Verbigracia, los países nórdicos, ubicados al noreste de Europa central, cuyas temperaturas mínimas en promedio llegan a -20° C, diseñaron tecnologías propias que permitieron su adaptación y desarrollo como sociedad dentro de un ambiente con condiciones extremas. Ellos proyectaron un sistema de viviendas utilizando las turbas o champas, que poseen un gran aislamiento térmico, como material de cobertura. Estas prácticas están documentadas desde el siglo IX a.c. y con el tiempo, mediante mejoras arquitectónicas y materiales industrializados, han seguido usándose en las zonas rurales de estos países, obteniendo resultados importantes (Houdart & Houdart, 2003). Los esfuerzos en nuestro país no son ajenos a estos desafíos, ya que se han venido desarrollando investigaciones con el fin de lograr la mejora del confort térmico en las viviendas rurales del Perú. Los ductos solares, cielos rasos, pisos aislantes, cocinas mejoradas, claraboyas y muros trombe, fueron investigaciones promovidas por el Grupo PUCP, el Centro de Energía Renovables (CER – UNI) y SENCICO, desarrollados bajo los criterios de construcción de un sistema de captación y conservación de la temperatura interna, ventilación e iluminación; con estándares que la hacen saludable especialmente en épocas de frío intenso (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016). Finalmente, dentro del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, se ha desarrollado el proyecto “Techos verdes acondicionado a viviendas rurales de las zonas altoandinas del Perú (altitud > 3500 msnm),” cuya información forma parte de la presente tesis.



¹ Bachiller en Ciencias, mención en Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.
E-mail: jlucroc@uni.pe
Miembro del IIFIC – UNI.

Propuesta: Implementación de Techo Verde como Sistema Pasivo en Viviendas Rurales Altoandinas para el Desarrollo de Políticas Públicas

1. Fenómeno de las Heladas

Las heladas son fenómenos meteorológicos que ocurren principalmente por la disminución de la nubosidad en los andes. Desde el punto de vista meteorológico, una helada se produce cuando existe un descenso crítico de la temperatura hasta llegar a los 0° C o menos. Esta observación usualmente se verifica con el termómetro de mínimas instalado en las casetas meteorológicas (Senhami-FAO, 2010).

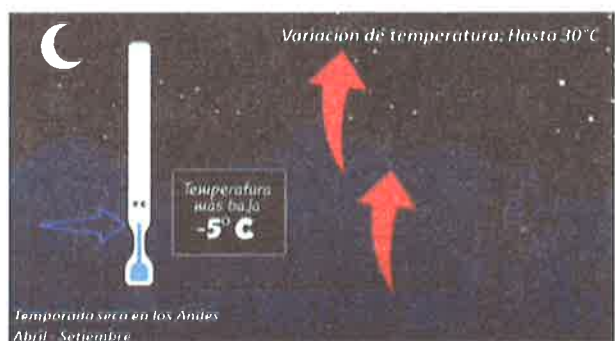


Figura 1. Cambios de la temperatura durante las Heladas (Fuente: Senhami)

2. Viviendas Rurales

Según cifras al 2016 del INEI, aproximadamente el 85% de viviendas están ubicadas en zonas urbanas y el 15% en zonas rurales.

Las viviendas rurales se caracterizan, principalmente, por el uso del adobe o tapial para su construcción. En general, se usa material de la zona para su modelado, como piedras, arcillas, limos, grava, ichu, carrizo, etc. Por lo general, estas viviendas son comunes en las regiones de la sierra por encima de los 3000 msnm y su particularidad depende de la zona en la cual es construida (CARE Perú, 2011).

Tabla 1. Infraestructura física de las viviendas particulares.

Material predominante en las paredes exteriores / Área de residencia	Año 2016
Rural	100.0
Ladrillo o bloque de cemento	7.3
Piedra o sillar con cal o cemento	0.3
Adobe o tapia	72.5
Quincha (caña con barro)	1.4
Piedra con barro	3.0
Madera	11.7
Estera	0.3
Otro material	3.6

3. Sistema de Techos verdes

Los techos verdes, cubierta ajardinada, techos vegetales, entre otros nombres que recibe; es un tipo de cubierta invertida con la adición de un sustrato orgánico y plantas en la capa superior. Las ventajas de este tipo de cubiertas, abarcan aspectos arquitectónicos, constructivos, medioambientales y estéticos (Machado, Brito, & Neila, 2000). Este tipo de cubierta posee una

de las envolventes más expuestas al medio ambiente por lo que asume un rol protagónico en el intercambio energético.

A partir de estos conceptos, se estructura un modelo de vivienda que sigue las recomendaciones de la norma E. 080 Adobe, las buenas prácticas para la construcción de viviendas con adobe y en la cual se pueda implementar el sistema de techos verdes propuesto.

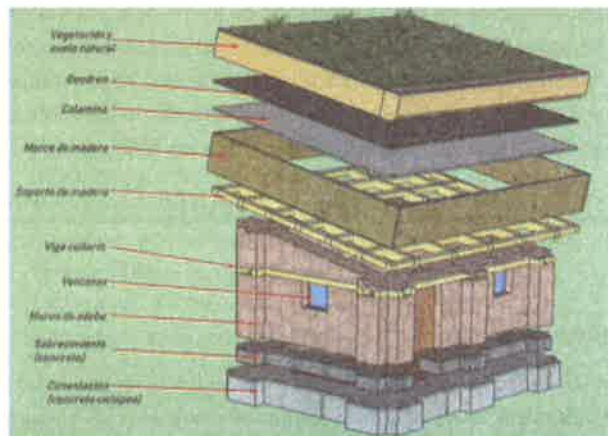


Figura 2. Esquema de vivienda modelo (Fuente: Propia)

Características principales:

- Cada MV está compuesto de un ambiente de 1.4 x 2 m de área de base y 0.7 – 1.0 m de altura (techo a un agua).
- Cada MV cuenta con 3 vanos: 01 puerta de madera de 0.35 x 0.6 m y, 02 ventanas de doble vidrio con marco de madera de 0.25 x 0.2 m con un alfeizer de 0.4 m.
- Los lados con vanos para puertas están orientados al norte y sur, mientras que los lados con vanos para ventanas al este y oeste.
- Los muros son de adobe de 0.2 x 0.2 x 0.1 m y, se alzarán encima del sobrecimiento de concreto.
- La cimentación está conformada por cimientos corridos de 0.3 x 0.2 m vaciado con concreto ciclópeo e inmediatamente después, un sobrecimiento de 0.2 x 0.1 m de concreto.
- Techo a un agua con perfiles estructurales de madera tornillo de 2" x 3" (vigas principales) y 2" x 2" (vigas secundarias), con cobertura de acero laminado galvanizado (calaminas de 0.33 mm).
- Sistema de drenaje con geocompuesto. Elemento fabricado mediante termo fusión que contiene monofilamentos de polipropileno (configuración W) extruidos a geotextiles no tejidos filtrantes.
- Suelo natural de tierra o top soil, compactado de manera artesanal.
- Sistema de contrafuertes de 0.2 m colocados en cada lado del MV y con un espaciamiento máximo de 1 m.
- La cobertura vegetal está compuesta por plantas de la zona de estudio como son ichu, césped de puna, oreja de conejo.

Instrumentación, Medición de temperaturas y Resultados

Esta etapa estuvo enfocada en la medición de temperaturas y humedad que son las variables más características para el confort térmico. Se emplearon aparatos electrónicos que cuentan con

sensores de temperatura y humedad, conocidos como termohigrómetros, capaces de registrar hasta 50000 puntos.



Figura 3. Termohigrómetro instalado dentro del módulo de vivienda.



Figura 4. Sensor externo para la medición de temperatura ambiental

Los sensores fueron ajustados para que el registro de datos de temperatura y %HR sea cada 30 min. Se tuvieron periodos de mediciones de por lo menos un mes para un registro homogéneo de tal forma que se evidencia el comportamiento térmico.

La información fue registrada de la siguiente manera:

- Temperatura / Humedad del modelo de vivienda (con techo verde) – Lado izquierdo de la figura 5.
- Temperatura / Humedad del modelo de control (sin techo verde) – Lado derecho de la figura 5.
- Temperatura / Humedad del ambiente (exterior).



Figura 5. Modelo de vivienda con techos verdes y modelo de control.



Figura 6. Registro de mediciones de temperatura.

A partir de los datos registrados, se muestra las diferencias entre la temperatura interna del modelo de vivienda (con techo verde), la temperatura del medio ambiente (exterior) y la temperatura del modelo base (sin techo verde).

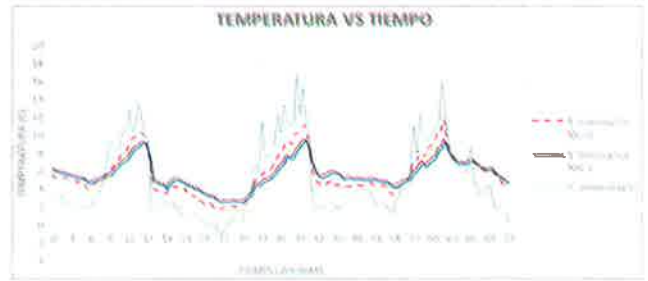


Figura 7. Comparación de temperaturas medidas.

Luego de realizar estas comparaciones, se encontraron deltas térmicos entre la temperatura interna vs la temperatura exterior de hasta 5° C, esto es, la temperatura de la vivienda se mantenía hasta en 5° C más caliente que la temperatura exterior.

A partir de la comparación de las temperaturas entre el modelo de control y el modelo con techo verde, resulta que las viviendas cuya topología incluye tener una cubierta o techo de calamina, es una condición propicia para desarrollar e implementar los techos verdes en este tipo de viviendas. Sin embargo, la vulnerabilidad y condiciones económicas de estas poblaciones no aseguran que se realice una intervención con recursos propios de la población. Asimismo, al ser un campo cuyo mercado no asegura una alta rentabilidad, no se podría considerar como opción la intervención del sector privado. En ese sentido y, al ser una necesidad pública, esta intervención debe hacerse desde el Estado a través de la formulación de políticas públicas que involucren a los sectores de Vivienda e Inclusión Social, de la mano de la población en su desarrollo.

4. Formulación de Política Pública

El Acuerdo Nacional lanzado en el 2002, fue un conjunto de acuerdos multipartidarios cuyo fin fue establecer una Agenda Nacional para fortalecer diversas capacidades de nuestro país. Uno de los ejes estuvo enmarcado en la mejora de la vivienda en el Perú, sin embargo, no existe un lineamiento dentro de esta política, que haga énfasis en la vivienda rural. En el mismo sentido, al no haber una política de estado que enfatice aquello, los gobiernos subnacionales (Gov. Regional y Municipalidades) tampoco muestran el interés debido hacia este sector.

- Definición del Problema Público: Condiciones no adecuadas de las viviendas rurales.
- Situación futura deseada: Ciudadanos de la zona rural con mejores condiciones de salud.
- Objetivo general y específico: Implementación de techos verdes para la mejora de viviendas rurales.
- Cadena de valor: Generación del valor público.

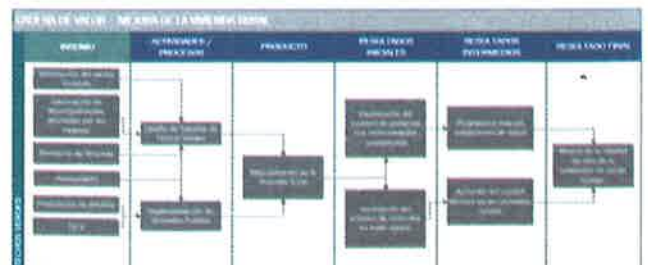
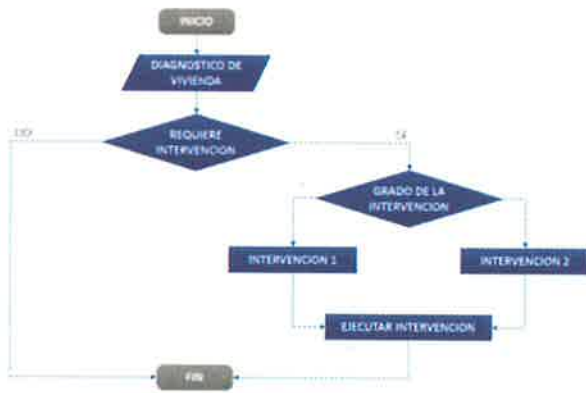



Figura 8. Cadena de Valor de Política Pública

Flujo de Programa para Implementación

A partir de la propuesta de valor para la mejora de la vivienda rural, se plantean dos intervenciones, cada una independiente de la otra, a partir de la valoración técnica de la estructura considerando parámetros de habitabilidad y antigüedad de la estructura.

En consecuencia, se plantea el siguiente flujograma:



Intervención 1	Intervención 2
Dirigida a viviendas existentes típicas, las cuales previa evaluación, se determine que cuenten con adecuadas condiciones de habitabilidad: <ul style="list-style-type: none"> • Buen estado de la Cimentación • Buen estado de Muros • Adecuada estructura del techo 	Dirigida a viviendas que no cuenten con las condiciones mínimas de habitabilidad. <ul style="list-style-type: none"> • Base de la edificación: Adobe (Menor huella ambiental y mejores propiedades térmicas en comparación con el ladrillo) • Cimentación con concreto ciclópeo • Vanos de doble cubierta (mejor aislamiento térmico) • Techo de cubierta vegetal (propuesta – mejor aislamiento térmico) • Disminución de Puentes Térmicos • Sistema de ventilación mediante intercambiador de calor (por diseñar)

Conclusiones

- Los techos verdes son sistemas pasivos que pueden ser acondicionados a las viviendas rurales dado que sus características para aislar la cubierta de la vivienda significan un gran aporte para mantener una temperatura adecuada al interior de la vivienda.
- El experimento a nivel escala cumple con las buenas prácticas constructivas para el adobe. Asimismo, empleando este material de construcción, es posible lograr condiciones térmicas aceptables para sus habitantes. Complementado la vivienda con los techos verdes, sus características térmicas mejoran.
- El sistema propuesto de techos verdes en viviendas rurales permite lograr hasta en 5° C a un aumento de la

temperatura interna de la vivienda en comparación con la temperatura del ambiente (exterior).

- El experimento cuyos resultados son positivos, se puede replicar a escala real bajo el mecanismo de políticas públicas previa evaluación de la tipología de viviendas de la zona de intervención.
- No existe una línea dentro del Acuerdo Nacional punto 21 en relación al mejoramiento de la vivienda, que vaya orientado en dar prioridad al sector rural. Por tanto, es responsabilidad del estado, generar mecanismos que cubran la necesidad en este sector.

Recomendaciones

- Complementar la propuesta mediante el estudio del Sistema de Ventilación interior de la vivienda rural de tal forma que permita el flujo del aire de manera óptima y sin pérdida calorífica de la envolvente de la vivienda.
- La propuesta de mejoramiento bajo la técnica de techos verdes, se enfoca principalmente en la mejora de la cubierta de la vivienda, en ese sentido, se recomienda que el presente programa, se fortalezca complementando otras intervenciones dirigidas a otros elementos de la vivienda (muro trombre, claraboyas, piso caliente, etc.) de manera que se pueda dar una intervención integral y un mejoramiento óptimo a la vivienda rural.

Referencias

- CARE Perú. (2011). ¿Por qué priorizar la política de Vivienda Rural? Lima: Biblioteca Nacional del Perú.
- CENEPRED. (2017). Escenarios de Riesgo por Heladas y Friajes en el marco del Plan Multisectorial 2018. Lima.
- Incropera, F., & De Witt, D. (1999). Fundamentos de Transferencia de Calor. México: Prentice Hall.
- Machado, M., Brito, C., & Neila, J. (2000). La Cubierta Ecológica como material de Construcción. España.
- Ministerio de Economía. (2014). Guía para la identificación, formulación y evaluación social de proyectos de Inversión Pública, a nivel de perfil. Lima: Biblioteca Nacional de Perú.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2016). Abrigando Hogares: Experiencias con medidas de confort térmico en viviendas rurales. Lima.
- OPS/OMS. (2014). Infecciones Respiratorias Agudas en el Perú. Lima.
- Presidencia del Consejo de Ministros. (2017). Plan Multisectorial ante Heladas y Friaje. Lima.
- Rey, M. W. (2008). Consideraciones Bioclimáticas en el Diseño Arquitectónico: El Caso Peruano. Lima: PUCP.
- Senhami-FAO. (2010). Atlas de las heladas. Lima.
- Zabalza, I., & Aranda, A. (2011). Ecodiseño en la Edificación. Zaragoza, España.

Lima, setiembre del 2019

CONSIDERACIONES SÍSMICAS PARA EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS, CON PROTECCIÓN DE BASE AISLADA.

Cleiver Ayala F.¹

Resumen. Se presentan lineamientos principales a considerar en la concepción, análisis y diseño de las estructuras en las que se incorporen sistemas de protección sísmica, enfocados en los análisis dinámicos exigidos por la normatividad de diseño entre otros, y enfatizando las edificaciones de base aislada. Se realizaron análisis tiempo-historia con diversas señales sísmicas modificadas a partir de los registros sísmicos, de modo que se verifique el desempeño de la estructura durante un evento máximo considerado para un periodo de diseño determinado, y que estos impongan a las estructuras a un estado de máxima capacidad probable. Los registros sísmicos son modificados de acuerdo al comportamiento de cada estructura, de modo que se asegure la máxima demanda a la que cada dispositivo de protección estará sometida según su posición dentro de la estructura. Para ello, se analiza principalmente las respuestas estructurales en términos de aceleraciones y desplazamientos, por ser parámetros de respuesta ligada principalmente al comportamiento de la estructura y sus contenidos.

Palabras Clave: Análisis tiempo - historia, Sistema de protección sísmica, Aislamiento sísmico.

1. INTRODUCCION

Durante las últimas décadas los conceptos de protección sísmica vienen tomando mayor protagonismo, principalmente el aislamiento sísmico ha comenzado a ser considerado como una alternativa necesaria de diseño sismo resistente en estructuras, especialmente en aquellos casos en que se busca mejorar el desempeño sísmico para las estructuras y su contenido. Los excelentes comportamientos que las estructuras aisladas han tenido durante sismos severos (North ridge 1994, Kobe 1995 y Japón 2011), muestran las ventajas de los sistemas de aislamiento sísmico, ya que estas alternativas aumentan considerablemente el nivel de seguridad, mantienen su operatividad durante y después de un evento sísmico severo, o requerirá reparaciones mínimas para mantener su capacidad de trabajo después de sismos muy raros, en la Figura N° 1 se presenta las diferencias entre el desempeño de estructuras sin aislamiento versus estructuras aisladas.

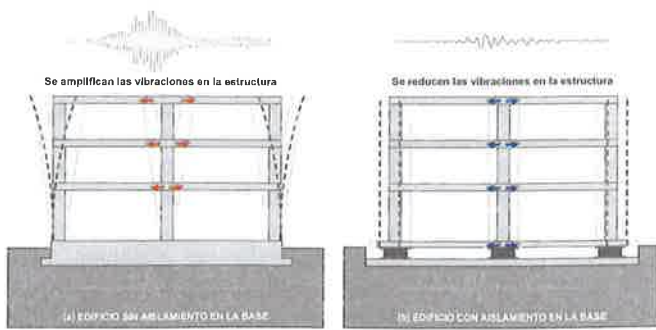


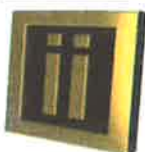
Figura N° 1. Desempeño sísmico.

Numerosos estudios teóricos, análisis numéricos, así como también los ensayos de laboratorio, demuestran el buen desempeño que pueden lograr los sistemas de aislamiento sísmico, en estructuras sometidas a eventos sísmicos severos y extremos, por lo que es importante destacar el comportamiento dinámico al usar sistemas de aislamiento. Actualmente, los conceptos de aislamiento sísmico se enseñan como parte de la curricula de ingeniería civil en la mayoría de las universidades mundialmente reconocidas.

2. PROBLEMÁTICA

Las edificaciones en el Perú son desarrolladas bajo los lineamientos de la norma de diseño sismo resistente (NTE-030), que considera el diseño de edificaciones con dispositivos de protección sísmica, ya sea el uso de aisladores sísmicos y/o disipadores de energía, pero ninguno de estos sistemas es regido por un código nacional, y la carencia de esos códigos de diseño conlleva a limitaciones en la aplicación de sistemas sísmicos de protección. La norma NT-E 030 refiere al código ASCE/SEI 7 como única referencia para el diseño de estructuras con dispositivos de protección sísmica, pero está de por medio las diferencias en sismicidad territorial, así como la posibilidad de una mala interpretación de ciertas disposiciones ya que será necesario combinar criterios aplicables a códigos no complementarios, lo cual puede conllevar a errores en la integridad estructural de las edificaciones.

La importancia que tienen las edificaciones principalmente esenciales, que son vitales para hacer



¹ Ingeniero Civil de Universidad Nacional de Ingeniería Lima, Perú Miembro del IIFIC-UNI.
email: cayalaf@uni.edu.pe web page: <http://fic.edu.pe/>

frente a situaciones de emergencia de cualquier índole, y en particular, la necesidad de que dichas instalaciones estén preparadas para continuar la atención post-sismo inmediatamente luego de un evento sísmico, ha sido puesta en manifiesto por terremotos históricos y recientes. La experiencia con sismos pasados, ha demostrado que las edificaciones esenciales y especialmente los hospitales, pueden ser altamente vulnerables a dichos fenómenos, por lo que no pueden garantizar un adecuado funcionamiento tras la ocurrencia de un evento sísmico; pero en edificaciones sísmicamente protegidas, se puede garantizar la ocupación inmediata, ya que se diseña para un daño estructural despreciable.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1. Sistemas de aislamiento sísmico

El aislamiento sísmico es un concepto de diseño basado en la premisa de que una estructura puede ser separada del movimiento fuerte del terreno causado por un sismo, de manera tal que, mediante esa separación o aislamiento, las magnitudes de las respuestas estructurales se verán reducidas significativamente, en comparación con las magnitudes de las respuestas que ocurrirían en estructuras convencionales que se encuentran fijados al terreno. En la Figura N° 1, se muestran gráficamente algunas reducciones significativas logradas para una misma señal sísmica de entrada. Este sistema es el más eficiente en la protección sísmica de estructuras con esbeltez controlada; los principales dispositivos usados para tal fin son los aisladores de elastómero y los deslizantes o ficcionales.

Tabla N° 1. Tipos de aislamiento sísmico y dispositivos.

Aislamiento sísmico	Mecanismos deslizantes o de rodillos	Placas deslizantes, basculantes Capas de desplazamiento (del suelo) Soportes de rodamientos Otros
	Elemento flexible	Elastómero de multi-capas Soportes flexibles Otros

3.2. Modelo de edificación con base fija.

Para el caso de modelos de estructuras empotradas en la cimentación son denominadas como estructura convencional, los cuales son considerados como sistemas de 1GDL, a fin de poder estimar de manera rápida las diferentes respuestas cuando estas son sometidas a excitaciones en la base.

3.3. Modelo de edificación con base aislada.

En el caso de modelos de estructuras aisladas en la base son considerados como sistemas de 2GDL, ello ya que se adiciona una losa justo por debajo de la estructura convencional, estas propiedades del nivel inferior corresponden a las del sistema de aislamiento. Este tipo de estructuras también pueden ser analizadas como sistemas de 1GDL, pero las respuestas en 1GDL son un tanto limitadas. Las respuestas son más realistas cuando las edificaciones aisladas se consideran como sistemas de 2GDL, ya que al analizar el sistema de 2GDL se puede determinar directamente la respuesta de la estructura, así como también la respuesta global en la superestructura.

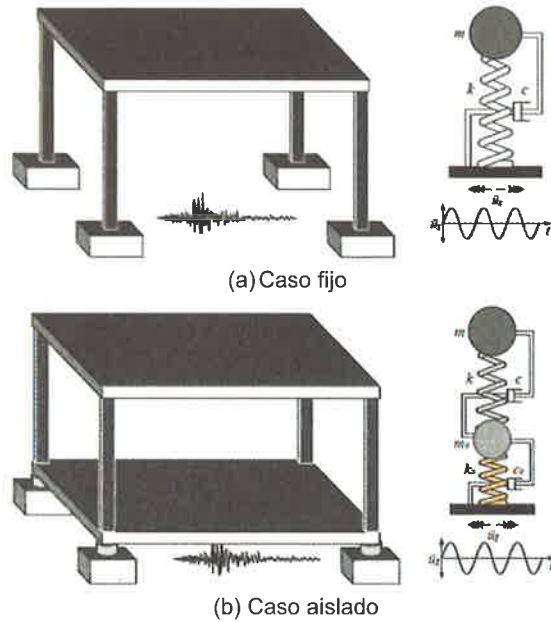


Figura N° 2: Modelos simplificados de edificaciones.

La Figura N° 2 muestra los modelos idealizados para los análisis con excitación en la base de las edificaciones con base fijas y con base aislada. En la Figura N° 3 se graficaron, las respuestas de aceleraciones máximas absolutas para los sistemas de 1 y 2GDL, y en estos se observa una reducción considerable en el caso aislado.

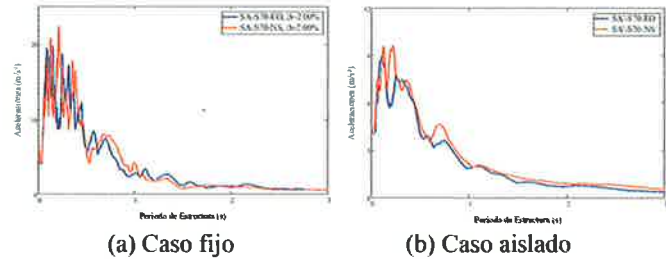


Figura N° 3. Respuestas máximas de aceleraciones absolutas.

4. CRITERIOS PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE EDIFICACIONES AISLADAS

Se realizaron análisis paramétricos en modelos dinámicos de 1 y 2 GDL, con el objetivo de mostrar la tendencia de las respuestas ante la variación de la relación de periodos principales, esta tendencia es misma en edificaciones de VGDL al relacionar los periodos principales de las estructura con base fija y aislada.

La Figura N° 4 muestra las respuestas de sistemas ante excitaciones armónicas, estos son congruentes con la propiedades del modelo, ya que el incremento en el periodo principal del sistema de 2GDL, requerirá alta flexibilidad en nivel de aislamiento y por ende la superestructura tendrá un comportamiento cada vez más rígido, por lo que el sistema de 2GDL prácticamente se comportará como un sistema de 1GDL con el amortiguamiento del nivel de aislamiento (15%). El incremento de la relación de periodos principales entre sistemas, es prácticamente semejante al incremento del amortiguamiento para sistema de 1GDL (entre 2% al 15%).

Para el análisis de los modelos de 2GDL, se considero un amortiguamiento de 15% para el sistema de aislamiento, y un amortiguamiento del 2% para la superestructura.

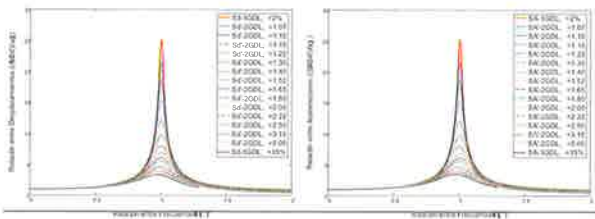


Figura N° 4. Comparativo de respuestas de 1 y 2GDL, casos armónicos

En la Figura N° 4 se muestra gráficos para espectros de aceleración absolutas (1GDL) y máximas aceleraciones absolutas (2GDL), también se muestra gráficos para espectros de desplazamientos relativos (1GDL) y máximos desplazamientos relativos (2GDL). En estos gráficos se observa que el incremento en la relación de periodos causa una mayor reducción en las respuestas en sistemas de 2GDL, cuya tendencia es semejante al incremento del nivel de amortiguamiento en sistemas de 1GDL, por lo que cada curva de las respuestas máximas (2GDL) puede ser descrita mediante una curva de espectros (1GDL).

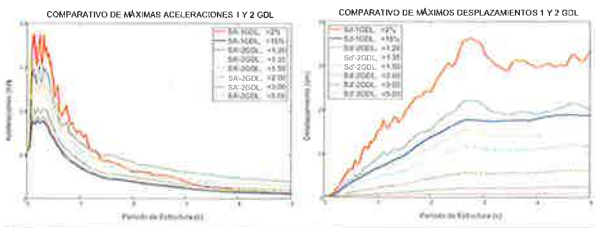


Figura N° 5. Comparativo de respuestas de 1 y 2GDL, casos registros sísmicos

De acuerdo a las Figura N° 4 y Figura N° 5, se puede asegurar que las respuestas entre los sistemas de 1GDL y 2GDL son prácticamente equivalentes, en los gráficos se puede notar que las respuestas máximas de aceleración absolutas (S_A'), fluctúan entre los espectros de aceleraciones absolutas (S_A) con amortiguamientos del 2% y 15%. Las respuestas en los espectros de aceleración absoluta calculadas en los sistemas de 1GDL decrecen a mayor amortiguamiento en el modelo, estos mismos decrecimientos se observan en las respuestas máximas de aceleración absolutas de sistemas de 2GDL, pero en este caso al incrementar el valor de relación entre periodos predominantes (χ).

En esta parte se presentan las propiedades equivalentes para el porcentaje de amortiguamiento, en función de la relación de periodos de la estructura.

$$\zeta_{EJ} = \frac{\chi \left[\beta_0 \sqrt{\left(\frac{\gamma}{\chi^2} + \frac{1}{\chi^2 - 1} \right) (\gamma + 1) (\chi^2 - 1)^2 + \beta} \right]}{\gamma (\chi^2 - 1)^2 + \chi^4} \quad (1.1)$$

A fin de predecir respuestas en sistemas de VGDL a partir de modelos simples se calcularon, ciertas relaciones que

4.1. Aplicación alternativa de sistemas 1 y 2GDL

existen entre los modelos con base fija de VGDL en comparación con un modelo de 1GDL; a la vez también se calculó algunas relaciones entre los modelos aislados de VGDL en comparación de modelo de 2GDL con base aislada. Con edesarrollo de estos cálculos podremos asegurar cuanto de la respuesta total en las edificaciones, representa las respuestas obtenidas en los primeros modos de vibración.

Para el caso de estructura con base fija, el comparativo entre modelos presenta una tendencia hacia valores aproximadamente constantes. Cabe aclarar que el caso de estudio paramétrico se desarrolló en edificaciones aporticadas con base fija, además las distorsiones máximas se producen en los niveles bajos de entrespiso.

$$R_D = \frac{D_{Roof}}{u} \approx 1.30 \quad R_{ji} = \frac{h_i}{H} \approx .66 @ .82 \quad \Delta = \frac{u}{H}$$

$$R_{\Delta} = \frac{\Delta'_{max}}{\Delta} \approx 2.00 \quad R_{\Delta} = \frac{\Delta'_{max}}{\Delta_{GE}} \approx 1.30 @ 1.55 \quad \Delta_{GE} = \frac{D_{Roof}}{H}$$

Para el caso de estructura con base aislada, el comparativo de modelos presenta una tendencia hacia valores prácticamente constantes. Las distorsiones máximas para el caso de edificaciones aporticadas con aislamiento sísmico, se producen en los primeros niveles de entrespiso.

$$R_{DR} = \frac{D_{Roof}}{u_1} \approx 1.04 \quad R_D' = \frac{D'}{u'} \approx 1.40 \quad \Delta' = \frac{u'}{H'}$$

$$R_{\Delta}' = \frac{\Delta'_{max}}{\Delta'_{GE}} \approx 1.50 @ 1.70 \quad \Delta'_{GE} = \frac{D_{Roof} - D_{NA}}{H'}$$

Con estos coeficientes calculados, solo bastará con analizar modelos simples para estimar respuestas en modelos de VGDL. De estos casos los coeficientes de corrección principales para la estructura fija y aislada respectivamente son.

$$\Delta_{max} = 2.00 \frac{u}{H}$$

$$\Delta'_{max} = 2.30 \frac{u'}{H'}$$

5. ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN AISLADA

La estructura analizada en esta investigación, es un proyecto de edificación llamada "Nuevo Edificio Corporativo Grañay Montero", proyecto en el que se usó el sistema de aislamiento sísmico de base, con dispositivos de protección sísmica Lead Rubber Bearing (LRB).

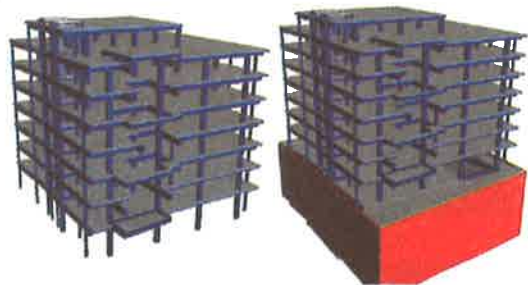


Figura N° 6. Modelos matemáticos de estudio convencional y aislado.

El proyecto consta de una edificación de oficinas de 7 pisos más azotea y 4 sótanos; la estructuración de la edificación es en base a pórticos de concreto armado, además de un sistema de aislamiento sísmico LRB que está colocado bajo el techo del primer sótano, siendo esta losa la que actúa como nivel de aislamiento; los techos de la edificación están íntegramente conformados por losas.

macizasy actúan como diafragma rígido. Según criterios de diseño, el tipo de análisis requerido por esta estructura es el análisis dinámico modal espectral.

5.1. Análisis modal espectral (RSA)

Los periodos están en el orden de T= 1.45 s. caso fijo, TD=3.60 S. y TM=3.70S. caso aislado. En la Tabla N° 2 y, en la Figura N° 7 se muestra el comparativo de las respuestas de los análisis, en la tabla y el gráfico solo se presentan en la dirección X porque las respuestas de la otra dirección es prácticamente similar. En este caso de análisis se obtuvo una reducción de orden del 66%, al comparar las distorsiones máximas de entropeso.

Tabla N° 2. Comparativos RSA de cortantes y desplazamientos, para DE.

Nivel	Base Fija				Base Aislada			
	V _{x1} (tonf)	C _{x1} (%)	u _{x1} (cm)	Δ _x	V _{x1} (tonf)	C _{x1} (%)	u _{x1} (cm)	Δ _x
P-H	45.57	12.57	19.78	0.0032	20.57	5.67	23.27	0.0007
Nivel 7	158.05	9.37	18.91	0.0051	83.24	4.93	23.07	0.0011
Nivel 6	234.63	7.57	17.53	0.0070	136.87	4.42	22.72	0.0015
Nivel 5	286.69	6.35	15.67	0.0084	185.26	4.10	22.31	0.0019
Nivel 4	326.24	5.51	13.36	0.0094	227.42	3.84	21.75	0.0023
Nivel 3	365.70	4.96	10.61	0.0102	266.97	3.62	21.16	0.0026
Nivel 2	404.78	4.62	7.53	0.0107	303.17	3.46	20.30	0.0029
Nivel 1	440.87	4.29	4.08	0.0094	341.67	3.33	19.44	0.0036
N-A	-	-	-	-	747.54	6.45	17.93	0.5977

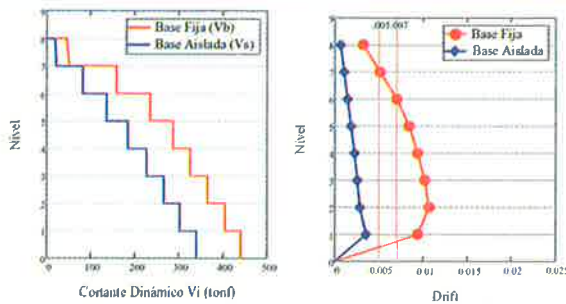


Figura N° 7. Comparativos de distribución decortante y drifts de entropeso .

En la Tabla N° 3, se detalla la ubicación de cada aislador, de acuerdo a la distribución por ejes en el nivel de aislamiento, y luego se verifica el correcto desempeño de estos dispositivos tanto en compresión como en tensión controlada.

Tabla N3. Configuración del sistema de aislamiento y tipos de aislador.

Numeración y tipo según ubicación de aisladores, en interfaz de aislamiento*						
Ejes	A'	B	C	D	E	F'
6	AS-01 (Tip A)	AS-02 (Tip B)	AS-03 (Tip B)	AS-04 (Tip B)	AS-05 (Tip B)	AS-06 (Tip A)
5	AS-07 (Tip A)	AS-08 (Tip C)	AS-09 (Tip C)	AS-10 (Tip C)	AS-11 (Tip B)	AS-12 (Tip A)
4	-	-	AS-13 (Tip C)	AS-14 (Tip C)	AS-15 (Tip A)	AS-16 (Tip A)
3'	AS-17 (Tip B)	AS-18 (Tip B)	AS-19 (Tip C)	AS-20 (Tip C)	AS-21 (Tip B)	AS-22 (Tip A)
2'	AS-23 (Tip A)	AS-24 (Tip C)	AS-25 (Tip B)	AS-26 (Tip B)	AS-27 (Tip B)	AS-28 (Tip A)

* El Carácter ('), Indica que el Eje no Necesariamente es Recto

La Tabla N° 4 se verifica la falla por levantamiento de cada elemento o dispositivo (desconexión) y como se observa, la mayor parte de estos dispositivos trabaja a compresión, salvo los elementos de las esquinas donde se presenta.

tensiones pero de manera controlada, en los casos para los eventos más desfavorables.

Tabla N° 4. Verificación de levantamientos y esfuerzos por tracción en aisladores, para MCE.

Verificación y esfuerzos de tracción (kgf/cm ²)*						
Ejes	A'	B	C	D	E	F'
6	0.24	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	8.57
5	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre
4	-	-	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre
3'	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre
2'	8.83	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	No Ocorre	1.82

* La tensión máxima admisible 10.00 kgf/cm²

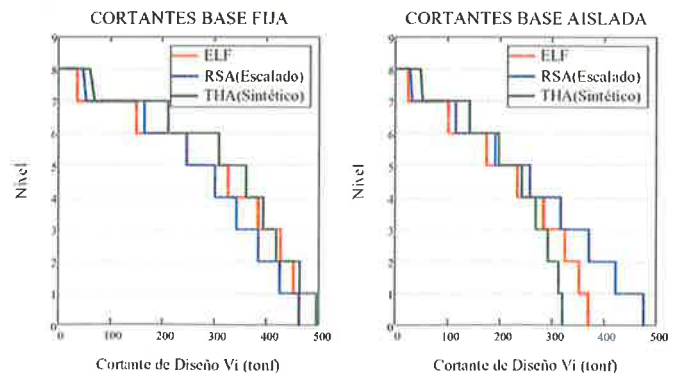
5.2. Fuerzas de diseño.

Las fuerzas de diseño en la estructura de la edificación con base fija, y las fuerzas de diseño en la superestructura de la edificación con base aislada, han sido incrementadas a fin de cumplir con las fuerzas mínimas requeridas (105% y 119%) caso fijo y (139.6% y 139.1%) caso aislado. En la Tabla N° 5 se muestra las cortantes de diseño, y se detalla el porcentaje de peso que representan estos.

Tabla N° 5. Cortantes de diseño de cada entropeso.

Nivel	Diseño Fija				Diseño Aislada			
	V _{x1} (tonf)	V _{y1} (tonf)	C _{x1} (%)	C _{y1} (%)	V _{x1} (tonf)	V _{y1} (tonf)	C _{x1} (%)	C _{y1} (%)
P-H	47.77	43.55	13.2	12.0	28.73	25.88	7.9	7.1
Nivel 7	165.67	165.92	9.8	9.8	116.24	114.02	6.9	6.8
Nivel 6	245.93	246.78	7.9	8.0	191.12	190.55	6.2	6.1
Nivel 5	300.51	300.61	6.7	6.7	258.71	256.64	5.7	5.7
Nivel 4	341.96	342.04	5.8	5.8	317.58	315.72	5.4	5.3
Nivel 3	383.32	382.58	5.2	5.2	372.79	372.03	5.1	5.0
Nivel 2	424.28	423.10	4.8	4.8	423.34	423.25	4.8	4.8
Nivel 1	462.11	462.11	4.5	4.5	477.12	478.38	4.6	4.7
N-A	-	-	-	-	521.94	521.94	4.5	4.5
					747.54	750.70	6.5	6.5

En los gráficos siguientes se muestran las cortantes de cada entropeso y porcatadotipo de análisis, los cuales han sido graficados en un solo gráfico a fin de comparar; el primer caso de análisis estático (ELF); el segundo caso de análisis espectral (RSA escalado) es á del diseño, el cual que cumple con el coeficiente de cortante basal requerido por el código; y el tercer caso tiempo historia (THA).



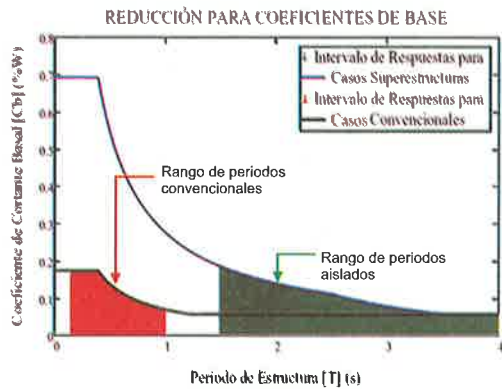


Figura N° 8. Cortantes y coeficiente de cortante basal de diseño (Facción de peso).

5.3. Análisis Tiempo Historia (THA).

Estos análisis representan mejor el desempeño de la edificación ante un sismo real, ya que el comportamiento de los aisladores en este caso dependen de la demanda, por lo que actúan según su curva histerética (Capacidad). En la Tabla N° 6 y en el gráfico siguiente se muestra el comparativo de las respuestas de los análisis, y donde se obtiene la reducción del 80% en distorsiones. Estos análisis se realizaron con varios registros sísmicos para validar las respuestas de diseño.

Tabla N° 6. Comparativos THA de cortantes y desplazamientos, para DE.

Nivel	Base Fija				Base Aislada			
	V _x (tonf)	C _x (%)	u _x (cm)	Δx	V _x (tonf)	C _x (%)	u _x (cm)	Δx
P-H	61.32	16.9	30.53	0.0056	49.17	13.56	21.61	0.0010
Nivel 7	211.62	12.5	28.87	0.0082	142.92	8.47	21.35	0.0015
Nivel 6	308.73	10.0	26.35	0.0112	197.81	6.38	20.97	0.0019
Nivel 5	361.21	8.0	23.28	0.0128	243.36	5.39	20.49	0.0022
Nivel 4	393.85	6.6	19.85	0.0138	270.16	4.56	19.92	0.0024
Nivel 3	418.53	5.7	15.92	0.0149	293.32	3.98	19.32	0.0026
Nivel 2	464.22	5.3	11.26	0.0172	313.86	3.58	18.72	0.0027
Nivel 1	496.74	4.8	6.10	0.0145	321.57	3.13	17.98	0.0031
N-A	-	-	-	-	682.42	5.88	16.78	0.5593

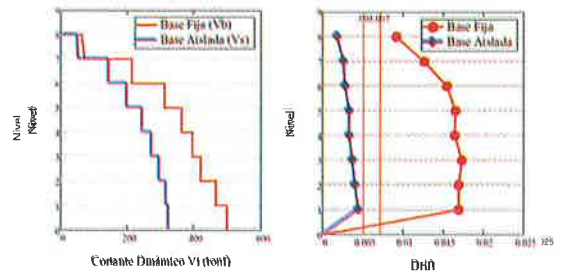


Figura N° 9. Respuestas en el tiempo de las edificaciones, ante registros sísmico.

Los gráficos de la Figura N° 10, muestran el comportamiento en el tiempo de las respuestas aceleraciones absolutas y desplazamientos relativos para ambos modelos ante un sismo. En este tipo de análisis se observa que las reducciones están en el orden de 70% en promedio para todos los casos analizados.

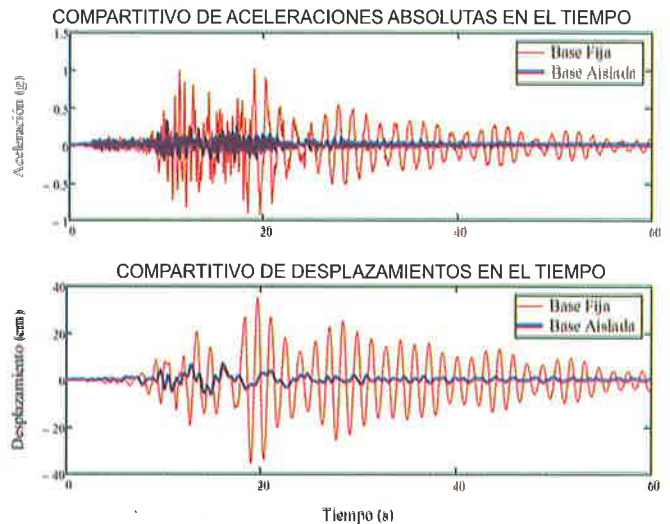


Figura N° 10. Respuestas en el tiempo de las edificaciones, ante registros sísmico.

6. DISEÑO Y REQUERIMIENTO DE AISLADORES

De acuerdo a los desplazamientos por sismo que se detallan en la Tabla N° 7 y las carga que se detallan en la Tabla N° 8 y 9, se diseña cada dispositivo de aislador (LRB), en estas tablas se está presentando solo cargas representativas de un aislador por cada tipo según su posición.

Tabla N° 7. Desplazamientos relativos en los aisladores.

Código de Link	Grupo Tipo	Sx (DE)			Sy (DE)			Sx (MCE)			Sy (MCE)		
		u _x (cm)	u _y (cm)	u _z (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _z (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _z (cm)	u _x (cm)	u _y (cm)	u _z (cm)
AS-12	A	17.79	2.34	0.07	1.67	18.23	0.01	24.11	3.23	0.08	2.40	24.64	0.01
AS-19	C	17.79	0.75	0.00	1.62	17.69	0.01	24.13	1.02	0.00	2.32	24.00	0.01
AS-25	B	18.93	0.72	0.03	3.36	17.67	0.04	25.68	0.99	0.04	4.82	23.98	0.05

Tabla N° 8. Cargas sísmicas, sobre cada aislador.

Código de Link	Respuestas DE					Respuestas MCE				
	Fv (tonf)	Vx (tonf)	Vy (tonf)	Mx (tonf·m)	My (tonf·m)	Fv (tonf)	Vx (tonf)	Vy (tonf)	Mx (tonf·m)	My (tonf·m)
AS-12	106.92	24.80	25.68	3.85	3.72	137.10	31.29	32.29	4.84	4.69
AS-19	16.15	31.78	31.24	4.69	4.77	20.67	40.78	39.93	5.99	6.12
AS-25	92.45	31.86	28.64	4.30	4.78	117.83	40.92	36.59	5.49	6.14

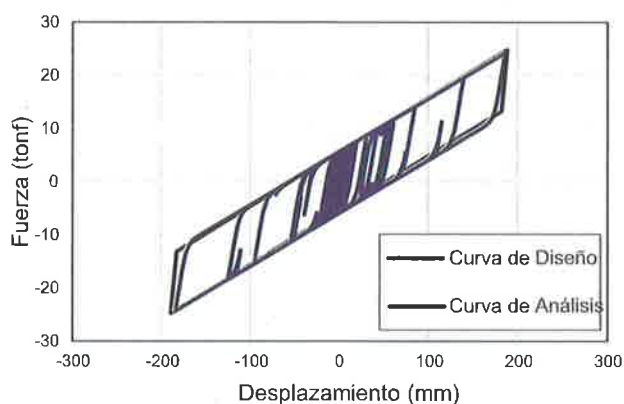
Tabla N°9. Fuerzas y combinaciones absolutas sobre cada aislador.

Código de Link	Grupo	Gravedad		SISMO		Comb(Diseño)		Comb(Estabilidad)	
	Tipo	D (tonf)	L (tonf)	E _{DE} (tonf)	E _{MCE} (tonf)	1.3D+L+E (tonf)	0.8D-E (tonf)	1.35D+L+E (tonf)	0.75D-E (tonf)
AS-12	A	219.42	45.50	107.25	136.45	438.00	68.29	478.17	28.12
AS-19	C	603.81	161.52	15.88	20.22	962.35	467.17	996.89	432.63
AS-25	B	431.21	92.08	91.88	116.61	744.53	253.08	790.81	206.80

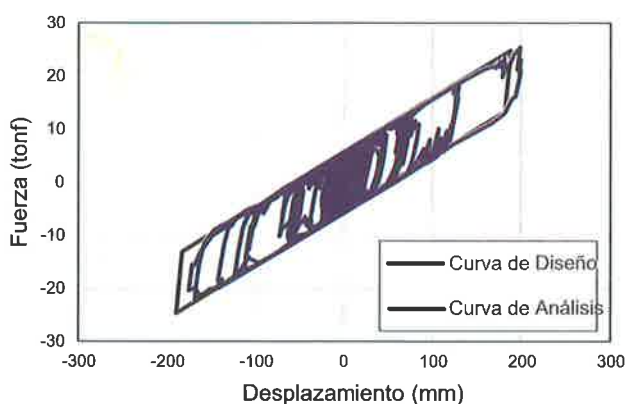
Figura N° 11 (b) Caso de sismo simultáneo S_x, S_y; se muestra la curva de capacidad un aislador tipo A, donde se grafica la curva bilineal de diseño y la curva de demanda para un caso de sismo, en estos gráficos se observa un correcto desempeño lateral del dispositivo, con diferentes eventos tiempo historia.

Tabla N° 10. Límites de propiedades de cada dispositivo de aislamiento.

Aislador	Parámetro	Promedio T _D =3.60s. y T _M =3.70s.	Límite superior	Límite inferior
Tipo A	K ₁ (tonf/m)	1000	1130	911
	K ₂ (tonf/m)	100.00	102.73	100.11
	F _y (tonf)	6.40	7.15	5.90
	K _{Deq} (tonf/m)	133.01	141.56	129.22
	β _{Deq} (%)	15.22	16.80	13.83
	K _{Meq} (tonf/m)	124.39	131.37	121.59
	β _{Meq} (%)	12.14	13.50	10.95
Tipo B	K ₁ (tonf/m)	1200	1310	1080
	K ₂ (tonf/m)	120.00	119.09	120.00
	F _y (tonf)	7.60	8.20	7.00
	K _{Deq} (tonf/m)	159.20	163.62	154.49
	β _{Deq} (%)	15.11	16.68	13.70
	K _{Meq} (tonf/m)	148.96	151.95	145.45
	β _{Meq} (%)	12.05	13.39	10.84
Tipo C	K ₁ (tonf/m)	1300	1394	1170
	K ₂ (tonf/m)	130.00	126.73	131.09
	F _y (tonf)	8.20	8.75	7.55
	K _{Deq} (tonf/m)	172.29	174.25	168.26
	β _{Deq} (%)	15.06	16.71	13.56
	K _{Meq} (tonf/m)	161.25	161.79	158.51
	β _{Meq} (%)	12.01	13.41	10.72



(a) Caso de sismo independiente S_x, ó S_y



(b) Caso de sismo simultáneo S_x, S_y

Figura N° 11. Ciclo Histerético del aislador tipo A, sismo unidireccional y bidireccional.

6.1. Límites de propiedades en los dispositivos.

Las propiedades calculadas para cada tipo de aislador en la etapa de diseño, son prácticamente semejantes a los valores usados en los diferentes tipos de análisis, los cuales se detallan en la Tabla N° 10. De los casos de análisis con estos límites tanto superior como inferior, se consideró como respuestas para los diseños del sistema de aislamiento a los resultados más desfavorables entre ambos límites

7. CONCLUSIONES

Las conclusiones de la investigación son las siguientes

- ✓ Se consiguen estimados muy convenientes en algunas de las respuestas de estructuras aisladas con solo analizar modelos simples, los cuales son ideales para ser tomados como parámetros iniciales en modelos complejos.

- ✓ Lo desarrollado en esta investigación, pueden ser usados como guías o rutinas, para el correcto desempeño de la estructura aislada y sus componentes ante diversos eventos sísmicos; garantizando la operatividad inmediata y limitando daños en la estructura (evitar daños en elementos estructurales, minimizar daños en el contenido, o reparaciones mínimas).
- ✓ Se concluye que la relación de los periodos (T_{IT}), es un parámetro principal que afecta directamente en el cambio de las respuestas sísmicas, e influye de manera primordial en los niveles de reducciones. El rango adecuado para un correcto desempeño sísmico es entre 2.00 y 4.00.
- ✓ Es muy importante manejar un intervalo variable para las propiedades del sistema de aislamiento, ya sea como límites máximos y mínimos en los diferentes análisis realizados y considerar como respuesta el caso más desfavorable. Estos límites resultan cruciales, debido a que existe gran variabilidad en los materiales del aislador, que generalmente pueden pasar expuestos mucho tiempo antes de que ocurra un sismo con la consideración de diseño, y por lo que sufren diversas alteraciones.
- ✓ Constantinou M., Whittaker A., Kalpakidis Y., Fenz D. & Warn G., "Performance of Seismic Isolation Hardware Under Service and Seismic Loading," University at Buffalo, New York, (2007).
- ✓ Higashino M. & Okamoto S., "Response Control and Seismic Isolation of Buildings," Taylor & Francis, New York, (2006)
- ✓ Kelly, J., & Naeim, F, "Design of Seismic Isolated Structures," John Wiley & Sons Inc, New York, (1999).
- ✓ Kelly, T. E., "Base Isolation of Structures Design Guidelines," Holmes Consulting Group Ltd, Wellington, (2001).

Lima – Octubre del 2019

REFERENCIAS

- ✓ Ayala C., "Estudio de criterios para el análisis y diseño de edificaciones, con el uso de aisladores sísmicos," Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, (2016).
- ✓ American Society of Civil Engineers, "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE Standard ASCE/SEI 7-10," American Society of Civil Engineers, Virginia, (2010).
- ✓ Beer M., Constantinou M., Kougoumtzoglou I. A., Patelli E. & Au S., "Encyclopedia of Earthquake Engineering," Springer Heidelberg, New York, (2015).
- ✓ Cheng, F. Y., Jiang H. & Lou K., "Smart structures Innovative Systems for Seismic Response Control," CRC Press, New York, (2008).
- ✓ Chopra, A. K., "Dynamics of Structures," Prentice Hall, San Francisco, (2012).

UN MODELO MULTI-RESORTE PARA EL ANALISIS NO LINEAL DE MUROS ESBELTOS DE CONCRETO ARMADO

Humberto Abraham Rojas Barrueta¹

Sinopsis: En este artículo se expone una metodología de análisis no lineal, en el que se ha usado un modelo de múltiples resortes que trabajan en conjunto y que representan el comportamiento no lineal de un muro esbelto de concreto armado.

El uso de este modelo, debido a que muestra una alta capacidad para representar el efecto que tiene el confinamiento de un muro en la capacidad de desplazamiento del mismo; puede ayudar a entender el comportamiento de este tipo de muros con las finalidades de lograr el diseño del lado de la seguridad del confinamiento de este tipo de elementos. Finalmente se deja abierta la posibilidad de proponer su uso en diferentes elementos de estructuras ubicadas en zonas de alta sismicidad.

Palabras Claves: Modelo multi-resorte, análisis no lineal, elementos de borde.

INTRODUCCIÓN

En la práctica del diseño de estructuras actual existe una gran capacidad de modelar con mayor precisión un muro estructural de concreto armado a medida que aumenta la confianza en el comportamiento sísmico de este tipo de elementos, por eso este artículo se basa en un modelo de análisis no lineal y que a su vez fue validado comparándolo con un trabajo experimental realizado por otros autores, obteniéndose resultados aceptables; entonces, primero se plantea un esquema de idealización basado en un sistema de resortes, los cuales van a representar la respuesta no lineal de un muro de concreto armado; luego este esquema es representado mediante elementos de un programa de análisis estructural de tipo comercial (CSI 2003), estos resultados fueron contrastados con un trabajo experimental propuesto por Thomsen y Wallace (2004). Cabe mencionar que existen trabajos analíticos y experimentales, cuyos resultados serían convenientes tenerlos en cuenta para mejorar la práctica de diseño y construcción de este tipo de estructuras.

OBJETIVO

Con la presentación de este modelo de análisis no lineal se pretende evaluar el efecto que tiene el confinamiento y la cuantía de acero en los elementos de borde, de muros estructurales de concreto armado, en la capacidad de desplazamiento del muro de concreto armado y fomentar su uso en la práctica constructiva actual.

ANTECEDENTES

En el último sismo de gran magnitud ocurrido en la ciudad de Maule (Chile, 2010); se registraron daños en muros de concreto armado, principalmente en aquellos que carecían de elementos de borde y a una distancia menor de la que se espera, según la norma del ACI 318-11.

Este antecedente llevó a una hipótesis en la cual se valida este hecho a partir de un modelo de múltiples resortes (*Multi-spring*) y que a su vez pueda mejorar el diseño en el confinamiento de un muro de concreto armado.

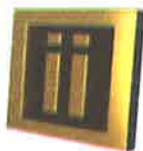


Figura 1. Necesidad de elementos de borde (ACI318-19) frente a daños producidos en muros a consecuencia del terremoto de maule (Cerde, 2011)

En este artículo respalda la idea de que la falta de elementos de borde en muros de concreto armado, lleva a estructuras sísmicamente vulnerables.

PROPUESTA: MODELO DE ANALISIS NO LINEAL MUTI-SPRING PARA MUROS ESBELTOS.

Es un modelo idealizado basado en un sistema de resortes no lineales (*multi-spring*) que sirve para simular la respuesta no lineal de un muro de corte y de esta forma poder calcular el desplazamiento lateral máximo producido en el muro por cargas laterales, así como los esfuerzos y las deformaciones generadas a lo largo de la sección transversal.



Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.
E-mail: haroban@gmail.com
Miembro del IIFIC – UNI.

 iific.edu.pe

Se modela en pequeños segmentos discretos, la sección del muro, la cual representados por varios resortes (*springs*). Los resortes modelan las acciones internas a flexión y carga axial.

A cada resorte se le puede asignar una curva Fuerza-desplazamiento basado en la curva esfuerzo-deformación de cada material. Para el concreto no confinado y confinado se emplearon los modelos constitutivos de Hognestad y Mander; respectivamente. Para el acero; donde se consideran la fluencia, el endurecimiento por deformación, los efectos de la degradación del concreto y el pandeo local.

Asimismo los resultados se respaldan en ensayos experimentales de elementos de concreto armado, con el fin de comparar su comportamiento real con respecto a la metodología expuesta, de esta forma, se escoge el trabajo experimental realizado por Thomsen y Wallace (2004) en donde cuatro especímenes de muros fueron sometidos a carga axial y lateral para luego registrar la magnitud de las cargas aplicadas sobre los muros. A continuación se mencionan algunos modelos empleados para el análisis numérico de muros.

• **MODELO ANALITICO.**

Este modelo fue introducido por primera vez por Vulcano et al. (1988) En este modelo (Figura 2), el elemento de muro era representado por una serie de elementos uniaxiales conectados en paralelo usando barras infinitamente rígidas ubicadas en la parte superior y extremos inferior del muro; dos elementos externos simulan los elementos del límite de El muro, mientras que los otros elementos simula el comportamiento combinado de flexión axial del panel central. Se usó un resorte horizontal para representar el comportamiento de corte inelástico del muro. El componente de las leyes para el hormigón (confinado y no confinado) y los elementos de acero se definieron para describir la respuesta histórica de los materiales. Se concluyó que el modelo predijo el comportamiento de flexión de la pared de manera eficiente incluso cuando se usaron relativamente pocos elementos uniaxiales (4 elementos). Vale la pena señalar que, aunque el modelo propuesto consideró tanto el comportamiento de flexión como el de corte, pero sus respuestas no fueron acopladas. Colotti (1993) modificó el Modelo MVLE para incluir la interacción entre respuestas axiales y de corte, lo que condujo a una respuesta más precisa simulación.

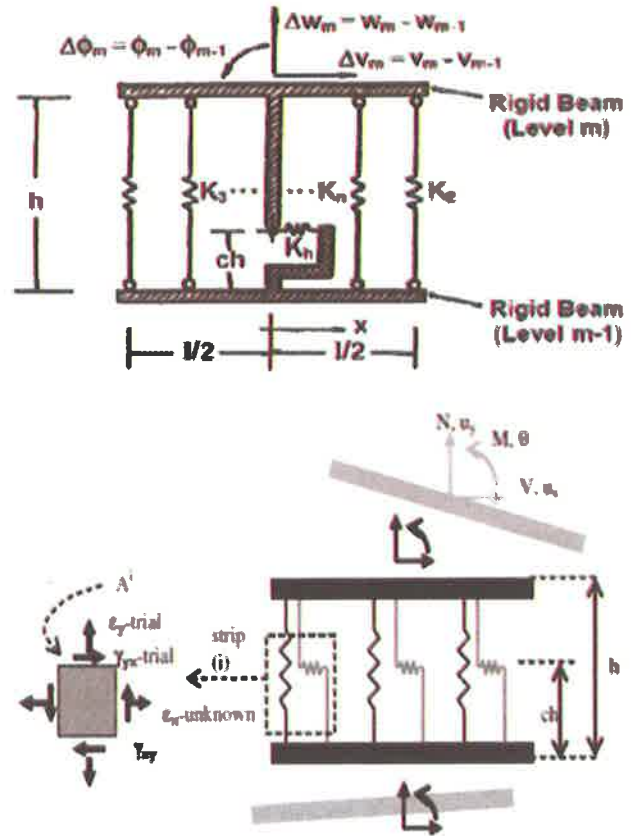


Figura 2. Modelo *Multiple vertical line element* (Vulcano et al. 188).

• **MODELO MULTI-RESORTE APLICADO A MUROS ESBELTOS**

Debido a que existe la necesidad de modelar con precisión un muro de concreto a medida que aumenta la confianza en el comportamiento sísmico de este tipo de elemento; lo cual llevo a proponer la aplicación de este modelo en un muros esbelto de concreto armado.

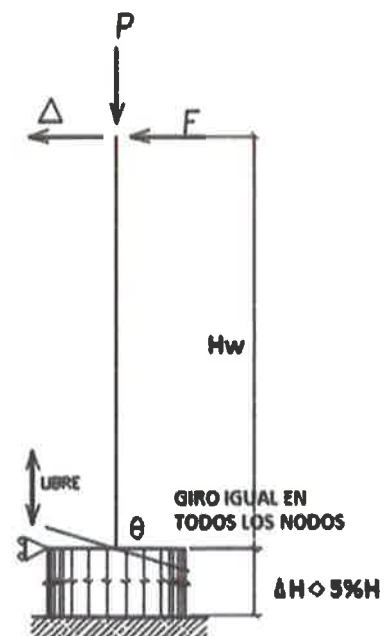


Figura 3. Esquema ideal de Modelo multi-spring aplicado a muros esbeltos.

En la idealización del modelo, se puede notar diferentes restricciones que lo aproximarán a un comportamiento más real, se puede evidenciar en la imagen la necesidad de asignarle a cada resorte (link) un giro igual a cero en todos los nodos, para asegurar que estos sean predominados por deflexión vertical. Se definirá un resorte adicional para representar las deflexiones producidas por el corte, ocasionados por el historial de carga. Los resortes estarán conectados por un elemento horizontal que tendrá en un extremo un apoyo de rodillo que asegure que los resortes solo experimenten deformaciones verticales debido a la naturaleza de este apoyo; además, en el punto de control es necesario restringir los grados de libertad para que solo se desplace en el eje x. Cabe señalar que el L_p (longitud de rótula) usado fue $0.5 L_w$ (longitud de muro) y la longitud de los links equivalente al $5\% h w$.

1. MODELAMIENTO.

Se detalla el procedimiento para representar un modelo numérico, CSI(2003); en la Figura 4 se puede observar un esquema del muro RW2 y la región donde se produce la rótula plástica en la parte baja del muro.

En el modelo computacional, el muro solo será representado como un elemento columna (*frame*) para fines prácticos y que será definido con las dimensiones anteriormente descritas; asimismo, la carga axial será definido como una carga constante, basándose claramente en el ensayo realizado por Thomsen y Wallace(2004) en donde se aplica una carga axial equivalente a $0.07 A_g f'_c$ para la muestra RW2.

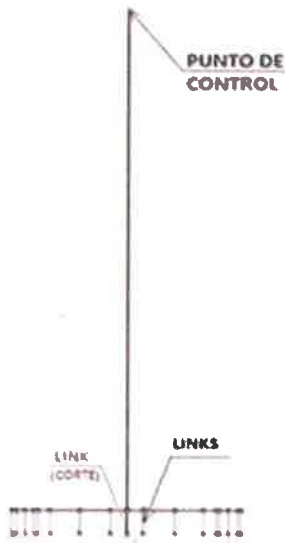


Figura 4. Modelo numérico con elemento Multi-spring .

El modelo multi-resorte mostrado define un comportamiento alternado tracción-compresión en cada link (resorte) tanto para el acero y el concreto, lo cual no se ajusta a la realidad, ya que frente a los conceptos conocidos del comportamiento de los materiales a lo largo de su vida útil, es conocido que en los primeros ciclos de carga el concreto adopta una pequeña tracción para luego ser tomado por las varillas de acero, es decir, no es real asumir un comportamiento alternado tracción-compresión en el concreto porque se estaría asumiendo una energía adicional que se traduce en un ensanchamiento de la gráfica histerética como se muestra en la Figura 3, lo que nos lleva a

proponer el uso de un elemento del tipo GAP adosado al link de concreto para que se verifique este hecho.

• ELEMENTOS GAP

El elemento GAP se engloba dentro de los elementos tipo LINK, CSI (2003). Así, al definir las características de un link podemos configurarlo para que actúe solo en compresión uniaxial. Se muestra un esquema del proceso para crear un link tipo gap que sirva para representar el comportamiento del concreto dentro de la sección del muro.



$$f = \begin{cases} k(def + e) & \text{si } -def \geq e \\ 0 & \text{si } -def < e \end{cases}$$

Figura 5. Esquema conceptual de un elemento tipo Gap.

La Figura 6 muestra la inclusión del elemento gap en el esquema ideal, el cual limitará el comportamiento a tracción del concreto.

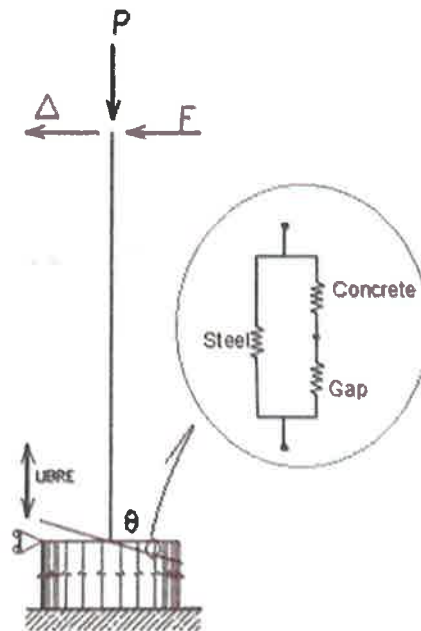


Figura 6. Esquema ideal incluyendo elemento tipo gap.

La Figura 7.a muestra la respuesta histerética del muro, donde se evidencia una capacidad de disipación de energía importante, esta condición se debe a que los elementos que representan al concreto tienen una capacidad artificial numérica de disipar energía. Para corregir esta disipación artificial se introduce el elemento gap que modificará el comportamiento a tracción del concreto, ver Figura 7.b, en este caso las curvas de histéresis encierran un área menor que muestra la evidencia de la corrección de la disipación de energía artificial del modelo anterior.



(a) MODELO MULTI-RESORTE SIN ELEMENTOS GAP



(b) MODELO MULTI-RESORTE CON ELEMENTOS GAP.

Figura 7. Grafica comparativa del modelo Multi-resorte con y sin elementos tipo Gap.

2. VALIDACIÓN.

Se presentan los resultados experimentales obtenidos por Thomsen y Wallace (2004) en la predicción de la respuesta de muros de concreto armado frente a cargas cíclicas; se hizo uso de estos resultados para validar el modelo multi-spring.

2.1 ESTUDIO EXPERIMENTAL DE THOMSEN Y WALLACE (2004)

Las muestras ensayadas (designados como RW1 y RW2) corresponden a dos muros de sección transversal de idénticas dimensiones; ambos tienen una altura total de 3.66 m, con un 1.22 m de largo y 102 mm de espesor. Ver Figura 8. Además cuentan con un pedestal armado que se encuentra anclado al piso del laboratorio y que actúa como fundación rígida.

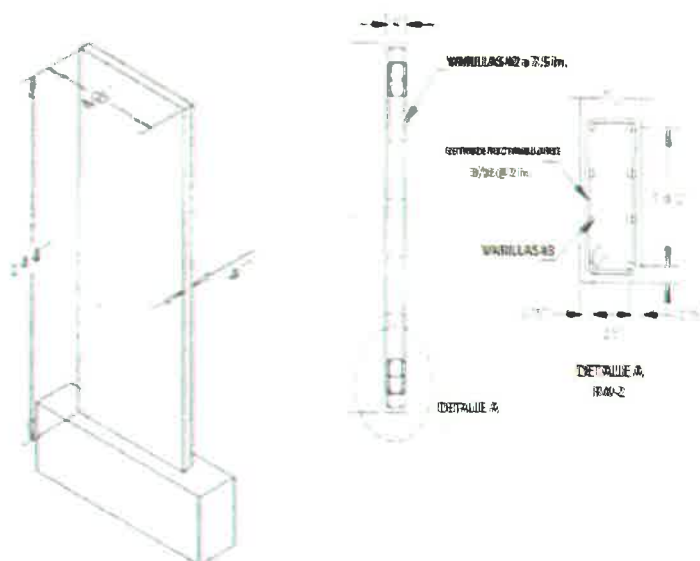


Figura 8. Muro ensayado RW2- Detalles de refuerzo de elementos de borde.

La Figura 9 muestra el diagrama momento-curvatura del muro, calculado, y el perfil de deformaciones medias en el muro.

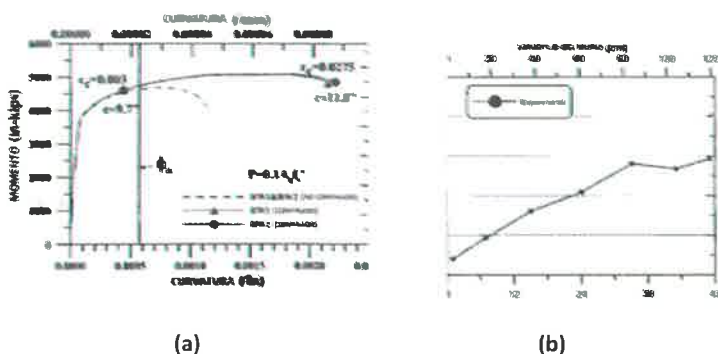


Figura 9 Resultados obtenidos en el montaje experimental de Thomsen y Wallace (2004). (a) Grafica Momento – Curvatura. (b) Perfil de deformaciones de la sección del muro.

La Figura 10 muestra los resultados experimentales obtenidos por Thomsen y Wallace (2004), los lazos histeréticos fuerza-desplazamiento superpuesto con la distorsión del muro.

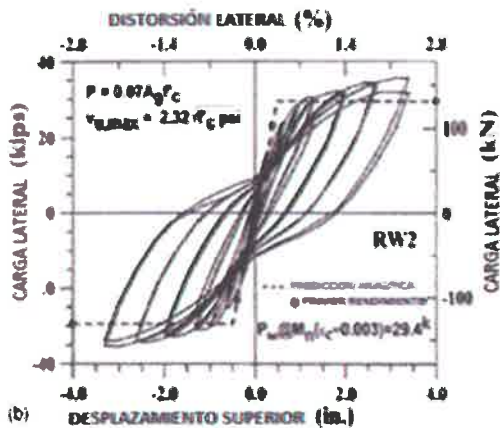


Figura 10. Relación Fuerza vs Desplazamiento del muro bajo acciones de cargas cíclicas reversibles.

2.2 RESULTADOS DEL MODELO MULTI-RESORTE (RW2)

Se muestran los gráficos cortante-desplazamiento obtenidos del análisis no lineal. Se observa en los gráficos, los desplazamientos positivos, negativos, el punto de máxima (mínima) capacidad del ensayo y se pudo obtener resultados calculados similares respecto a los resultados experimentales.

- **Grafica M vs ϕ calculada**

La relación momento-curvatura de un modelo multi-spring se obtiene a partir de la fuerza incremental lateral, la rotación generada por esta fuerza y longitud de rotula plástica. Los valores máximos de esta grafica fueron verificadas analíticamente, ver Figura 11.

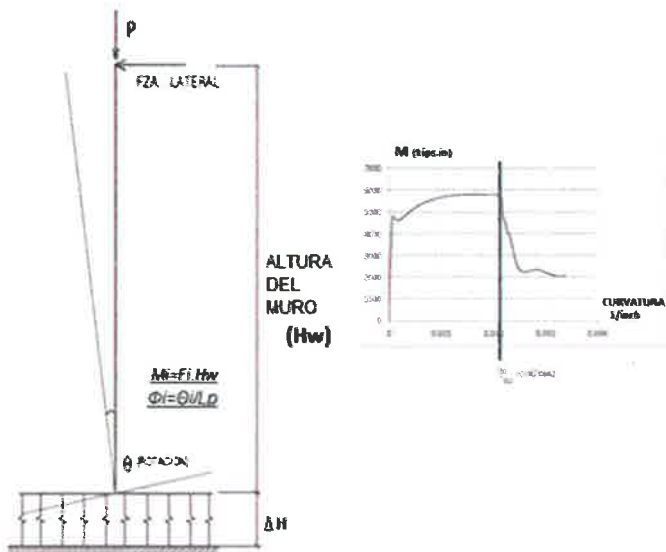


Figura 11. Grafica M vs C obtenida del modelo de links.

- **Curva esfuerzo vs Deformación de Acero**

Se muestra la curva esfuerzo- deformación del acero donde se puede ver el comportamiento a compresión del acero frente a cargas monotónicas.

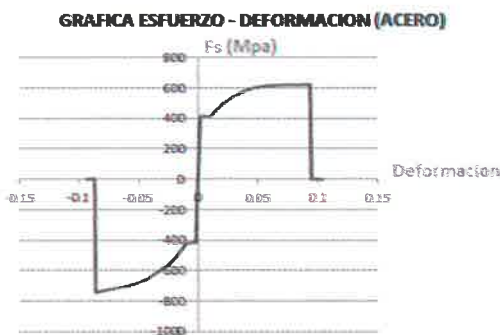


Figura 12. Esfuerzo deformación del acero.

- **Curva histerética Esfuerzo vs Deformación del concreto.**

Como parte de la calibración del modelo se muestra la gráfica de esfuerzo-deformación del concreto sometido a cargas cíclicas extraída del modelo multi-resorte realizado en SAP2000 donde se evidencia el comportamiento del concreto frente a ciclos de carga como puede apreciarse en la Figura 13. Se puede notar en la gráfica que no existe un incremento del área del ciclo histerético en la zona de tracción del concreto lo cual se logró con la inclusión de los elementos gap en el esquema ideal, los cuales restringe las deformaciones en tracción de los resortes no lineales.

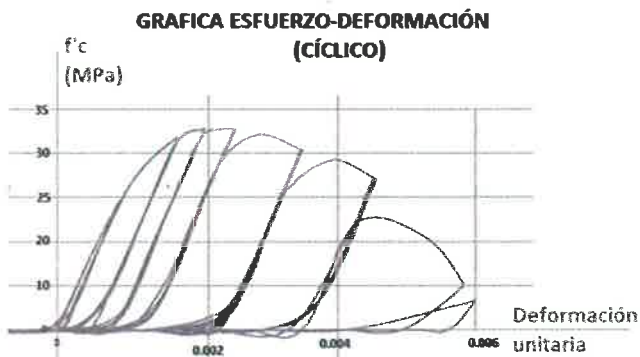


Figura 13 Grafica esfuerzo-Deformación del muro RW2 sometido a cargas cíclicas.

2.3 SUPERPOSICION DE GRAFICAS EXPERIMENTAL-TEORICO

Se contrasta lo resultados del modelo multi-spring con el de los ensayos realizados por Thomsen y Wallace (2004).

La superposición de ambas graficas evidencia una similitud en la envolvente de la curva histeretica, ver Figura 14, tomando en cuenta que los links son elementos plásticos con una longitud definida y esto hace que haya incompatibilidades de deformaciones en las conexiones entre los conectores y los links.

EXPERIMENTAL VS ANALITICO

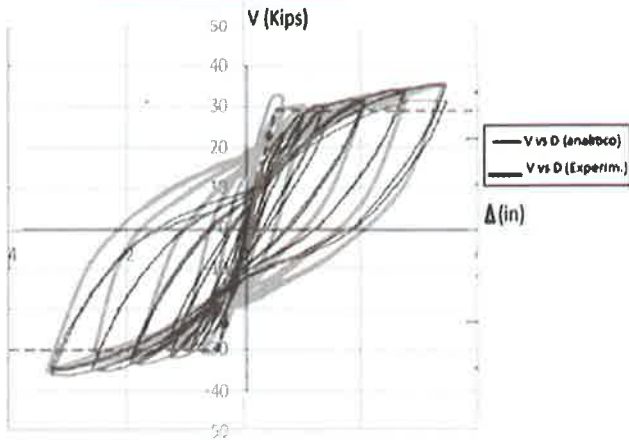


Figura 14: Fuerza vs Desplazamiento calculada y experimentales modelo RW2.

3.3 INFLUENCIA DE LA LONGITUD DE ROTULA EN LA CAPACIDAD DE DESPLAZAMIENTO DEL MURO.

Se evalúa el mismo procedimiento para diferentes valores de longitud de rotula, propuesto por varios autores, de la siguiente manera:

$$L_p \text{ (Park)} = 0.44 L_w$$

$$L_p \text{ (Mattock)} = 0.65 L_w$$

$$L_p \text{ (Pristley)} = 0.31 L_w$$

Se busca reconocer una sensibilidad entre gráficas histeréticas F vs D con valores de L_p distintos.

GRAFICO COMPARATIVO

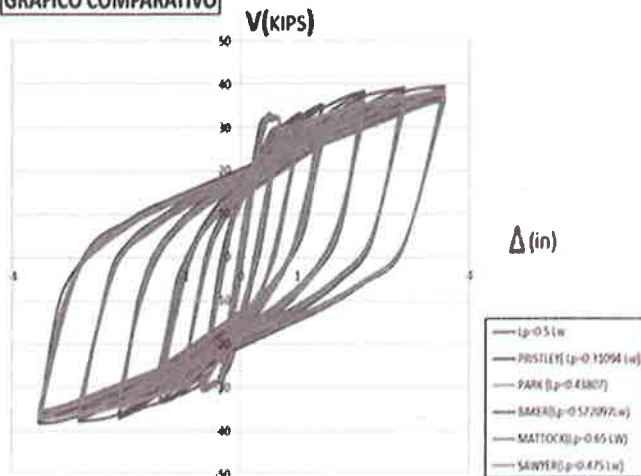


Figura 15. Gráfica comparativa de la influencia del valor de L_p frente a la capacidad de desplazamiento del muro.

Se puede interpretar que existe una poca sensibilidad entre gráficas histeréticas; sin embargo, cuando observamos el perfil de deformaciones de la sección del muro se pone en evidencia que existe una sensibilidad y al ser comparadas con los resultados experimentales se obtiene la gráfica siguiente:

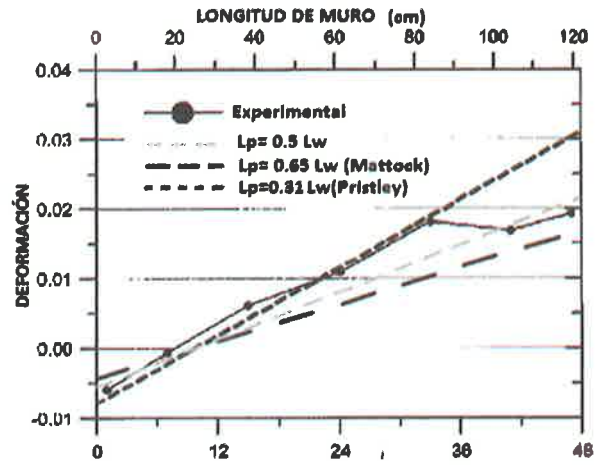


Figura 16. Gráfica comparativa de la influencia del valor de L_p frente en el perfil de deformaciones de la sección del muro.

Esta gráfica nos lleva a proponer un valor mas optimo para la longitud de rotula plástica en muros esbeltos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se reveló que la capacidad de desplazamiento del muro de concreto armado es poco sensible a la longitud de la rótula plástica; sin embargo, de todos los valores de L_p tomados, el que más se ajusta a los resultados experimentales de Thomsen y Wallace (2004) es el propuesto por Pristley ($L_p=0.31L_p$) como puede apreciarse en la figura N 16.
- Los resultados obtenidos con los modelos numéricos con elementos inelásticos del tipo Links muestran resultados aceptables.
- Los elementos Gap son muy útiles para introducir el comportamiento en tracción del concreto bajo acciones de tipo cíclicas.

Referencias

- ASCE, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, ASCE/SEI , 7-10, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.(2010).
- ATC, Modeling and Acceptance Criteria for Seismic Design and Analysis of Tall Buildings, PEER/ATC-72-1 report, prepared by the Applied Technology Council for the Pacific Earthquake Engineering Research Center, Redwood City, California.(2010)
- Bae, S., y Bayrak, O., "Plastic hinge length of reinforced concrete columns," Structural Journal, ASCE Vol. 105, No. 3, pp. 290-300.(2008)
- Cerda, M.J., 2011, "Análisis de Daños provocados por el Terremoto del 27 de febrero del 2010 de Maúle-Chile.(2010)
- Chopra, A. K. "Dynamics of Structures". Prentice Hall, N.J. (2001).
- CSI, Computers and Structures Inc, "Manual SAP2000: Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structure Nonlinear". Berkeley, California. (2003).

- Mander, J.B., M.J.N. Priestley, and R. Park. Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete". Journal of Structural Engineering. ASCE. 114(3). 1804-1826.(1984)
- Paulay, T.; R. Park "Estructuras de concreto Reforzado". Christchurch, Nueva Zelanda (1988).
- Yankelevsky DZ, Reinhardt HW. Model for cyclic compressive behaviour of concrete. J Struct Engng ASCE; 113(2):228-40 (1987).

Lima – Setiembre del 2019

FRACTALES

Jose Antonio Peñaherrera Cordova ¹

¿Pero qué haremos tras el gran día,
cuando la humanidad sobrepase la historia,
cuando se haya domesticado a la energía
y misterios universales sean canciones de cuna?

¿Alguna fauna ya habrá descubierto el fuego
cuando la guerra sea instrumento primitivo?
Me pregunto si el telón se habrá corrido
y aparecimos aplaudiendo a los milenios.

¿Nos reconoceremos en otros
bajo el principio del espejo en sueños lucidos?
Cuando los niños sepan el patrón de los primos
seguro aún conservan ese corazón puro.

Si acaso...lo que nos hace más humanos
es lo que nos hace sentir más vivos,
el equilibrio entre el instinto y el destino
habrá marcado ya el cambiante futuro...

Se ve en la evolución de las naciones,
en las coreografías de los astros,
en las ecuaciones de Navier Stokes,
en los disparos de Roberto Carlos...

¡El universo se expande!
Desde el ADN emerge a las 5 am.
Por amor rompen los límites,
ebrios de lucidez: inquebrantables.

...Por una luz, un pan, un afecto,
uno se aferra al camino.
En la distribución de los ríos
se dibujan las arrugas de una madre.

El asombro es un azar;
la libertad, *un fin y un medio*.
Y ahora que lo pienso...
esa es la respuesta a la pregunta del comienzo.

Misayoc.



¹ Alumno Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.
E-mail: jpenaherrerac@uni.pe

RECUERDOS

Antony Mario Yanac Espinoza¹

Hoy me desperté y tenía una extraña sensación,
me sentía inquieto, traté de meditar, pero por una extraña razón no podía.

Salí a correr, bajo una lluvia que se rehusaba a irse,
como el último suspiro que da una persona al saber su triste destino.

Trataba de despejar mi mente y dejar que el sudor y el cansancio hicieran efecto sobre el
cuerpo mortal que me fue dado y del cual aún no me acostumbraba.

Fue entonces, que mientras pasaba por un jardín de rosas, pude descifrar el origen de mi
inquietud. Al ver las rosas pude recordar a la mujer más hermosa que estos ojos miopes han
tenido el privilegio de observar.

Sentado en las escaleras con los codos sobre las rodillas, veía como el sudor formaba un
charco en el suelo, mientras que los recuerdos se hacían presentes cada vez con más
intensidad, recuerdos que serán imborrables y se irán conmigo hasta la tumba.

Pues podré olvidar el color de tus ojos, el aroma de tu piel, incluso podré olvidar lo que te
decía o escribía. Pero hay algo que jamás podré olvidar y quedará guardado en lo más
profundo de mi corazón.

Jamás podre olvidar como me hiciste sentir, aquella primera vez, en que no fue
necesario ni pedírtelo, pero nuestras miradas sabían cómo terminaríamos aquella tarde.

Como olvidar cuando tu cuerpo temblaba como una hoja ante una tempestad y que solo el
calor que tu misma provocaste en mí, pudo abrigarte y hacerte entregar por completo.

Ambos sabíamos que al encontrarnos nos fundiríamos en uno solo, que después de ese primer beso que nos dimos, sería inevitable que sucediera, que las palabras y la ropa estarían demás, y que como única música de fondo tendríamos el sonido de la lluvia golpeando mi ventana.

Y mírame ahora, recostado a tu lado, acariciando tu pelo, recuerdo cuando me llevaste a la gloria al ser debutante y primer conquistador en aquellas tierras fértiles que no conocían el andar de ningún mortal.


Aquellas tierras que emanaban un olor que me hacían sentir como en un campo lleno de rosas. Rosas por la suavidad de tu piel, pero con un aroma que solo yo he podido disfrutar, aroma que solo encuentro en ti.

Aquellas tierras que liberan el más jugoso y exquisito néctar, que al ser saboreados te hacen sentir en el olimpo, pues solo los dioses tenemos el derecho de probar una maravilla como esa, pues solo nosotros somos capaces de liberarlo. Solo nosotros somos capaces de hacer encorvar el cuerpo de una mujer bajo nuestros brazos, solo nosotros podemos poner los faroles de una mujer en blanco y ahogar su gemido con un beso.

Pensaba en dejarte seguir durmiendo, pero estos recuerdos acaban de despertar lo que día tras día uso con tanto esmero y mis labios están sedientos de ti, pues después de todo este tiempo, aquello que ves con tanta admiración, no se ha cansado de probarte y aun exige tu sabor.

Barret



¹ Alumno Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.
E-mail: ayanace@uni.pe
 [iific.edu.pe](https://www.facebook.com/iific.edu.pe)

CREPÚSCULO AMAZÓNICO

Michael Sánchez¹

Llega la tarde... y otra vez como ayer, busco refugio

Después de una jornada larga y sin descanso.

En esta jaula de barro, que me sirve de habitación,

Varada en el monte a la ribera del río.

.....

Desde el alfeizar de la vieja ventana, contemplo en silencio

El crepúsculo del verano amazónico,

El cielo adornado con nubes nacaradas

Reflejos irisados de luz naranja ardiente.

Y el aroma de la selva acercándose...

A lo lejos, la sombra de la noche cubre la Bella Durmiente,

Las luciérnagas, relampaguean salpicando el paisaje.

Los recuerdos llegan en tropel a mi mente...

Sólo interrumpidos vagamente por un concierto de grillos,

De ranas y pájaros mal agüeros.

Continúa la noche y unas aves se acomodan para dormir.

Con ojos cansinos, dominado ya... caigo en los brazos de Morfeo

Empiezo a soñar, y entonces... te añoro entre sombras,

Que se repiten incesantes, como las olas del río.

Evocando la primavera de mi vida.

Te veo radiante y seductora: Flor de mis ensueños,

Paseando garbosa a orillas del Huallaga...

Dríade de turgencias dulces, talle de chonta y gracia de palmera.

Solamente tu aroma puede hacerme olvidar

El olor del campo solariego.

.....

Pasa la noche y penetran los primeros rayos del sol,

El canto de las aves me despierta...

Para volver a una nueva jornada en el campo.

Y entre la neblina caprichosa del bosque,

Acariciados por los tibios rayos del sol.

Veo que tu imagen se dibuja en el paisaje

Y siento que de luz se llena mi soledad.

Ino Moxo



¹ Alumno Facultad de Ingeniería Civil
Universidad Nacional de Ingeniería. Lima- Perú.
E-mail: sm.karlsanz@gmail.com

 iific.edu.pe



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE INGENIERÍA
Facultad de Ingeniería Civil**



Engineering
Technology
Accreditation
Commission