

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Estimación de la rigidez efectiva en estructuras de concreto  
armado mediante ensayos de identificación modal y  
esclerometria**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Civil

**Autor:**

Elvis Jhordy Mamani Uscamayta

**Asesor:**

Mg. Herson Duberly Pari Cusi

**Juliaca, noviembre de 2023**

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Mg. Herson Duberly Pari Cusi, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“ESTIMACIÓN DE LA RIGIDEZ EFECTIVA EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO MEDIANTE ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN MODAL Y ESCLEROMETRIA”** de autor **Elvis Jhordy Mamani Uscamayta**, tiene un índice de similitud de 14% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Juliaca, a los 10 días del mes de diciembre del año 2023.



---

Mg. Herson Duberly Pari Cusi  
Asesor

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiari, a 13 día(s) del mes de noviembre del año 2023, siendo las 18:00 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Juliaca, bajo la dirección del

(de la) presidente(a): Ing. Rosa Luzmezi Yampara Ficona, el (la) secretario(a): Ing. Henry Antonio Aguilar Chuguinima y los demás miembros: Ing. Jorge Llanos Ficona y el (la) asesor(a) Ing. Nelson Duberly

Rosa Luzmezi con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: Estimación de la rigidez efectiva en estructuras de concreto armado mediante ensayos de identificación modal y esclerometría del(los) bachiller/es: a) Elvis Thordy Mamani Uscamayta

b) \_\_\_\_\_  
c) \_\_\_\_\_

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Civil  
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Elvis Thordy Mamani Uscamayta

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Buena</u>	<u>Muy Bueno</u>

Bachiller (b): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

Bachiller (c): \_\_\_\_\_

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Rosa Luzmezi  
Presidente/a

Henry Antonio Aguilar Chuguinima  
Asesor/a

Elvis Thordy Mamani Uscamayta  
Bachiller (a)

[Signature]  
Miembro

[Signature]  
Miembro

[Signature]  
Bachiller (b)

[Signature]  
Bachiller (c)

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a los laboratorios especializados por su apoyo en la realización de los ensayos necesarios, a los docentes de la UPeU por su asesoramiento durante la ejecución del presente proyecto, a mis padres por su apoyo incondicional durante este largo periodo.

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres y docentes de la Universidad Peruana Unión que con vuestro apoyo y recomendación me apoyaron durante el largo recorrido de la vida universitaria.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	iv
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
1. INTRODUCCIÓN .....	8
2. METODOLOGÍA .....	11
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	18
4. CONCLUSIONES .....	22
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	22

# Estimación de la rigidez efectiva en estructuras de concreto armado mediante ensayos de identificación modal y esclerometría

## RESUMEN

Actualmente es conocido que los elementos estructurales de una edificación pueden agrietarse por fallas estructurales bajo cargas de servicio, por sismos frecuentes de baja intensidad o durante los primeros instantes de un sismo severo, lo cual podría resultar en secciones agrietadas cuando se tenga la acción del sismo de máxima intensidad, para tales consideraciones, la norma peruana de análisis sísmico no contempla secciones agrietadas para el análisis sísmico. El presente estudio tuvo como finalidad estimar los factores de rigidez efectiva de 4 edificaciones de concreto armado. La investigación tiene un enfoque cuantitativo de diseño no experimental, la muestra está constituida por 4 edificaciones de concreto armado de la ciudad de Juliaca, a las que se realizaron ensayos de esclerometría e identificación modal con sensores X16 – 1D para obtener las resistencias a la compresión y periodos naturales de vibración de campo respectivamente. Se obtuvieron los modelos numéricos con sus resistencias de concreto reales considerando la tabiquería existente a los cuales se aplicaron factores de reducción de rigidez mediante códigos internacionales e iteraciones para aproximar sus periodos naturales a los periodos naturales obtenidos por identificación modal. Los resultados demuestran que existe una diferencia de periodos naturales de vibración entre el modelo numérico con resistencias reales considerando los efectos de la tabiquería y los obtenidos con ensayos de identificación modal en un rango del 5% al 30%, lo cual demuestra que el periodo fundamental de vibración de campo es mayor al proyectado.

**Palabras Clave:** rigidez, esclerometría, acelerometría, concreto, factores.

# Estimation of effective rigidity in reinforced concrete structures through modal identification tests and sclerometry

## **ABSTRACT**

It is currently known that the structural elements of a building can crack due to structural failures under service loads, due to frequent low-intensity earthquakes or during the first moments of a severe earthquake, which could result in cracked sections when the action of the earthquake occurs. of maximum intensity, for such considerations, the Peruvian norm of seismic analysis does not contemplate cracked sections for seismic analysis. The purpose of this study was to estimate the effective stiffness factors of 4 reinforced concrete buildings. The research has a quantitative approach of non-experimental design, the sample is made up of 4 reinforced concrete buildings in the city of Juliaca, to which sclerometry and modal identification tests were carried out with X16 - 1D sensors to obtain compressive strength. and natural periods of field vibration respectively. Numerical models were obtained with their real concrete resistance considering the existing partitions, to which stiffness reduction factors will be applied using international codes and iterations to approximate their natural periods to the natural periods obtained by modal identification. The results show that there is a difference in natural periods of vibration between the numerical model with real resistances considering the effects of the partitioning and those obtained with modal identification tests in a range of 5% to 30%, which shows that the fundamental period field vibration is greater than projected.

**Keywords:** *stiffness, sclerometry, accelerometry, concrete, factors.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Se considera al Perú un país de alta sismicidad, es por ello que su geodinámica permite la ocurrencia de eventos sísmicos en diferentes magnitudes y distancias de profundidad [1][2]. Además, las regiones del sur de Perú y el norte de Chile han experimentado una serie de terremotos y tsunamis debido a la subducción que se existe entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana [3][4].

El último sismo registrado en la ciudad de Juliaca, según el Instituto Geofísico del Perú, fue de magnitud 4.7, ubicado a 12 km al oeste de la ciudad de Juliaca y con una profundidad de 240 km según el reporte sísmico IGP/CENSIS/RS 2023-0156 [5].

Por otro lado, la autoconstrucción de viviendas es muy común en las ciudades del Perú, particularmente en la ciudad de Juliaca, esto hace que las edificaciones no sean construidas de acuerdo a la norma técnica y las vuelve altamente vulnerables ante sismos [6]. Dichos eventos sísmicos pueden agrietar la estructura volviéndolas menos resistentes para posteriores eventos sísmicos.

Actualmente, la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), afirma que deben considerarse las propiedades de las secciones brutas de los elementos estructurales, sin considerar las fisuras y refuerzos para elementos estructurales de concreto armado y albañilería [7].

Sin embargo, diferentes autores confirman la importancia de considerar en el análisis sísmico la rigidez efectiva de columnas, vigas y placas de concreto armado. De esta forma, la estimación aproximada de la rigidez del miembro influye en las deformaciones de los elementos estructurales y la distribución de las fuerzas en todo el sistema estructural [8]. La consideración de la rigidez efectiva inicialmente fue propuesta por Paulay y Priestley al proponer valores promedios para el momento de inercia efectivo de los elementos de concreto armado para la rigidez a flexión en vigas, mientras que para columnas se basaron en el nivel de carga axial que se presenta en las columnas [9]. Así como otros autores determinaron la importancia de considerar la excentricidad axial en las columnas, el desarrollo de esfuerzos en las barras de acero debido a deformaciones por esfuerzos de flexión y cortante [8], [9], [10], [11], [12].

Otras investigaciones afirman que para la evaluación del comportamiento sísmico de los edificios de concreto armado que son sometidos a análisis dinámicos no lineales, se torna importante la rigidez efectiva real de las secciones de viga y columna [13][14].

Muchos códigos no precisan la consideración de la rigidez efectiva de los elementos de concreto armado para el análisis sísmico, sin embargo, esto puede ser contraproducente puesto que las secciones pueden agrietarse incluso sólo bajo cargas de servicio o gravedad[15]. Ensayos experimentales han demostrado también que la primera fluencia del acero longitudinal está asociados a la rigidez efectiva en más del 50%, es por ello que la consideración de las relaciones constitutivas reales de los materiales que componen los elementos estructurales es de suma importancia para determinar la rigidez real con que trabajan, es decir, que ocurre un nivel de agrietamiento anterior al sismo de diseño [16] [17].

Existen normas e investigaciones internacionales respecto a la aplicación de los factores de rigidez efectiva en los elementos estructurales de las edificaciones de concreto armado. En teoría, distintos autores y normas internacionales concluyen en el uso de factores para reducir la rigidez no agrietada  $E_g$ , teniendo como resultado la rigidez con sección agrietada  $E_e$  [18].

Las propuestas de los factores de reducción de rigidez efectiva que se proponen están consideradas en algunas normas de análisis sísmico-internacionales y algunas propuestas de investigadores:

- Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI-318-19) USA[19], Instituto Americano del Concreto (ACI).
  - Reglamento de Nueva Zelanda. Se conocerá como NZS 3101-06(Nueva Zelanda)[20], haciendo referencia al país al que pertenece el reglamento.
  - Factores de Reducción Paulay y Priestley (1992) [9], Se conocerá como Paulay & Priestley (1992)
  - E.030 Norma de Diseño Sismorresistente de Perú E.030)[7], Se conocerá como E.030(Perú)
- Sin embargo, para esta investigación serán aplicados la norma del ACI 318 – 19[19], la NZS 3101 – 06 [20] y las investigaciones de Paulay and Priestley [9].

## **1.1 RIGIDEZ EFECTIVA DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO**

Serán detallados los diferentes criterios existentes para tomar en cuenta la rigidez efectiva, a través de factores aplicados a las secciones brutas:

### **1.1.1 PERU: E.030 NORMA DE DISEÑO SISMORRESISTENTE Y E.060 CONCRETO ARMADO**

La norma de diseño sismorresistente de Perú E.030 en su numeral 25.2 especifica lo siguiente: “Para propósitos de esta Norma, las estructuras de concreto armado y albañilería pueden ser analizadas considerando las inercias de las secciones brutas, ignorando la fisuración y el esfuerzo”[7].

“Por otro lado, la norma de concreto armado E.060 solicita que se tomen en cuenta factores de reducción de rigidez para la determinación de los efectos de esbeltez en columnas y muros” [21]. “Este proceso forma parte del diseño de concreto armado por lo que emplear los factores en esta etapa no tiene implicancias en el análisis sísmico como derivas, periodos y distribución de fuerzas. Los factores presentados son idénticos a los mostrados por la norma americana ACI-318-14” [22].

### 1.1.2 FACTORES DE REDUCCIÓN DEL ACI 318 – 19

El código ACI 318 – 19 considera desde el 1999 hasta su última versión la disminución de la rigidez debido a las deformaciones que pueden producirse con las cargas últimas.

### 1.1.3 FACTORES DE REDUCCIÓN DEL NZS 3101 – 06

El código de Nueva Zelanda NZS 3101 – 06 Parte I [23] describe que es necesario tomar en cuenta los niveles de agrietamiento en el análisis lineal elástico para obtener predicciones reales de las acciones internas, periodos de vibración y las deflexiones laterales[24] , mientras que en la Parte II se describe que la rigidez agrietada de los elementos estructurales por:

- Cantidad y distribución del refuerzo
- Resistencia a la tensión del concreto
- Condiciones iniciales de los miembros antes de la aplicación de cargas.

### 1.1.4. FACTORES DE REDUCCIÓN DE PAULAY Y PRIESTLEY (1992)

Por otro lado, Paulay y Priestley propusieron los siguientes factores de reducción de rigidez en el año 1992 para elementos estructurales tipo vigas rectangulares de formas T y L y en columnas dependiendo de la carga axial ya sea de tensión o de compresión [25].

**TABLA I**

*Resumen de factores de reducción de rigidez de elementos estructurales de concreto armado del ACI 318 – 19, NZS 3101 – 06 y Paulay & Priestley 1992).*

ELEMENTO	TIPO	ACI 318 - 19 (USA)	NZS 3101 - 06 (Nueva Zelanda)	Paulay & Priestley (1992)	E.030 (Perú) (Diseño concreto armado)
VIGAS	RECTANGULARES	0.35lg	0.32lg	0.40lg	0.35lg
	T y L		0.30lg		
COLUMNAS	$P_u/(f'_c * A_g) \geq 0.5$	0.70lg	0.80lg	0.80lg	0.70lg
	$P_u/(f'_c * A_g) \leq 0.3$				
	$P_u/(f'_c * A_g) = 0.2$		0.50lg	0.60lg	
	$P_u/(f'_c * A_g) \leq 0.1$				
	$P_u/(f'_c * A_g) = 0$		0.30lg	0.40lg	
MUROS	NO AGRIETADOS	0.70lg	(1)		0.70lg

	AGRIETADOS	0.35lg	0.35lg
<b>LOSAS</b>	PLACAS PLANAS Y LOSAS PLANAS	0.25lg	0.25lg

(1): Estos valores van de acuerdo al nivel de carga axial de los muros de concreto armado, los cuales pueden revisarse en la tabla C6.5 del NZS 3010 – 06 [23].

*Nota. Adoptado de [9], [23], [26]*

Existen en la actualidad distintos valores para factores de reducción de rigidez efectiva, como fue descrito anteriormente, con diferentes planteamientos teóricos y prácticos, sin embargo, de acuerdo con ACI 318 – 19 [27], para el análisis frente a cargas laterales, pueden utilizarse dichas factores de rigidez, puesto que aproximan la rigidez del concreto en sistemas de construcción bajo cargas de gravedad cerca o más allá de su nivel de rendimiento, dichos factores serán usados para el cálculo de las deflexiones reales, además de que dichos resultados fueron comprobados mediante estudios experimentales y analíticos detallados, los mismos que se asemejan a los análisis no lineales estáticos y dinámicos [16], [24], [28], [29]. Otra norma como el ASCE 7-22 [30], declara que deberá usarse las secciones agrietadas tanto de elementos de concreto armado y mampostería para la determinación de las fuerzas de los miembros y desplazamientos de la estructura. Mientras que AASHTO [31], indica que debe considerarse los efectos no lineales que disminuyen la rigidez, tales como la deformación inelástica y el agrietamiento. Por otro lado [32], concluye que los factores de reducción de rigidez de la norma de Nueva Zelanda es la menos acertada en comparación con las normas del ACI 318 – 19 y la norma RCDF – NTC [33], en un estudio comparativo con análisis no lineales estáticos.

## 2. METODOLOGIA

### 2.1 RIGIDEZ EFECTIVA DE LOS ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO

La rigidez efectiva es usada en los análisis dinámicos no lineales de estructuras de concreto armado, con fines de considerar el efecto de la rigidez con sección fisurada, por otro lado, algunos códigos de diseño consideran la rigidez efectiva como una fracción empírica de la rigidez bruta [14].

La rigidez efectiva se torna importante puesto que su influencia en la respuesta estructural es significativa, de acuerdo con Yuan et al [34], las características de rigidez afectarán la distribución de la fuerza interna de la estructura, la relación de periodo, la relación de desplazamiento, el esfuerzo cortante, la relación de peso y la relación rigidez – peso, los cuales tienen un impacto importante en las medidas de resistencia estructural como la capacidad de deformación, capacidad de disipación de energía y el comportamiento sísmico. Respecto a la rigidez efectiva distintos autores proponen diferentes expresiones, la cual puede basarse en la siguiente expresión [17]:

$$K = \frac{4\pi^2}{T^2} M \quad (1)$$

Por otro lado, la rigidez a flexión de la sección de cualquier elemento estructural puede evaluarse a partir de su relación momento – curvatura, según [12]:

$$EI = \frac{M_N}{\phi_y} \quad (2)$$

Considerando además de que, de acuerdo con la teoría fundamental de la resistencia de materiales [35]:

$$K = EI \quad (3)$$

De la expresión anterior se deduce que la rigidez a flexión de los elementos estructurales está afectada directamente por su módulo de elasticidad y por su momento de inercia.

### 2.1.1. Módulo de Elasticidad

La propiedad físico-mecánica más importante de dicho material compuesto es el módulo de elasticidad. Dicha propiedad mide el cociente del esfuerzo con la deformación en el rango lineal, dicho parámetro mide también la rigidez, el código ACI 318 – 19 lo define en función de la resistencia a la compresión del concreto como [26]:

$$E_c = 0.14w^{1.5}\sqrt{f'_c} \quad (4)$$

De la expresión anterior se deduce que el módulo de elasticidad está en función de la resistencia a la compresión cilíndrica.

### 2.1.2. Momento de Inercia efectivo

Diferente autores y normativas proponen factores de reducción de rigidez, las mismas que solucionan el problema desde el punto de vista geométrico de la sección del elemento, ya que las mismas proponen un factor que modifica el momento de inercia de la sección dejando sin modificar la otra variable que compone la rigidez a flexión, el módulo de elasticidad [32].

Así también, de acuerdo con [16], [36], y modificando la expresión (1), puede obtenerse la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{K}} \quad (5)$$

De la expresión anterior y convirtiendo el sistema global a sistemas de un 1 GDL, se puede deducir que la rigidez del sistema está en función de su periodo fundamental de vibración.

## 2.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE CALIBRACIÓN ESTRUCTURAL PARA EDIFICIOS EXISTENTES

De acuerdo con [37], los ensayos de esclerometría e identificación modal pueden ser usados para realizar calibraciones estructurales de edificios existentes, cuyos resultados pueden ser tomados en la presente investigación.

### 2.2.1. Ensayos de identificación modal

Los ensayos de identificación modal se basan en identificar los modos de vibración de las estructuras, actualmente se usan en el monitoreo de la salud estructural basado en vibraciones, las mismas que son importantes para identificar y prevenir daños que puedan ser causados por eventos sísmicos, especialmente en estructuras esenciales como fábricas, aeropuertos, hospitales, plantas de generación de energía, de almacenamiento de agua, entre otros [38], [39], [40], [41].

Estas vibraciones pueden expresarse como el periodo natural de vibración que es el tiempo requerido para completar un ciclo de vibración libre de una estructura, es una propiedad única de las estructuras que es dependiente de su masa y rigidez [36].

#### 2.2.1.1. Transformadas de Fourier

De acuerdo con [37], [42], las series de Fourier permiten determinar el espectro de frecuencia de mediciones de frecuencias y sus amplitudes, producto de señales. También comenta que dicho proceso que cuantifica las diversas intensidades de cada frecuencia es conocido como análisis espectral, las mismas que se representan de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$S_N(t) = \frac{1}{2}a_0 + \sum_{n=1}^N \left( a_n \cos \frac{2\pi n t}{T} + b_n \operatorname{sen} \frac{2\pi n t}{T} \right) \quad (6)$$

La ecuación anterior está representada en su forma real, mientras que en su forma compleja:

$$s_{(N)}(t) = \sum_{n=-N}^N c_n e^{\frac{j2\pi n}{T}t} \quad (7)$$

Así, para la expresión de funciones no periódicas se usan las transformadas de Fourier, considerando  $x(t)$  una señal integrable y  $F(f)$  sería su transformada de Fourier:

$$\begin{aligned} x(t) &= \int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{j2\pi f t} df \\ F(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} x(s) e^{-j2\pi f s} ds \end{aligned} \quad (8)$$

Expresando la serie de Fourier de una señal  $x(t)$  con periodo  $T$ :

$$x(f) = \int_{-\infty}^T x(t) e^{i2\pi f t} dt \quad (9)$$

Aplicando la identidad de Euler a la transformada de Fourier:

$$x(t) = \int_0^T x(t) \cos(2\pi f t) dt + i \int_0^T x(t) \operatorname{sen}(2\pi f t) dt \quad (10)$$

para sistemas estructurales se usa la transformada discreta de Fourier (DFT), mediante un convertidor analógico y viene expresada por la siguiente relación:

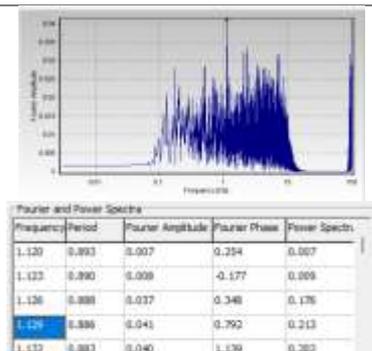
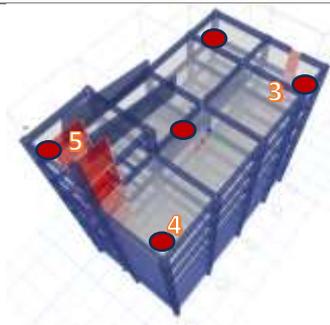
$$F_k = \sum_{i=0}^{n-1} x_i e^{-\frac{j2\pi i k}{n} \Delta t} \quad (12)$$

$$x_i = \sum_{k=0}^{n-1} F_k e^{\frac{j2\pi i k}{n} \Delta f} \quad (13)$$

### 2.3. MODELO NUMERICO DE ESTRUCTURA DE EDIFICIOS

Según [43], [44], [45], “menciona que la modelización numérica de edificios históricos representa, actualmente, una herramienta prácticamente imprescindible para entender su comportamiento estructural, más si de lo que se trata es de asumir un estudio para su conservación y/o rehabilitación. Actualmente, la mayoría de los programas informáticos de simulación numérica de edificios arquitectónicos se dividen en tres partes: El Preproceso, el cual prepara toda la información necesaria (geometría, condiciones de borde, cargas, etc.); el análisis, donde se desarrollan todos los cálculos y el Postproceso donde se analizan y toman decisiones en base a los resultados obtenidos en los pasos anteriores”. En las siguientes figuras pueden visualizarse los edificios de concreto armado que fueron estudiados, los mismos que corresponde a los edificios de SICMA, PACHAINTI, ROBINSON y SANTA BARBARA, los sensores fueron ubicados en el centro de masa de la azotea del último nivel o diafragma rígido de cada edificio tal y como pueden observarse en la figura 1, de acuerdo con las recomendaciones de [37]. La obtención del periodo natural de vibración fue obtenida con el programa informático de ingeniería sísmica SEISMOSIGNAL a la cual se aplicaron la corrección de línea base de forma lineal, filtro de ruidos tipo Butterworth y configuración Bandpass, de acuerdo con [46], [47], [48], [49], [50], es que se determina el periodo en el espectro de Fourier de acuerdo a la frecuencia que tenga mayor amplitud.

SICMA



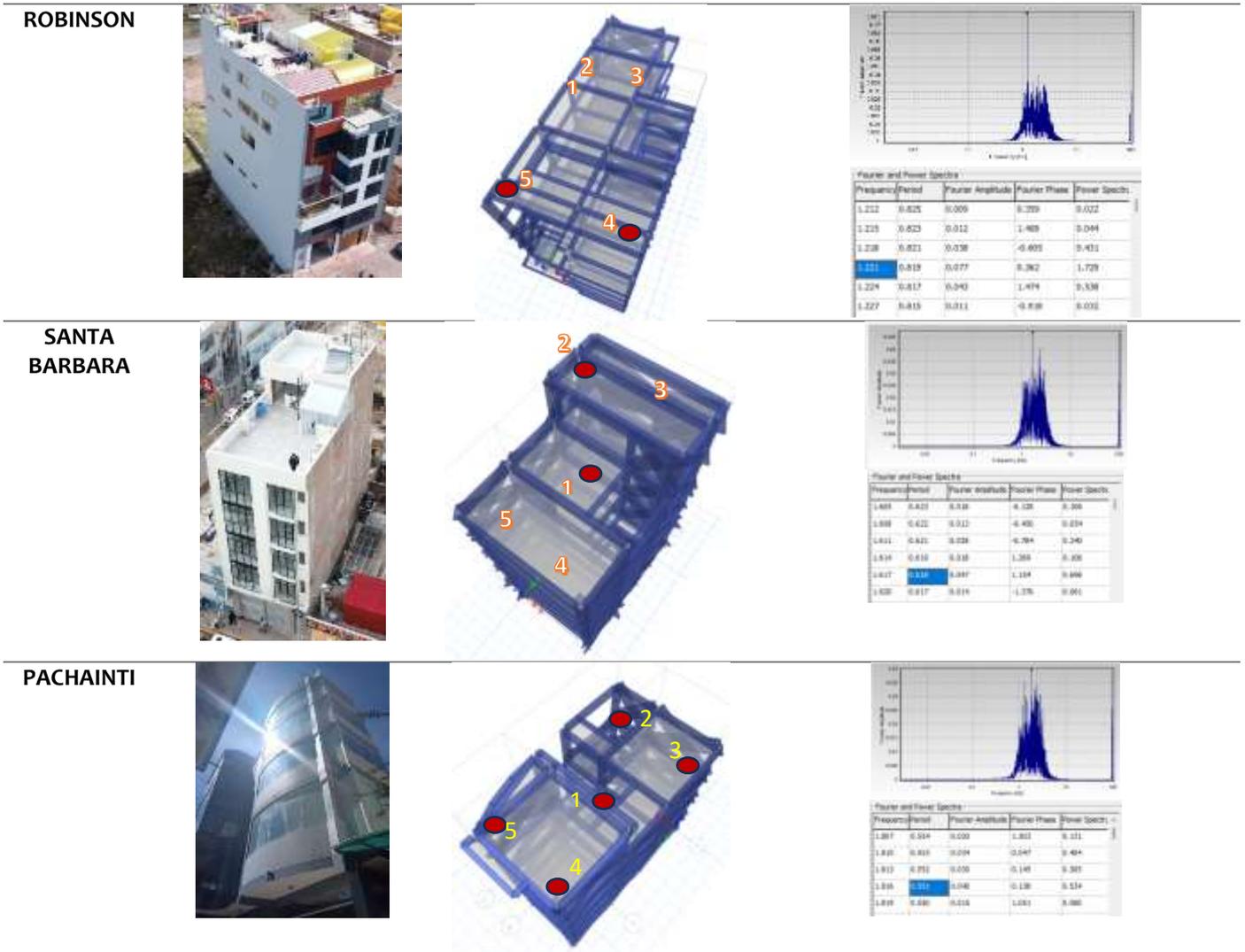


Fig. 1. Edificaciones estudiadas y su representación numérica.

#### 2.4. RECOLECCION Y PROCESAMIENTO DE DATOS

Para la recolección de la información fueron utilizados 2 tipos de ensayos de campo no destructivos:

*Ensayo de identificación modal:* ejecutados mediante el uso de sensores electrónicos, siendo usado el acelerómetro X16 – 1D perteneciente a la compañía estadounidense Gulf Coast Data Concepts, para la obtención de los modos de vibración de la edificación y la posterior obtención del periodo fundamental de vibración. Respecto al instrumento X16 – 1D, según el manual [51], es un registrador de datos tipo acelerómetro de grabación compacta automática y de bajo costo, el mismo que tiene un sensor digital en 3 ejes los cuales quedan guardados en tiempo real y se almacenan en un tarjeta microSD, presenta las siguientes características:

- Es un acelerómetro de 3 ejes  $\pm 16g$ .
- Resolución de 16 bits.

- Frecuencia de muestreo a seleccionar para 12, 25, 50, 100, 200, 400 Hz.
- Filtro de respuesta de impulso finito.
- Reloj en tiempo real.
- Grabación de datos en tarjeta microSD (8 GB)
- Registro de datos separados por comas.
- Transferencia de información compatible con Windows o Linux, no requiere software adicional.
- Batería alcalina “AA”.
- Peso de 55g.
- Tamaño de 26x26x104 mm.



Fig. 2. Acelerómetro X 16-1D

*Ensayo de esclerometría:* ejecutados mediante esclerómetro para la obtención de la resistencia a la compresión de concreto existente y su posterior obtención del módulo de elasticidad real del concreto.

Respecto al procesamiento de datos, estos fueron realizados de la siguiente manera, Ver Figura 3:

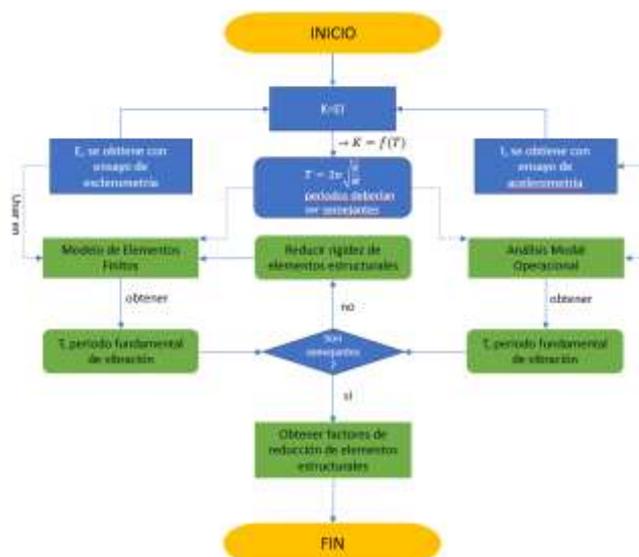


Fig. 3. Diagrama de flujo.

**Modelación numérica de edificio existente:** Se realizó el modelo numérico en software especializado de análisis y diseño estructural con los valores reales de la resistencia a la compresión del concreto y las condiciones de contorno correspondientes (medidas reales del sistema estructural, resistencias a la compresión reales de los elementos estructurales, efecto de la tabiquería existente en el sistema estructural y cargas de gravedad existentes)

**Obtención de Periodo Fundamental de Vibración Real:** el acelerómetro X16 – 1D, obtiene los diagramas de aceleración, velocidad y desplazamientos de las estructuras estudiadas, estos fueron colocados entre el centro de rigidez y centro de masas de la azotea de las estructuras estudiadas. Dicha información obtenida fue procesada con software de ingeniería sísmica SEISMO SIGNAL 2023, a fines de obtener las frecuencias y periodos naturales de vibración dominantes.

Los datos obtenidos, se presentan en las siguientes figuras:

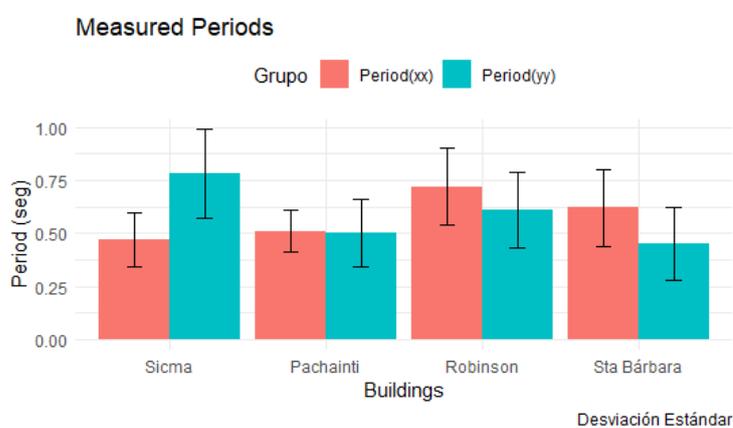


Fig. 4. Periodos Naturales de Vibración obtenidos.

Asimismo, se presenta el error estándar de los datos obtenidos:

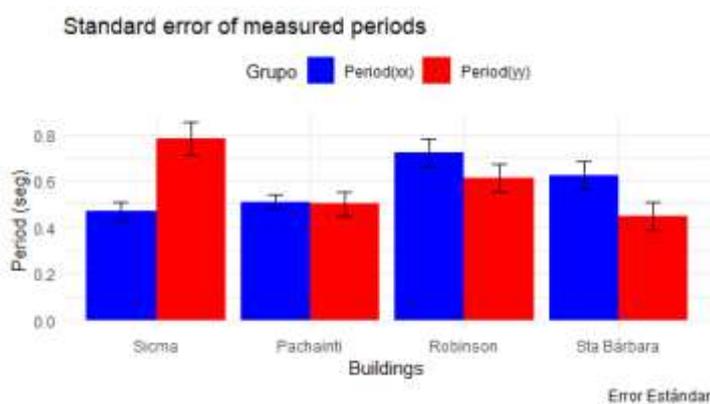


Fig. 5. Error estándar de Periodos Naturales de Vibración obtenidos.

**Uso de factores de reducción de rigidez:** Al modelo “real” se le fue aplicado los factores de reducción de rigidez propuestas por las normativas descritas, obteniéndose de esta manera periodos de vibración y desplazamientos.

**Iteración de factores de reducción:** a partir del acercamiento de la aplicación de dichos factores de reducción, se pudo hacer el proceso iterativo de factores de reducción hasta lograr encontrar los factores de reducción con los cuales pudo obtenerse el periodo natural de vibración y desplazamientos obtenidos con el ensayo de identificación modal.

### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Cómo puede observarse en la tabla anterior, fueron obtenidos los factores de reducción de rigidez partir de iteraciones, teniendo como referencias a los propuestos por las normativas internacionales. Fueron encontrados que existe diferencia de periodos naturales de vibración entre los modelos numéricos con resistencias nominales, los modelos numéricos con resistencias reales con consideración de la tabiquería y los obtenidos con los acelerómetros, los mismos pueden verse en la tabla IV. Además, se encuentra también que de acuerdo con [12], [14], [52], la influencia de la consideración de la rigidez agrietada en los elementos a compresión como las columnas no tendrán mayor incidencia en el acero de refuerzo de acero, lo cual es también asumido por el ACI 318 – 19.

**TABLA II**

*Variación de periodos fundamentales de vibraciones predominantes considerando diferentes factores de rigidez efectiva.*

VARIACION DE PERIODOS FUNDAMENTALES DE VIBRACION				
PERIODOS FUNDAMENTALES DE VIBRACION	SICMA	PACHAINTI	ROBINSON	SANTA BARBARA
SISTEMA	DUAL (yy)	APORTICADO (xx)	APORTICADO (xx)	APORTICADO (xx)
<b>E.030</b>	0.408	0.291	0.517	0.474
<b>Modelo numérico</b>	0.879	0.456	1.084	0.748
<b>Calibrado</b>	0.668	0.305	0.591	0.524

<b>Acelerómetros</b>				
<b>X16 1D</b>	0.843	0.510	0.720	0.620
<b>ACI 318 – 19</b>	0.659	0.340	0.653	0.593
<b>NZS 3101 - 06</b>	0.653	0.361	0.666	0.615
<b>P&amp;P</b>		0.345	0.651	0.598

Nota. Elaboración propia.

A continuación, se presenta también los valores con sus respectivos valores medios:



Fig. 6. Valores de T(s) para diferentes metodologías de análisis sísmico en edificio SICMA.

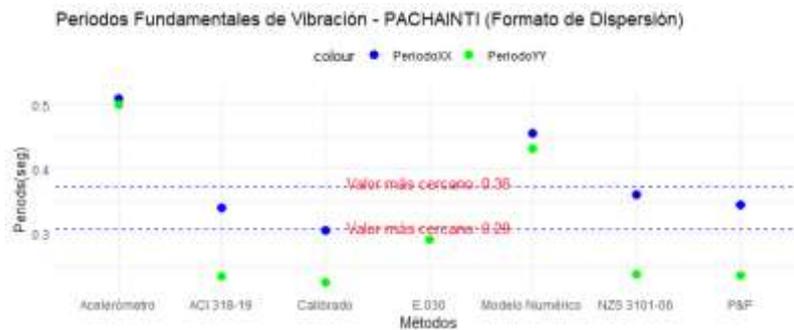


Fig. 7. Valores de T(s) para diferentes metodologías de análisis sísmico en edificio PACHAINTI.

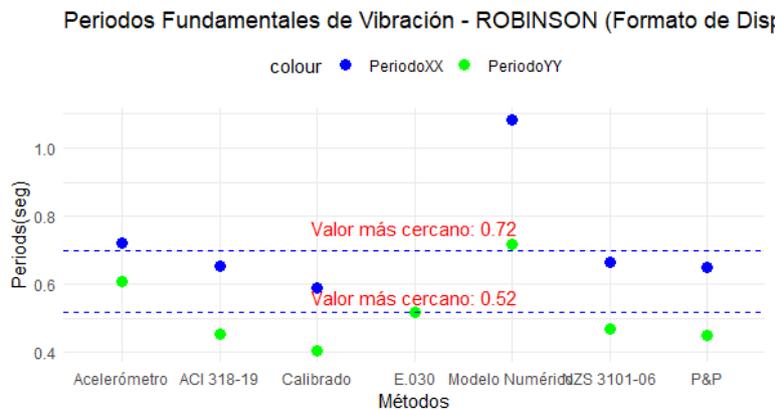


Fig. 8. Valores de T(s) para diferentes metodologías de análisis sísmico en edificio ROBINSON.

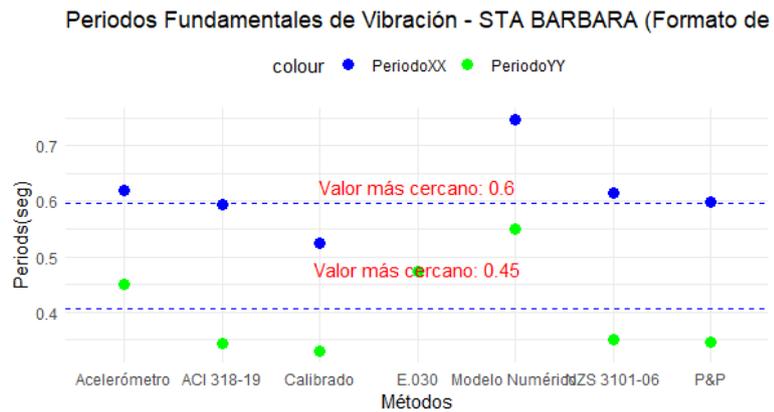


Fig. 9. Valores de T(s) para diferentes metodologías de análisis sísmico en edificio STA BARBARA.

- 3.2. Respecto al edificio de Sicma, puede observarse que los factores para las columnas están en función del nivel de carga axial, puesto que las columnas de los primeros niveles suelen ser más rígidos debido a que soportan mayores niveles de carga axial, mientras que las columnas de los últimos niveles soportan menor carga axial, razón por la cual se vuelven menos rígidas.
- 3.3. Respecto al edificio de Sicma, el factor de agrietamiento para los muros estructurales es de 0.85 lo cual indica que estos elementos no se encuentran muy agrietados.
- 3.4. El edificio de Pachainti de 5 niveles, tiene el mismo factor de 0.25 para todos los elementos resistentes esto debido a que posiblemente la edificación, por ser de baja altura, tiene un comportamiento más de albañilería estructural que de sistema aporticado.
- 3.5. Las edificaciones de Robinson y Santa Barbara, tienen factores de reducción de rigidez similares, esto debido a que ambas estructuras tienen un comportamiento netamente aporticado.
- 3.6. Los factores que fueron obtenidos a través de iteraciones, fue a partir de la variable de control periodo real obtenido a partir de ensayos de acelerometría.

**TABLA III**

*Factores de reducción de rigidez propuestos para estimación de periodo fundamental de vibración real.*

FACTORES PROPUESTOS PARA ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO				
ELEMENTO	SICMA	PACHAINTI	ROBINSON	SANTA BARBARA
SISTEMA	DUAL	APORTICADO	APORTICADO	APORTICADO
Vigas	0.32	0.20	0.25	0.35
Columnas	0.75	0.20	0.65	0.70
Muros	0.40			

3.7. Los periodos obtenidos mediante las iteraciones no son idénticas a los propuestos por las normas internacionales, lo cual puede significar que no necesariamente deban ser idénticos, debido a que los factores hallados fueron bajo cargas de servicios y tal vez con algún antecedente de sismo leve, por otro lado, las normas internacionales dan factores de reducción más severos para un sismo severo. En las siguientes figuras puede visualizarse que a medida que se castigan las secciones brutas de los elementos estructurales, se obtienen periodos naturales mayores, los datos fueron obtenidos de las iteraciones realizadas. También se verifica que los periodos naturales de vibración obtenidos por las normativas internacionales son cercanos a los obtenidos por los acelerómetros.

3.8. Por otro lado, puede observarse también que los periodos obtenidos con los sensores son mayores al de los modelos calibrados, esto influye en el diagrama de espectro de aceleraciones, puesto que a mayor periodo natural se tendrá menor aceleración espectral, lo cual podría redundar en una menor cortante basal y por consiguiente en menores esfuerzos internos, como está ilustrado en la figura 6. Lo anterior descrito concuerda con los antecedentes encontrados tales como lo describen [17], [24], [34], [52], [53], [54], [55]. Sin embargo, si se analiza desde el punto de vista de los desplazamientos, un mayor desplazamiento podría conllevar al diseño más conservador o a un detallado de acero más preciso de los elementos estructurales, tal como lo afirma [56].

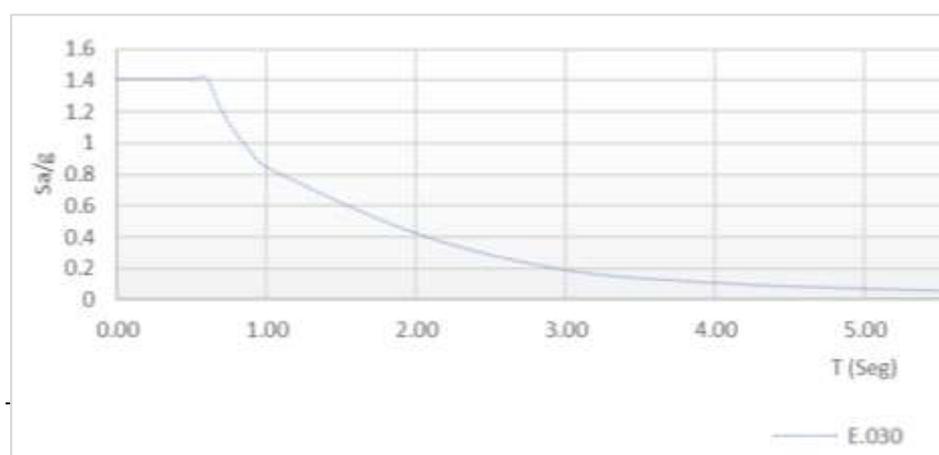


Fig. 10. Influencia de la variación de periodo en espectro de aceleraciones.

#### 4. CONCLUSIONES

- Fueron realizados ensayos de acelerometría con sensor de movimiento triaxial X16 – 1D para obtener el periodo natural de las estructuras estudiadas y ensayos de esclerometría para obtener el módulo de elasticidad de los elementos resistentes.
- Los resultados demuestran que con los modelos teóricos bajo la normativa peruana vigente se obtienen periodos naturales de vibración menores a los obtenidos por los medidos en campo, lo cual demuestra que existe una diferencia entre el periodo natural proyectado con el realmente construido.
- Los periodos naturales obtenidos con los ensayos de campo son mayores a los obtenidos por el modelo teórico. Lo cual demuestra que se tiene una estructura de mayor periodo natural.
- Al obtenerse mayores periodos, los resultados demuestran que pueden obtenerse mayores desplazamientos y menor cortante basal.
- Para estimar el periodo natural hallado con los sensores de movimiento, se usó los factores de reducción de rigidez en los elementos estructurales.
- Los factores de reducción de rigidez de los elementos estructurales demuestran que en condiciones de servicio las estructuras presentan una menor rigidez real.
- Los ensayos fueron realizados en condiciones de servicio, lo cual pone en duda el comportamiento real de una estructura bajo condiciones severas.

#### 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Instituto Geofísico del Perú, “Análisis de la Crisis Sísmica ocurrida en julio de 2020 en el distrito de Tarata (región Tacna),” Lima, 2020.
- [2] M. Alarcón, P. Soto, F. Hernández, and P. Guindos, “Structural health monitoring of South America’s first 6-Story experimental light-frame timber-building by using a low-cost RaspberryShake seismic instrumentation,” *Eng Struct*, vol. 275, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.engstruct.2022.115278.
- [3] R. Das *et al.*, “A probabilistic seismic hazard assessment of southern Peru and Northern Chile,” *Eng Geol*, vol. 271, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.enggeo.2020.105585.
- [4] F. Del Carpio Delgado, B. S. Vera Barrios, and M. A. Salas Chávez, *Vulnerabilidad sísmica y la aplicación de un modelo de Gestión de Procesos*, 1st ed., vol. 1. 2023.
- [5] Instituto Geofísico del Perú, “CENSIS - Instituto Geofísico del Perú.” Accessed: May 08, 2023. [Online]. Available: <https://www.igp.gob.pe/servicios/centro-sismologico-nacional/evento/2023-0156>

- [6] N. Tarque and E. Pancca-Calsin, "Building constructions characteristics and mechanical properties of confined masonry walls in San Miguel (Puno-Peru)," *Journal of Building Engineering*, vol. 45, Jan. 2022, doi: 10.1016/J.JOBE.2021.103540.
- [7] E.030, "Reglamento Nacional de Construcciones Norma Técnica de Edificación E.030 'Diseño sismorresistente,'" *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento - E.030*. Perú, 2018.
- [8] M. J. N. Priestley, "Myths and Fallacies in Earthquake Engineering, Revisited The Ninth Mallet Milne Lecture, 2003," *European School for Advanced Studies In Reduction of Seismic Risk*, May 2003.
- [9] T. Paulay and M. J. N. Priestley, *Seismic desing of reinforced concrete and masonry buildings*, 1ra ed. USA: Wiley Interscience, 1992.
- [10] K. J. Elwood and M. O. Eberhard, "Effective Stiffness of Reinforced Concrete Columns," *PEER Research Digest*, vol. 1, pp. 1–5, Mar. 2006.
- [11] M. Khuntia and S. K. Ghosh, "Flexural Stiffness of Reinforced Concrete Columns and Beams: Analytical Approach," *318Reference*, vol. 10, no. 39, pp. 351–363, Jan. 2008.
- [12] M. Burgos Namuche, "Estudio de la metodología 'diseño por capacidad' en edificaciones aporticadas de concreto armado para ser incorporada a la norma peruana e-060 como alternativa de diseño," Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2007.
- [13] S. Das and S. Choudhury, "Evaluation of effective stiffness of RC column sections by support vector regression approach," *Neural Comput Appl*, vol. 32, no. 11, 2020, doi: 10.1007/s00521-019-04190-0.
- [14] S. Das, I. Mansouri, S. Choudhury, A. H. Gandomi, and J. W. Hu, "A prediction model for the calculation of effective stiffness ratios of reinforced concrete columns," *Materials*, vol. 14, no. 7, 2021, doi: 10.3390/ma14071792.
- [15] M. J. N. Priestley, "Myths and Fallacies in Earthquake Engineering, revised," *In the Ninth Mallet Milne Lecture, Rose School, Pavia, Italia*, May 2003.
- [16] A. Tena-Colunga and M. ASCE, "Aspects to Consider in the Assessment of Effective Stiffness for Reinforced Concrete Beams," *Journal of Architectural Engineering*, vol. 27, no. 1, 2021, doi: 10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000451.
- [17] A. Tena Colunga, "EFFECTIVE STIFFNESS OF REINFORCED CONCRETE BEAMS FOR SEISMIC DESIGN: MYTHS AND FACTS RIGIDECESES EFECTIVAS DE VIGAS DE CONCRETO REFORZADO PARA DISEÑO SÍSMICO: MITOS Y REALIDADES RESUMEN," *Revista Internacional de Estructuras*, Ciudad de México, pp. 1–38, Mar. 2019.
- [18] M. Burgos Namuche, "Estudio de la metodología 'diseño por capacidad' en edificaciones aporticadas de concreto armado para ser incorporada a la Norma Peruana E-060 como alternativa de diseño," Trabajo fin de Master, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)- Facultad de Ingeniería Civil, Lima, 2007.

- [19] ACI - 318-19, "Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary," 2019 doi: 10.14359/51716937.
- [20] NZS-3101.1, "Concrete structures standard.Part 1: The Design of Concrete Structures," *New Zealand Standards Association* . Wellington, Nueva Zelanda, 2006.
- [21] E.060, "Reglamento Nacional de Construcciones Norma Técnica de Edificación E.060 'Concreto Armado,'" *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento - E.060*.
- [22] V. E. Sánchez Escudero and R. M. Vargas Sánchez, "Análisis y diseño de edificios de concreto armado considerando la rigidez efectiva de sus elementos estructurales," Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2018. doi: 10.19083/tesis/624981.
- [23] New Zealand Standard, *NZS 3101.1:2006. Part 1: The design of concrete structures*. 2006.
- [24] G. Mendoza Roque and J. A. Fernandez Cornejo, "Análisis sísmico comparativo de edificaciones; aplicando la normativa sismorresistente de Perú, Nueva Zelanda, México y México DF," Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, 2021.
- [25] T. Paulay and M. J. N. Priestley, *Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings*. Wiley, 1992.
- [26] American Concrete Institute 318-19, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. American Concrete Institute, 2019. doi: 10.14359/51716937.
- [27] ACI, *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-19)*. American Concrete Institute, 2019. doi: 10.14359/51716937.
- [28] A. Lepage, "Nonlinear Drift of Multistory RC Structures during Earthquakes," in *Sixth National Conference on Earthquake Engineering*, Seattle, 1998.
- [29] J. P. Moehle, "Displacement-Based Design of RC Structures Subjected to Earthquakes," *Earthquake Spectra*, vol. 8, no. 3, pp. 403–428, Aug. 1992, doi: 10.1193/1.1585688.
- [30] American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*. Reston: American Society of Civil Engineers, 2022.
- [31] American Association of State Highway and Transportation Officials., *LRFD bridge design specifications.*, 9th ed. Washington D.C.: AASHTO, 2020.
- [32] P. E. Mora Matos, "RIGIDEZ EFECTIVA DE ELEMENTOS DE CONCRETO PARA EL ANÁLISIS DE MARCOS ANTE CARGAS LATERALES," Tesis de posgrado, Universidad Nacional Autónoma de México, Mexico, 2006.
- [33] Secretaría de obras y servicios, *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto con comentarios*. Ciudad de México, 2021.

- [34] Y. Huang, X. Hu, X. Wan, and L. Hong, "Effective Stiffness of Reinforced Concrete Shear Wall under Lateral Load," *Hunan Daxue Xuebao/Journal of Hunan University Natural Sciences*, vol. 46, no. 7, pp. 11–18, Jul. 2019, doi: 10.16339/j.cnki.hdxzbzkb.2019.07.002.
- [35] James M. Gere, *Timoshenko Resistencia de Materiales*, 1st ed. Madrid: Thomson Learning, 2005.
- [36] A. K. Chopra, *Dynamics of structures*, 5th ed. United Kingdom: Pearson Education Limited, 2020.
- [37] L. H. Figueroa Granados, "Calibración del modelo numérico del edificio de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión mediante ensayos de identificación modal y esclerometría," Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión, Lima, 2019.
- [38] M. Zhang, T. Guo, R. Zhu, Y. Zong, Z. Liu, and W. Xu, "Damage identification of seismic-isolated structure based on CAE network using vibration monitoring data," *Eng Struct*, vol. 283, May 2023, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2023.115873.
- [39] L. Zhang and H. Li, "Construction Risk Assessment of Deep Foundation Pit Projects Based on the Projection Pursuit Method and Improved Set Pair Analysis," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 4, 2022, doi: 10.3390/app12041922.
- [40] A. I. Sifuentes Jiménez, M. C. Suarez Antunez, and L. E. Estacio Flores, "Monitoreo de la salud estructural de un edificio residencial de muros de corte de hormigón armado en Lima, Perú, utilizando un sensor 4d raspberry shake," *TECNIA*, vol. 32, no. 2, Aug. 2022, doi: 10.21754/tecnia.v32i2.1412.
- [41] P. C. Huerta Quispe, "DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS MULTIFAMILIARES DE MUROS ESTRUCTURALES APLICANDO EL MÉTODO DE ESPECTRO DE CAPACIDAD," Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2022.
- [42] A. Brandt, *Análisis de ruidos y vibraciones Procedimientos experimentales*, 1st ed. John Wiley & Sons, 2011. [Online]. Available: [www.wiley.com](http://www.wiley.com).
- [43] F. Muñoz Salinas, "Una Contribución a la Modelización y Virtualización Numérica de Estructuras Arquitectónicas," Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, 2000.
- [44] F. Muñoz Salinas, J. Maristany Carreras, and J. López-Rey Laurens, "INTERFACE GiD-SAP2000-VRML Aplicación práctica a la modelización virtual de edificios del patrimonio histórico," *Universidad Politécnica de Cataluña*, pp. 1–14, 2010.
- [45] F. Muñoz Salinas and J. Maristany Carreras, "Modelización Numérica y Virtualización de Edificios Históricos. Interface GiD-Sap2000-VRML," pp. 1–8, 2002.
- [46] W. Mendoza Ramirez, D. M. Cotrado Flores, J. Ticahuanca Mamani, and A. Mendoza Chura, "Frecuencias y periodos predominantes de sismos registrados en la ciudad de Tacna, mediante análisis y espectro de Fourier," *Ingeniería investiga*, vol. 2, no. 1, pp. 160–175, Oct. 2020.
- [47] EERL, "Strong motion earthquake accelerograms digitized and plotted data Volume II Part A," California, Sep. 1971.

- [48] M. Nathan, *A study of vertical and horizontal earthquake spectra*. Washington D.C.: Directorate of Licensing United States Atomic Energy Commission , 1973.
- [49] O. Rascón, M. Chavez, L. Alonso, and V. Palencia, *Corrección de la línea base de registros de temblores*, vol. 1. 1968.
- [50] E. Carreño, B. Bravo, A. Suárez, and J. M. Tordesillas, “Registro y Tratamiento de Acelerogramas,” *Física de la Tierra*, vol. 11, pp. 81–111, 1999.
- [51] Gulf Coast Data Concepts, “X16-1D USB Accelerometer Data Logger User Manual,” 2016
- [52] V. E. Sánchez Escudero and R. M. Vargas Sánchez, “Análisis y diseño de edificios de concreto armado considerando la rigidez efectiva de sus elementos estructurales,” Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, 2018. doi: 10.19083/tesis/624981.
- [53] J. A. Muñoz Peláez, “Estudio de la influencia del agrietamiento en la respuesta sísmica de estructuras de concreto armado,” Lima, Sep. 2015.
- [54] L. Hamzeh, A. Ashour, N. Aly, and K. Galal, “Effective stiffness and period-dependent seismic response modification factors for flexure-dominated fully-grouted reinforced masonry rectangular shear walls,” *Eng Struct*, vol. 243, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.engstruct.2021.112566.
- [55] A. M. Fares, “The Effect of Cracking on Stiffness of Shear Walls under Lateral Loads,” *International Journal of Civil and Architectural Engineering*, vol. 13, no. 2, 2019.
- [56] C. López and J. Music, “Análisis del período y desplazamiento de edificios de hormigón armado considerando distintos grados de rigidez en sus elementos resistentes,” *Obras y Proyectos*, vol. 19, pp. 33–47, 2016.

# ANEXOS

## EVIDENCIA DE SUMISION A REVISTA INDEXADA

### A. Evidencia de sumisión del artículo en la revista científica Q1 STRUCTURES

- a. Revista: Structures
- b. Enlace: <https://www2.cloud.editorialmanager.com/structures/default2.aspx>

### Envío:

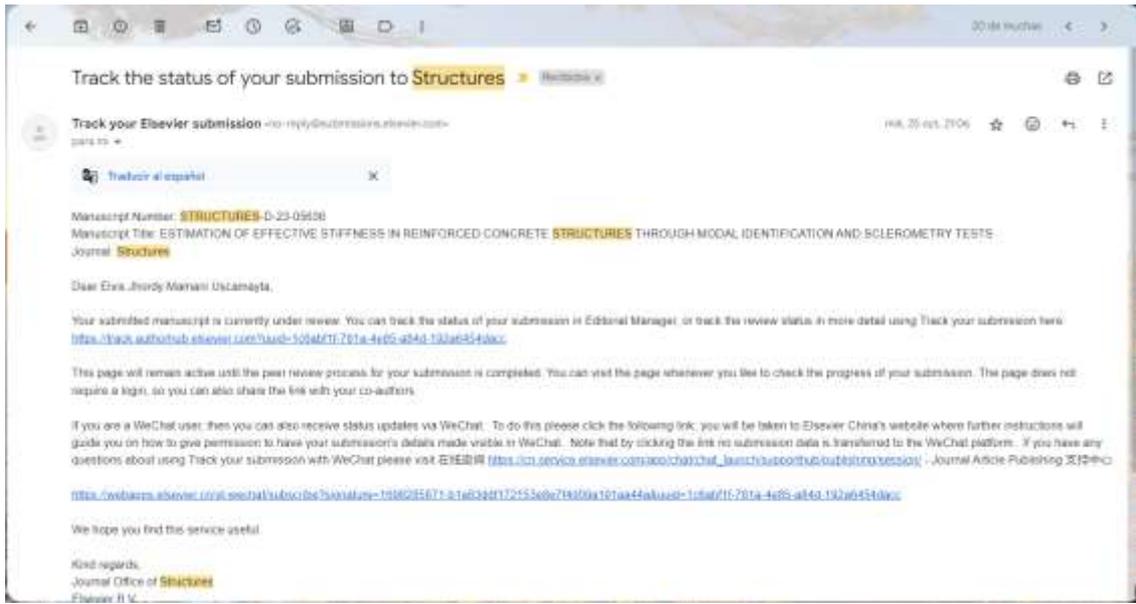


## Structures

### ESTIMATION OF EFFECTIVE STIFFNESS IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES THROUGH MODAL IDENTIFICATION AND SCLEROMETRY TESTS --Manuscript Draft--

<b>Manuscript Number:</b>	
<b>Article Type:</b>	Research Paper
<b>Keywords:</b>	stiffness, sclerometry, accelerometry, concrete, factors
<b>Corresponding Author:</b>	Elvis Jhordy Mamani Uscamayta, BSc Union Peruvian University Juliaca, San Roman PERU
<b>First Author:</b>	Elvis Jhordy Mamani Uscamayta, BSc
<b>Order of Authors:</b>	Elvis Jhordy Mamani Uscamayta, BSc Herson Pari Cusi, Eng.
<b>Abstract:</b>	It is currently known that the structural elements of a building can crack due to structural failures under service loads, due to frequent low-intensity earthquakes or during the first moments of a severe earthquake, which could result in cracked sections when the action of the earthquake occurs. of maximum intensity, for such considerations, the Peruvian norm of seismic analysis does not contemplate cracked sections for seismic analysis. The purpose of this study was to estimate the effective stiffness factors of 4 reinforced concrete buildings. The research has a quantitative approach of non-experimental design, the sample is made up of 4 reinforced concrete buildings in the city of Juliaca, to which sclerometry and modal identification tests were carried out with X16 - 1D sensors to obtain compressive strength. and natural periods of field vibration respectively. Numerical models were obtained with their real concrete resistance considering the existing partitions, to which stiffness reduction factors will be applied using international codes and iterations to approximate their natural periods to the natural periods obtained by modal identification. The results show that there is a difference in natural periods of vibration between the numerical model with real resistances considering the effects of the partitioning and those obtained with modal identification tests in a range of 5
<b>Suggested Reviewers:</b>	Tomas Zegard Latrach tzl@uc.cl Fabrizio Del Carpio Delgado fdelcarpiod@unam.edu.pe
<b>Opposed Reviewers:</b>	

## Recepción:



## B. Copia de Resolución de Inscripción del perfil del Proyecto



“AÑO DE LA UNIDAD, LA PAZ Y EL DESARROLLO”

RESOLUCIÓN N° 0434-2023/UPeU-FIA-CF-T

Lima, Ñaña 08 de agosto de 2023

### VISTO:

El expediente de Elvis Jhordy Mamani Uscamayta, identificado(a) con código universitario N° 201121230, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión;

### CONSIDERANDO:

Que la Universidad Peruana Unión tiene autonomía académica, administrativa y normativa, dentro del ámbito establecido por la Ley Universitaria N° 30220 y el Estatuto de la Universidad;

Que la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, mediante sus reglamentos académicos y administrativos, ha establecido las formas y procedimientos para la designación del Comité Dictaminador del proyecto de tesis;

Que Elvis Jhordy Mamani Uscamayta, ha concluido el desarrollo de la tesis en formato artículo y con la opinión favorable de su asesor, solicita la designación del Comité Dictaminador respectivo;

Estando a lo acordado en la sesión del Consejo de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad Peruana Unión, celebrada el 08 de agosto de 2023, y en aplicación del Estatuto y el Reglamento General de Investigación de la Universidad;

### SE RESUELVE:

Designar el Comité Dictaminador encargado de administrar el proceso de dictamen correspondiente a la tesis en formato artículo, titulada "Estimación de los factores de rigidez efectiva en estructuras de concreto armado", presentado por Elvis Jhordy Mamani Uscamayta, otorgándole un plazo máximo de diez (10) hábiles, posterior a la fecha de recepción de la presente resolución, para emitir el dictamen respectivo a través de la plataforma oficial.

Dictaminador 1: Mg. Henry Antonio Aguilar Chuquimia

Dictaminador 2: Ing. Jorge Llanos Ticona

Regístrese, comuníquese y archívese.



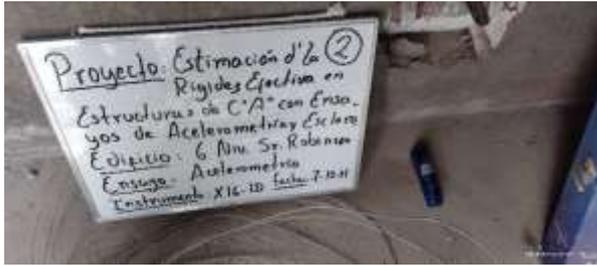
Dra. Erika Inés Acuña Salinas  
DECANA



Mg. Ketty Magaly Arellano Lino  
SECRETARIA ACADÉMICA

CC:  
-Interesado  
-Junado (02)  
-Archivo

### C. FIGURAS ADICIONALES



**Figura 1.** Ensayo de acelerometría en edificio ROBINSON.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 2.** Programación de sensores previo ensayo de campo.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 3.** Acelerómetros X16 - 1D.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.** Dirección local de acelerómetros.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 5.** Toma aérea con dron de edificio Sicma.

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 6.** Toma aérea con dron de edificio Santa Bárbara.

**Fuente:** Elaboración propia.