

## EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE DAÑO MEDIANTE HIROSAWA PARA DETERMINAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LOS CENTROS EDUCATIVOS EN LA VICTORIA, CHICLAYO

### ASSESSMENT OF THE DAMAGE INDEX USING HIROSAWA TO DETERMINE SEISMIC VULNERABILITY IN EDUCATIONAL CENTERS IN LA VICTORIA, CHICLAYO

Daiana Rossmery De La Cruz Diaz <sup>1</sup>  
Sócrates Pedro Muñoz Pérez<sup>2</sup>  
Noé Humberto Marín Bardales<sup>3</sup>

Fecha de recepción: 15/04/2021

Fecha de aprobación: 30/06/2021

DOI: <https://doi.org/10.26495/re.v5i1.1837>



#### Resumen

*Este trabajo evalúa el índice de daño mediante el método Hirosawa para la determinación de la vulnerabilidad sísmica en las instituciones educativas del distrito de la Victoria, con el fin de conocer las condiciones actuales que presentan las estructuras y las respuestas de estas mismas ante la eventualidad de un sismo de gran magnitud en esta zona. La evaluación consiste en la delimitación de las cualidades más importantes, así como el grado de vulnerabilidad, la clasificación de las estructuras, aspectos geotécnicos y constructivos, y otros parámetros que requiere la norma sismo resistente. Cabe mencionar que se tomaron en cuenta los daños que estas edificaciones ya han sufrido con anterioridad por sismos. Los resultados muestran que la evaluación del índice de daño mediante el método Hirosawa, demuestra que las instituciones educativas como caso de estudio, son vulnerables. El siguiente artículo nos muestra la descripción específica y la aplicación del método en cuanto al estudio de vulnerabilidad sísmica. A partir de los resultados finales, se plantean algunas alternativas estructurales lo que generaría un refuerzo estructural, como el salvaguardar la vida de los usuarios en este tipo de edificaciones esenciales.*

**Palabras clave:** Vulnerabilidad sísmica, Índice de daños, Hirosawa.

#### Abstract

*This work evaluates the damage index using the Hirosawa method for determining seismic vulnerability in educational institutions of the Victoria district, in order to know the current conditions that the structures present and their responses to the eventuality of an earthquake of great magnitude in this area. The evaluation consists of the delimitation of the most important qualities, as well as the degree of vulnerability, the classification of the structures, geotechnical and construction aspects, and other parameters required by the earthquake resistant standard. It is worth mentioning that the damages that these buildings have suffered previously due to earthquakes were taken into account. The results show that the evaluation of the damage index using the Hirosawa method shows that educational institutions as a case study are vulnerable. The following article shows us the specific description and application of the method regarding the study of seismic vulnerability. Based on the final results, some structural alternatives are proposed which would generate a structural reinforcement, such as safeguarding the lives of users in this type of essential buildings.*

**Key words:** seismic vulnerability, damage index, Hirosawa.

---

<sup>1</sup> Egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, [ddelacruzdiazdaiana@crece.uss.edu.pe](mailto:ddelacruzdiazdaiana@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0002-6704-9664>

<sup>2</sup> Maestro en Ciencias de la Tierra con mención en Geotecnia, Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, [msocrates@crece.uss.edu.pe](mailto:msocrates@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0003-3182-8735>

<sup>3</sup> Maestro en Ingeniería Civil con mención en Ingeniería Estructural. Docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería y Urbanismo, Universidad Señor de Sipán, [mbardales@crece.uss.edu.pe](mailto:mbardales@crece.uss.edu.pe), <https://orcid.org/0000-0003-3423-1731>.

## 1. Introducción

Las escuelas han demostrado ser especialmente vulnerables ante terremotos, en Himalaya el 78.51% no llegaría a funcionar si ocurre un gran evento sísmico (Rautela et al, 2020). El 31.5% de planteles educativos italianos presentan un mal comportamiento estructural (Perrone et al, 2020). Irán por otro lado tiene una clasificación de suelos inestables para soportar cargas de estructuras escolares si ocurre un sismo (Einali et al, 2020), Así mismo Oklahoma presenta más del 75% de daños en las infraestructuras de sus construcciones (Ng'ombe & Boyer, 2019). México es otro país con fallas de varios tipos, la causa de ello es que no cuentan con los elementos mínimos para resistir las cargas generadas por un terremoto (Pérez-Gavilán et al, 2018).

De acuerdo a los siguientes autores y sus estudios realizados, concluyen que los elementos estructurales con un mal comportamiento, y además con un suelo inestable son incapaces de soportar eventos sísmicos de gran magnitud.

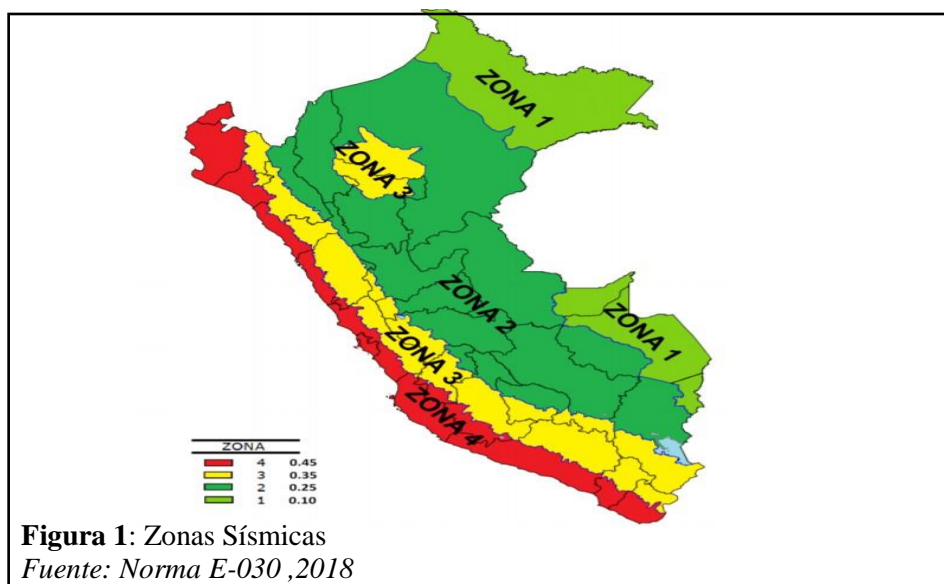
En Malasia se aplicó un índice empírico verificando la vulnerabilidad de los parámetros y grados de daño de una estructura. (Kassem et al, 2020). Colombia demostró con el método de Hassan y Sozen que 49 centros educativos sufrirían un colapso y recomienda el reforzamiento (Zora-Mejía & Acevedo-Jaramillo, 2019). Tenemos que el Salvador evaluó 100 escuelas de las cuales el 19% presenta problemas estructurales, teniendo en cuenta que el método aplicado fue claro y conciso. (Peña et al, 2020).

Concluyendo a lo anterior, según las aplicaciones para el desarrollo de las investigaciones de los autores se puede demostrar mediante métodos adecuados, para determinar en porcentajes la vulnerabilidad de las instituciones educativas.

China verifico la vulnerabilidad sísmica en edificios de mampostería, resultando que estas estructuras no cumplían con los requerimientos para soportar cargas sísmicas (Zhou et al, 2020). Una propuesta metodológica que se presentó para edificios institucionales en Argentina tenía como propósito ser ágil y económica para controlar la seguridad estructural y no estructural (Pizarro & Aguera, 2016). Para los edificios escolares de Venezuela se descubrió la necesidad de reforzar estructuras existentes. (Lopez et al, 2010).

### 1.1. Sismicidad en el Perú

La Norma E-030 (2018), el territorio de Perú está clasificado en cuatro zonas sísmicas, esto es con respecto a la división sideral de la sismicidad fijada, y aspectos generales de los acontecimientos telúricos.



**Figura 1:** Zonas Sísmicas  
*Fuente: Norma E-030, 2018*

**Tabla 1.**

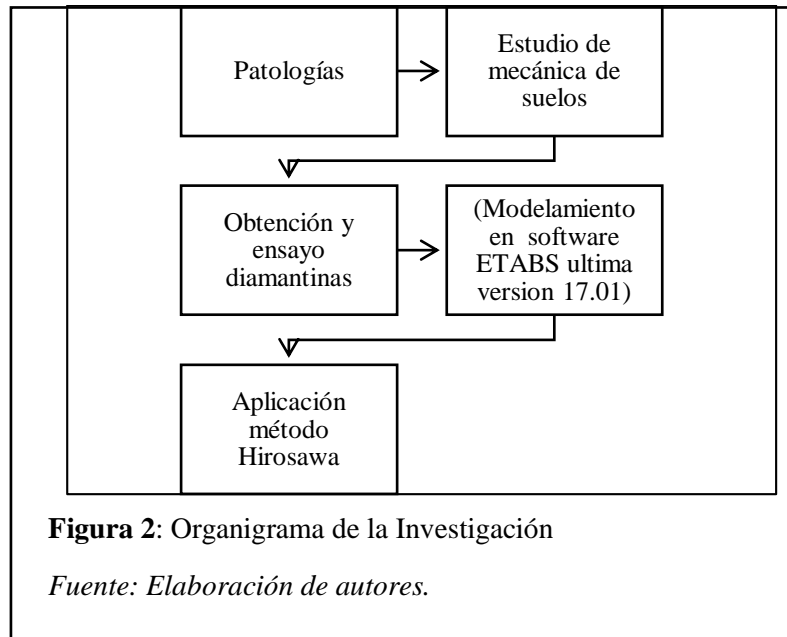
*Factores de Zona.*

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.1

*Fuente: Norma E-030, 2018.*

## 2. Materiales y Métodos

Para esta investigación se propuso estimar el índice e indicar el daño empleando el Método Hirosawa, para indicar la vulnerabilidad, Así mismo fue conveniente hacer el uso de software ETABS en su última versión, como el estudio de suelos insitu. Como refuerzo a ello se hizo la extracción necesaria de núcleos de diamantinas.



### 2.1. Clasificación Suelos

Lo que se procedió hacer es realizar calicatas a cielo abierto, para poder extraer muestras, las cuales ya en laboratorio se sometieron a ensayos, tanto de índice de plasticidad, corte directo, y sales solubles.

### 2.2. Ensayo de diamantina

Normativa ASTM 339.059

Procedimiento

Se empezó por distinguir los elementos de los cuales se extraerán los núcleos de diamantina, en esta ocasión se eligió vigas y columnas de las instituciones educativas, a continuación, se procedió a cifrar los puntos para realizar un inventario de ellos, llegando a sacar los núcleos diamantino, con el taladro tubular, finalmente la muestra extraída fue cuidada para que no pierda alteradamente su humedad con una capa de plástico, hasta llevar a el ensayo correspondiente.

### 2.3. Aplicación del Método Hirosawa (MH)

La vulnerabilidad estructural se rige tomando en cuenta:

-Si  $I_s \geq I_{so}$  se considera con un adecuado comportamiento telúrico

-Si  $I_s < I_{so}$  se denomina una edificación con un comportamiento inseguro frente a futuras acciones sísmicas.

#### *Cálculo del $I_s$ (Índice de vulnerabilidad estructural)*

Se computa en la siguiente ecuación:

$$I_s = E_0 * SD * T \quad (1)$$

$E_0$  = índice sísmico básico de comportamiento estructural

$SD$  = índice de configuración estructural

$T$  = índice de Tiempo de deterioro de la edificación

#### *Cálculo del $I_{so}$ (índice de juicio estructural)*

Se computa en la siguiente ecuación:

$$I_{so} = E_{so} * Z * G * U \quad (2)$$

Dónde:

$E_{so}$  = Resistencia sísmica básica requerida.

$Z$  = Factor de zona sísmica; su valor depende del peligro sísmico del lugar donde se ubica el edificio ( $0.5 \leq Z \leq 1$ ).

$G$  = Factor de influencia de las condiciones topográficas y geotécnicas.

$U$  = Factor de importancia del edificio por su uso.

### 2.4. Caso de Estudio

Lo conforma las Instituciones Educativas Públicas: “José María Arguedas” (JMA), “Carlos Augusto Salaverry” (CAS), “Juan Pablo Vizcardo y Guzmán” (JPVG), “Andrés Avelino Mariscal Cáceres” (AAMC) del distrito de La Victoria –Chiclayo.

Criterios de selección:

- Son infraestructuras con más de 40 años y se considera las más antiguas del distrito La Victoria.
- Su capacidad de alumnos supera los 1200.
- Son calificados para colegios emblemáticos.
- Ya soportaron 2 sismos de gran magnitud a partir de su creación que data de 1970.

## 3. Resultados

### 3.1. Estudio de EMS de las Instituciones Educativas.

**Tabla 2.**

Ensayos	Institución Educativa José María Arguedas	
	C1	C2
Calicatas	M1:52.85 M2:34.61	M1:53.18 M2:35.59
Límites líquido	M3:31.66	M3:31.23
	M4:37.78	M4:36.11
	M5:33.48	M5:33.01
	M1:27.04	M1:27.79
	M2:20.50	M2:20.16
Límite plástico	M3:19.65	M3:19.90
	M4:19.01	M4:19.82
	M5:22.84	M5:22.67
	M1:25.82	M1:25.39
	M2:14.11	M2:15.43
Índice de plasticidad	M3:12.01	M3:11.33
	M4:18.75	M4:16.29
	M5:10.64	M5:10.33
Sales solubles	Absolutos: ppm 200 Absolutos en peso seco: %0.02.	Absolutos: ppm 100 Absolutos en peso seco: %0.01.
	M5: C=0.11kg/cm2 $\phi = 22.74^\circ$	M5: C=0.17kg/cm2 $\phi = 22.64^\circ$

*Resultado de la IE. JMA.*

*Fuente: Elaboración de los autores.*

**Tabla 3.**

*Resultado de la IE.CAS.*

Ensayos	I.E. Carlos Augusto Salaverry	
	C1	C1
Calicatas	M1:41.15 M2:30.62	M1:41.15 M2:30.62
Límites líquido	M3:36.16	M3:36.16
	M4:29.19	M4:29.19
Límite plástico	M1:15.23	M1:15.23
	M2:15.01	M2:15.01
	M3:17.11	M3:17.11
	M4:14.18	M4:14.18
Índice de plasticidad	M1:25.92	M1:25.92
	M2:15.61	M2:15.61
	M3:19.06	M3:19.06
	M4:15.01	M4:15.01
Sales solubles	Absolutos: ppm 400	Absolutos: ppm 400

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). De La Cruz, D., Muñoz, S. y Marín, N. (2021). Evaluación del índice de daño mediante Hirosawa para determinar la vulnerabilidad sísmica en los centros educativos en la victoria, Chiclayo. *Rev. Epistemia*, 5(1).

	Absolutos en peso seco: %0.04. M4: C=0.10kg/cm <sup>2</sup> Ø = 22.74°	Absolutos en peso seco: %0.04. M4: C=0.10kg/cm <sup>2</sup> Ø = 22.64°
Capacidad portante (corte directo)		

Fuente: Elaboración de los autores.

**Tabla 4.**  
Resultado de la IE-JPVG

Ensayos	I.E. Juan Pablo Vizcardo Y Guzmán	
Calicatas	C1	C1
	M1:44.60	M1:44.60
Límites líquido	M2:41.31	M2:41.31
	M3:42.67	M3:42.67
Límite plástico	M1:17.03	M1:17.03
	M2:17.75	M2:17.75
	M3:19.43	M3:19.43
Índice de plasticidad	M1:25.57	M1:25.57
	M2:23.57	M2:23.57
	M3:23.24	M3:23.24
Sales solubles	Absolutos: ppm 600 Absolutos en peso seco: %0.06. M3:	Absolutos: ppm 600 Absolutos en peso seco: %0.06. M3:
Capacidad portante (corte directo)	C=0.158kg/cm <sup>2</sup> Ø = 18.33°	C=0.155kg/cm <sup>2</sup> Ø = 18.23°

Fuente: Elaboración de los autores.

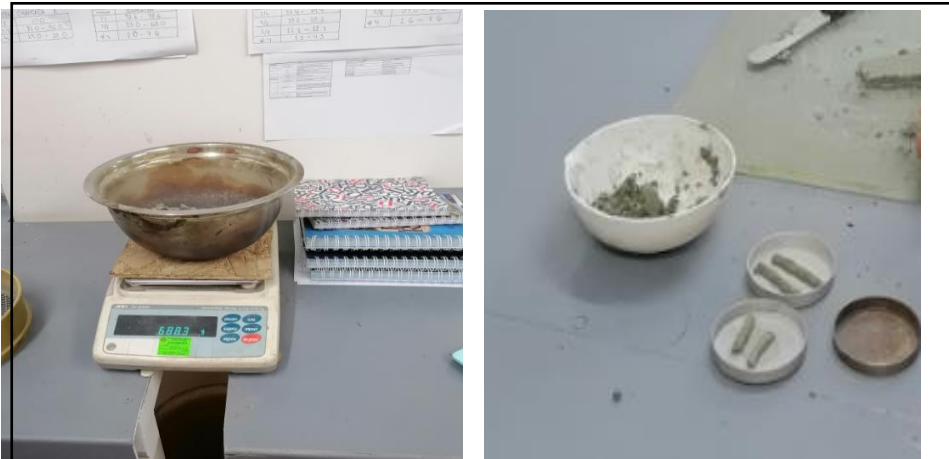
**Tabla 5.**  
Resultado de la IE. AAMC

Ensayos	I.E. Andrés Avelino Mariscal Cáceres.	
Calicatas	C1	C1
	M1:42.66	M1:42.66
	M2:47.16	M2:47.16
Límites líquido	M3:42.59	M3:42.59
	M4:43.89	M4:43.89
Límite plástico	M1:17.47	M1:17.47
	M2:24.86	M2:24.86
	M3:22.73	M3:22.73
	M4:20.81	M4:20.81
Índice de plasticidad	M1:25.19	M1:25.19
	M2:22.30	M2:22.30
	M3:19.86	M3:19.86
	M4:23.08	M4:23.08

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). De La Cruz, D., Muñoz, S. y Marín, N. (2021). Evaluación del índice de daño mediante Hirosawa para determinar la vulnerabilidad sísmica en los centros educativos en la victoria, Chiclayo. *Rev. Epistemia*, 5(1).

Sales solubles	Absolutos: ppm 600 Absolutos en peso seco: %0.06.	Absolutos: ppm 600 Absolutos en peso seco: %0.06.
Capacidad portante (corte directo)	M3: C=0.158kg/cm <sup>2</sup> Ø = 18.33°	M3: C=0.155kg/cm <sup>2</sup> Ø = 18.23°

*Fuente: Elaboración de los autores.*



**Figura 3:** Laboratorio LEMS W&C EIRL –Chiclayo

*Fuente: Elaboración de los autores.*



**Figura 4:** Laboratorio LEMS W&C EIRL –Chiclayo

*Fuente: Elaboración de los autores.*

### 3.2.Extracción de Diamantina

**Tabla 7.**

*Resultado de la extracción de las diamantinas de la IE. JMA*

Norma de ensayo		Denominación				
NTP-339.059		Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (concreto)				
Muestra	Identificación	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Relación longitud/diámetro		
1	D-01 columna	11.37	5.87	1.94		
2	D-02 viga	8.32	5.87	1.42		
Norma de ensayo		Denominación				
NTP- 339.034		Método de ensayo normalizado para identificar la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas				
Muestra	Identificación	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia corregida (kg/cm <sup>2</sup> )
1	D-01 columna	5.87	27.1	3530	130	<b>130</b>
2	D-02 viga	5.87	27.1	3224	119	<b>113</b>

*Fuente: Elaboración de los autores.*

**Tabla 8.**

*Resultado de la extracción de las diamantinas de la IE. CAS.*

Norma de Ensayo		Denominación					
NTP- 339.059		Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (Concreto)					
Muestra	Identificación	Fecha de extracción	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Relación longitud/diámetro		
1	D-01 columna	31/10/2020	10.21	5.87	1.74		
2	D-02 viga	31/10/2020	9.54	5.87	1.62		
Norma de Ensayo		Denominación					
NTP- 339.034		Método de ensayo normalizado para la identificación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas					
Muestra	Identificación	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia corregida (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia corregida (kg/cm <sup>2</sup> )
1	D-01 columna	5/11/2020	5.87	27.1	3481	129	126
2	D-02 viga	5/11/2020	5.87	27.1	3321	123	119

*Fuente: Elaboración de los autores.*



**Tabla 9.**

*Resultado de la extracción de las diamantinas de la IE. JPVG*

Norma de Ensayo		Denominación					
NTP-339.059		Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (Concreto)					
Muestra	Identificación	Fecha de extracción	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Relación longitud/diámetro		
1	D-01 columna	31/10/2020	10.84	5.87	1.85		
2	D-02 viga	31/10/2020	10.79	5.87	1.84		
Norma de Ensayo		Denominación					
NTP- 339.034		Método de ensayo normalizado para la identificación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas					
Muestra	Identificación	Fecha de ensayo	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia corregida (kg/cm <sup>2</sup> )
1	D-01 columna	5/11/2020	5.87	27.1	3154	116	116
2	D-02 viga	5/11/2020	5.87	27.1	3085	114	114

*Fuente: Elaboración de los autores.*

**Tabla 10.**

*Resultado de la extracción de las diamantinas de la IE. AAMC*

Norma de ensayo		Denominación					
NTP- 339.059		Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas cortadas de hormigón (concreto)					
Muestra	Identificación	Fecha de extracción	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Relación longitud/diámetro		
1	D-01 columna	31/10/2020	11.02	5.87	1.88		
2	D-02 viga	31/10/2020	10.98	5.87	1.87		
Norma de ensayo		Denominación					
NTP- 339.034		Método de ensayo normalizado para la identificación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas					
Muestra	Identificación	Fecha de ensayo	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Carga (kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia corregida (kg/cm <sup>2</sup> )
1	D-01 columna	5/11/2020	5.87	27.1	3210	119	<b>119</b>
2	D-02 viga	5/11/2020	5.87	27.1	3408	126	<b>126</b>

*Fuente: Elaboración de los autores.*

### 3.3. Método Hirosawa

#### 3.3.1. Resultados (MH) vulnerabilidad sísmica en la dirección X-X de la IE. JMA

##### Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el bloque no es vulnerable en 3 y 2 piso mientras que en el 1 si es vulnerable en la dirección X-X.

**Tabla 11**

*Tabla Is-Iso-dirección X-X*

Dirección	Piso	Is	Iso	Estado
X	3°	<b>1.34</b>	0.28	No Vulnerable
X	2°	<b>0.70</b>	0.28	No Vulnerable
X	1°	<b>0.25</b>	0.28	Vulnerable

*Fuente:*

*Elaboración de los autores.*

#### 3.3.2. Resultados (MH) vulnerabilidad sísmica en la dirección Y-Y de la IE. JMA

##### Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

En los bloques, se evaluó inicialmente nivel de análisis del método Hirosawa con el objetivo de analizar y determinar el Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el bloque no es vulnerable en el 3 y 2 piso mientras que el primero sí en la dirección Y-Y

**Tabla 12**

*Tabla Is-Iso-dirección Y-Y*

Dirección	Piso	Is	Iso	Estado
Y	3°	1.40	0.74	No Vulnerable
Y	2°	0.78	0.74	No Vulnerable
Y	1°	0.70	0.74	Vulnerable

*Fuente:Elaboración de los autores.*

#### 3.3.3. Resultados (MH) vulnerabilidad sísmica en la dirección X-X IE. CAS.

### Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el bloque no es vulnerable en la dirección X-X.

**Tabla 13**

*Tabla Is-Iso-dirección X-X*

	Dirección	Piso	Is	Iso	Estado
	X	3°	1.75	0.28	No Vulnerable
	X	2°	0.85	0.28	No Vulnerable
<i>Fuente:</i>	X	1°	0.28	0.28	No Vulnerable

*Elaboración de los autores.*

### 3.3.4. Resultados (MH) vulnerabilidad sísmica en la dirección Y-Y IE. CAS.

#### Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el bloque no es vulnerable en el 3 y 2 piso mientras que el primero sí en la dirección Y-Y.

**Tabla 14**

*Tabla Is-Iso-dirección Y-Y*

	Dirección	Piso	Is	Iso	Estado
	Y	3°	1.40	0.74	No Vulnerable
	Y	2°	0.78	0.74	No Vulnerable
	Y	1°	0.70	0.74	Vulnerable

*Fuente:*

*Elaboración de los autores.*

### 3.3.5. Resultados (MH) vulnerabilidad sísmica en la dirección X-X- IE. JPVG

#### Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el bloque no es vulnerable en la dirección X-X.

**Tabla 15**

*Tabla Is-Iso-dirección X-X*

	Dirección	Piso	Is	Iso	Estado
	X	3°	1.42	0.28	No Vulnerable
	X	2°	0.79	0.28	No Vulnerable
	X	1°	0.28	0.28	No Vulnerable

*Fuente: Elaboración de los autores.*

### 3.3.6. Resultados (MH) vulnerabilidad sísmica en la dirección Y-Y – IE-JPVG.

#### Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el bloque no es vulnerable en la dirección Y-Y.

**Tabla 16**

*Tabla Is-Iso-dirección Y-Y*

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). De La Cruz, D., Muñoz, S. y Marín, N. (2021). Evaluación del índice de daño mediante Hirosawa para determinar la vulnerabilidad sísmica en los centros educativos en la victoria, Chiclayo. *Rev. Epistemia*, 5(1).

Dirección	Piso	Is	Iso	Estado
Y	3°	1.42	0.28	No Vulnerable
Y	2°	0.79	0.28	No Vulnerable
Y	1°	0.28	0.28	No Vulnerable

Fuente:

*Elaboración de los autores.*

### 3.3.7. Resultados (MH) vulnerabilidad sísmica en la dirección X-X –IE. AAMC

#### Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el bloque no es vulnerable en la dirección X-X.

**Tabla 17**

*Tabla Is-Iso-dirección X-X*

Dirección	Piso	Is	Iso	Estado
X	3°	1.42	0.28	No Vulnerable
X	2°	0.79	0.28	No Vulnerable
X	1°	0.28	0.28	No Vulnerable

Fuente:

*Elaboración de los autores.*

### 3.3.8. Resultados (MH) vulnerabilidad sísmica en la dirección Y-Y- IE. AAMC

#### Comparación entre los índices de vulnerabilidad y juicio estructural

Se puede apreciar en la tabla que los índices de vulnerabilidad superan a los índices de juicio estructural por lo que podemos concluir que el bloque no es vulnerable en el piso 3 y 2 mientras que el 1 piso sí en la dirección Y-Y.

**Tabla 18**

*Tabla Is-Iso-dirección Y-Y*

Dirección	Piso	Is	Iso	Estado
Y	3°	1.34	0.28	No Vulnerable
Y	2°	0.70	0.28	No Vulnerable
Y	1°	0.25	0.28	Vulnerable

Fuente: *Elaboración de los autores.*

## 4. Discusión de Resultados.

El artículo de investigación sostiene como finalidad principal evaluar el índice de daño mediante Hirosawa para determinar la vulnerabilidad sísmica en los centros educativos (José María Arguedas, Carlos Augusto Salaverry, Juan Pablo Vizcardo y Guzman y Andres Avelino Mariscal Cáceres), para lo cual se analizaron los valores numéricos obtenidos de los índices de vulnerabilidad estructural y demanda sísmica.

Para esto, se efectuaron visitas previas a las instalaciones de las instituciones con el fin de verificar los datos recolectados, así como también características físicas (figuración, humedad, mantenimiento de la estructura, etc.) de cada módulo a analizar.

Se obtuvo el análisis sísmico de cada módulo pertenecientes a su respectivo pabellón, se realizaron los cálculos y se obtuvo el valor del índice de resistencia de columnas, configuración estructural, deterioro de la edificación, y se compara con el valor del índice de demanda sísmica, que depende de la zonificación, ubicación sísmica, tipo de suelo, etc.

Por lo tanto, después de poder comparar tanto el juicio propio con el índice de vulnerabilidad estructural (Is), se pudo efectuar la determinación, mediante el método Hirosawa, que cuatro de los dieciocho módulos de la institución educativa José María Arguedas y Carlos Augusto Salaverry, 3 módulos de la institución educativa Juan Pablo, y por último 2 módulos de la institución educativa Andrés Avelino Mariscal Cáceres, son vulnerables ante acciones sísmicas, por lo que se acepta la hipótesis inicialmente planeada, la cual indicaba que el índice de daño mediante Hirosawa se determina la vulnerabilidad sísmica en los centros educativos mencionados y así permitirá representar los parámetros en el método.

Al analizar el índice de configuración estructural usando Hirosawa, arrojó valores de 1.0, que indica que la edificación no presenta irregularidades en planta, la relación largo-ancho en planta es la adecuada, las juntas sísmicas son mayores a 0.01 m, y presenta uniformidad en la altura de entrepiso. Con estos resultados podemos tomar la hipótesis planteada como cierta.

Después de analizar el índice de comportamiento básico estructural (Eo), mediante el método Hirosawa, se obtuvieron resultados en la dirección X-X en el rango de 0.34 al 1.73 y en Y-Y en el rango de 0.54 a 2.79, con lo cual se puede aceptar la primera hipótesis planteada.

Para determinar la vulnerabilidad sísmica aplicando Hirosawa se realizó una comparativa entre la norma japonesa y la peruana, analizando las condiciones de terreno, zonificación sísmica, importancia o uso de la edificación, factor de amplificación del suelo y de reducción sísmica del sistema estructural. El cálculo de éste índice resultó en la dirección X-X un valor de 0.41 y en Y-Y un valor de 1.10, aplicando la tercera hipótesis planteada.

Determinación de la vulnerabilidad usando el software, se realizó un modelamiento en Etabs 2017 v17.0, para analizar las distorsiones de entrepiso y compararlas con los parámetros que me indica la Norma E.030 2018, si no se cumpliera con las condiciones señaladas se concluirá que el módulo analizado es vulnerable.

Después de realizar el análisis dinámico en el software Etabs 2017 v17.0, a los módulos de la Instituciones Educativas, en los módulos Escalera 01, 02, 03 y 04, SSHH 01 y 02, Vestuarios 01 y 02, se obtuvieron torsiones en la dirección X-X que excedían los parámetros señalados en el reglamento E.030 2018, mientras que en la dirección Y-Y resultaron derivas muy por debajo de lo permisible, con lo que se pudo concluir que 06 de los más de 18 módulos evaluados son vulnerables ante acciones de sismo.

En cuanto a resultados que se obtuvo de la resistencia a la compresión en un promedio expuesto se observa valores menos de 210 kg/cm<sup>2</sup> el cual es valor mínimo a la resistencia especificada para elementos estructurales de acuerdo a la NTE. E.060 "Concreto Armado", sin embargo para estos resultados finales que arrojó las pruebas sean de un concreto aceptable, se hizo un promedio mayor o igual que el 85%  $f'_c$  (175.50 kg/cm<sup>2</sup>) por lo que cada espécimen debe tener una resistencia a la compresión mayor al 75% (157.50 kg/cm<sup>2</sup>) de acuerdo a la NTE. 122 E.060, de esta forma da cumplimiento a las condiciones las estructuras de 3 aulas y 4.

## 5. Conclusiones

La evaluación del índice de daño mediante el método Hirosawa, demuestra que las instituciones educativas 4 módulos principales tanto como José María Arguedas y Carlos Augusto Salaverry, 3 módulos de la institución educativa Vizcardo y Guzmán, y por último 2 módulos de la institución educativa Andrés Avelino Mariscal Cáceres, son vulnerables ante acciones sísmicas (Escaleras 01, 02, 03 y Innovación 2°), y con el método cuantitativo resultan 12 módulos (Escaleras 01, 02, 03, SSHH 01 y 02, Vestuarios 01 y 02, aulas primarias, secundarias) vulnerables, por lo cual se rechaza la hipótesis general planteada.

El comportamiento estructural calculado para cada módulo varía entre los valores de 0.34 al 2.79, y estos están condicionados por el sistema estructural, el peso de la edificación, calidad de los elementos estructurales ( $f'_c$ ) y cantidad de elementos verticales que resisten el peso de la edificación (columnas):

Las obtenciones de resultados de configuración estructural son altos, esto a causa de condiciones adecuadas en sus características en planta, el ancho y largo tiene poseen relación, contracción de planta,

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). De La Cruz, D., Muñoz, S. y Marín, N. (2021). Evaluación del índice de daño mediante Hirosawa para determinar la vulnerabilidad sísmica en los centros educativos en la victoria, Chiclayo. *Rev. Epistemia*, 5(1).

sin embargo, posterior a un estudio de investigación usando el método, arrojó valores minúsculos en los pisos que se encuentra en la parte inferior.

Se efectuó la apreciación del deterioro de las estructuras y en coherencia a los datos actuales de la deformación permanente, grietas en columnas, incendios, usos, tipo de daño estructural, resultó ser una herramienta para el criterio de la clasificación de daños asociados a la estructura considerando algunos parámetros, teniendo éstos las más óptimas condiciones.

Sé recolectó datos de condiciones insitu del terreno como estudio de suelos y se compararon los parámetros de la norma peruana con la norma japonesa y así calcular el índice de demanda sísmica, obteniendo un valor de 0.41 en dirección X y 1.10 en dirección Y.

El concreto existente en los Módulos no es aceptable ya que data de los años 1970 lo cual muestra un concreto que posee baja calidad y que por lo mismo no ofrece una vida útil estructuralmente, dispersando las fuerzas de manera adecuada a lo largo de la estructura.

## 6. Referencias

- Cardone, D., Flora, A., De Luca Picione, M., & Martocchia, A. (2019). Estimating direct and indirect losses due to earthquake damage in residential RC buildings. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*(126). doi:<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105801>
- Clementi, F., Quagliarini, E., Maracchini, G., & Lenci, S. (2015). Post-World War II Italian school buildings: typical and specific seismic vulnerabilities. *Journal of Building Engineering*, 4, 152-166. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2015.09.008>
- Cucho Salinas, H. M., & Nuñez Cusma, K. M. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad estructural aplicando el método Hirosawa para determinar la seguridad sísmica del Hospital Regional de Lambayeque [Tesis de pre grado, Universidad San Martín de Porres]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/usmp/4238>
- De Silva, S., De Silva, S. G., & Padmal, H. (2018). Assessment Method for Seismic Vulnerability of Old Masonry Buildings in Sri Lanka. *Procedia Engineering*, 212, 61-38. doi:<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.009>
- Dirven, B. B., Pérez, R., Cáceres, R. J., Tito, A. T., Gómez, R. K., & Ticona, A. (2018). *El desarrollo rural establecido en las áreas Vulnerables*. Lima: Colección Racso.
- Einali, J., Mohamady Yeganeh, B., Cheraghi, M., & Feyzolahpour, M. (2020). Evaluating the effects of reconstruction of the damaged villages in the 2002 earthquake in Avaj, Iran. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 43. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101373>
- Ghassemi, M. R. (2016). Surface ruptures of the Iranian earthquakes 1900–2014: Insights for earthquake fault rupture hazards and empirical relationships. *Earth Science Reviews*, 156, 1-13. doi:<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.03.001>
- Gulfo Mendoza, A., & Serna Hernández, L. F. (2015). Vulnerabilidad sísmica de la infraestructura escolar urbana en Girardot-Cundinamarca. *Revista Ingenierías*, XVIII(68).
- Hancilar, U., Çaktö, E., Erdik, M., Franco, G. E., & Deodatis, G. (2014). Earthquake vulnerability of school buildings: Probabilistic structural fragility analyses. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 67, 169-178. doi:<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2014.09.005>
- Industria. (26 de Marzo de 2019). Exigen mejorar infraestructura de instituciones educativas. *Exigen mejorar infraestructura de instituciones educativas*.
- Kassem, M. M., Mohamed Nazri, F., & Noroozinejad Farsangi, E. (2020). The efficiency of an improved seismic vulnerability index under strong ground motions. *Structures*, 23, 366-382. doi:<https://doi.org/10.1016/j.istruc.2019.10.016>
- Kwon, O.-S., & Kim, E. (2010). Case study: Analytical investigation on the failure of a two-story RC building damaged during the 2007 Pisco-Chincha earthquake. *Engineering Structures*, 32(32), 1876-1887. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2009.12.022>

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). De La Cruz, D., Muñoz, S. y Marín, N. (2021). Evaluación del índice de daño mediante Hirosawa para determinar la vulnerabilidad sísmica en los centros educativos en la victoria, Chiclayo. *Rev. Epistemia*, 5(1).

- López, O., Marinilli, A., Bonilla, R., Fernández, N., Domínguez, J., Coronel D, G., . . . Vielma, R. (2010). Evaluación sismorresistente de edificios escolares en Venezuela. *Revista de la Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*, 25(4), 81-94.
- Mattos Castro, F. Y. (2014). Evaluación de vulnerabilidad sísmica del edificio municipal del distrito de Río Negro a través del método de Hirosawa. Obtenido de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2979>
- Ng'ombe, J. N., & Boyer, T. A. (2019). Determinants of earthquake damage liability assignment in Oklahoma: A Bayesian Tobit censored approach. *Energy Policy*, 131, 422-433. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.013>
- Ocola, L. (2009). Peligro, vulnerabilidad, riesgo y la posibilidad. *Revista Geofísica*, 81-125.
- Ocola, L. (2019). Peligro, vulnerabilidad, riesgo y la posibilidad de desastres sísmicos en el Perú. *Revista Geofísica*(61), 81-125. Obtenido de <https://www.revistasipgh.org/index.php/regeofi/article/view/555>
- Oh-Sung Kwon, E. K. (2010). Case study: Analytical investigation on the failure of a two-story RC building. *Engineering Structures*.
- Olarte, J., Julca, J., & Orbegoso, E. (2008). *EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO DEL CENTRO HISTÓRICO DE CHICLAYO*. INDECI.
- O'Reilly, G. J., Perrone, D., Fox, M., Monteiro, R., & Filiatrault, A. (2018). Seismic assessment and loss estimation of existing school buildings in Italy. *Engineering Structures*, 168, 142-162. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.04.056>
- Peña Figueroa, E. A., Malisan, P., & Grimaz, S. (2020). Implementation of seismic assessment of schools in El Salvador. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101449>
- Pérez-Gavilán, J. J., Aguirre, J., & Ramírez, L. (2018). Sismicidad y seguridad estructural en las construcciones: lecciones aprendidas en México. *Salud Pública de México*, 60(1), 41-51. doi:<http://dx.doi.org/10.21149/9300>
- Perrone, D., O'Reilly, G. J., Monteiro, R., & Filiatrault, A. (2020). Assessing seismic risk in typical Italian school buildings: From in-situ survey to loss estimation. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 44. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101448>
- Pizarro, N. F., & Agüera, N. D. (Mayo 2016). VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS EDUCACIONALES EN LA ZONA DE ELEVADO RIESGO SÍSMICO DE LA PROVINCIA DE MENDOZA, ARGENTINA. UNA PROPUESTA METODOLÓGICA. *Trabajo presentado en el Congreso Euroamericano*. España.
- Ramírez Machado, B. J., & Salazar Valdez, P. M. (2015). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos públicos y privados del distrito de La Victoria [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/523>
- Rautela, P., Girish, C. J., & Shailesh, G. (2020). Economics of seismic resilience of educational infrastructure in high earthquake hazard prone Himalayan province of Uttarakhand in India. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 43. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2019.101363>
- Robert, J., & D'Ercole, R. (2009). El sismo del 15 de agosto de 2007 en la Margen Izquierda del Río Rímac (Lima). *Bulletin de l'Institut Français d'Études Andines*, 38(3), 515-526. doi:<https://doi.org/10.4000/bifea.2310>
- Ruiz, S., Tavera, H. J., Poli, P., Herrera, C., Flores, C. H., Rivera, E., & Madariaga, R. I. (2017). The deep Peru 2015 doublet earthquakes. *Earth and Planetary Science Letters*, 478(15), 102-109. doi:<https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.08.036>
- San Bartolomé, A. (2007). *Defectos que incidieron en el Comportamiento de las Construcciones de Albañilería en el sismo de Pisco del 15-08-2007 [Instituto de la Construcción y Gerencia]*. Biblioteca Virtual ICG. Obtenido de Biblioteca Virtual : <http://dev2.construccion.org/biblioteca/articulo/defectos-que-incidieron-comportamiento-las-construcciones-albanileria-sismo-pisco-del-15-08-2007-1044>
- Soto Raico, E. E. (2018). *Comparación de los métodos: Fema 154, Hirosawa y demanda - resistencia para evaluar vulnerabilidad sísmica en infraestructura educativa – Baños del Inca [ Tesis de*

REV. Epistemia. Vol. 5 Núm.1 (2021). De La Cruz, D., Muñoz, S. y Marín, N. (2021). Evaluación del índice de daño mediante Hirosawa para determinar la vulnerabilidad sísmica en los centros educativos en la victoria, Chiclayo. *Rev. Epistemia*, 5(1).

- grado de Universidad Privada del Norte*]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11537/13477>
- Tavares Miranda, P., & Pereira de Araújo, T. D. (2011 Noviembre). Aplicação do Método de Hirosawa Adaptado à Realidade Brasileira em uma Estrutura com um Grau de Liberdade. *Trabajo presentado por Conference: 53º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO*.
- Tavera, H. (2014). Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en el Perú [Monografías, Instituto Geofísico del Perú ]. *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en el Perú*. Repositorio IGP, Lima, Perú.
- Tovar, G. L. (1986). *El asentamiento y la segregación de los Blancos y Mestizos*. Bogotá: Cengage.
- Villar Gallardo, E. A., & Aguirre Paulini, V. M. (2019). *Vulnerabilidad sísmica aplicando el método Hirosawa en la Institución Educativa Elvira García y García - Chiclayo - Perú [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.usmp.edu.pe/handle/usmp/5958>
- Wu, Z.-h., Ye, P.-s., Barosh, P. J., & Wu, Z.-h. (2011). The October 6, 2008 Mw 6.3 magnitude Damxung earthquake, Yadong-Gulu rift, Tibet, and implications for present-day crustal deformation within Tibet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40(4), 943-957. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2010.05.003>
- Zhou, J., Li, S., Nie, G., Fan, X., Deng, Y., & Xia, C. (2020). Research on seismic vulnerability of buildings and seismic disaster risk: A case study in Yancheng, China. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 45. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101477>
- ZORA-MEJIA, F. N., & ACEVEDO-JARAMILLO, A. B. (2019). Índice de vulnerabilidad sísmica de escuelas del Área Metropolitana de Medellín, Colombia. *Revista EIA*, 16(32), 195-207. doi:<https://doi.org/10.24050/reia.v16i32.1035>