

# Comportamiento sismo resistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral

*Earthquake resistant behavior in buildings with the implementation of the metal structural system of rigid perimeter grid*

**Natalie Huerta de la Cruz, Eduardo Mayhuire Zuñiga, Esther Vargas Chang**  
Facultad de Ingeniería Civil Universidad Ricardo Palma.

RECIBIDO: 20 de enero de 2023

ACEPTADO: 18 de mayo de 2023

## RESUMEN

La investigación está enfocada en el estudio del comportamiento sismorresistente de dos sistemas estructurales: el sistema metálico de rejilla rígida perimetral y sistemas convencionales existentes en nuestro entorno, específicamente en terrenos ubicados en zonas sísmicas "4" tales como Lima Metropolitana. La delimitación territorial es al mayor riesgo sísmico al que se someten las edificaciones en comparación a otras regiones donde no se han registrado movimientos telúricos de gran importancia. De este modo, al simular las edificaciones en los peores escenarios de impacto estructural, se obtendrán resultados mucho más eficientes y realistas en lo que respecta a su comportamiento estructural en la realidad. Las estructuras con el sistema metálico de rejilla rígida se analizaron de acuerdo con el número de pisos y al ángulo de inclinación de cada rejilla, asimismo, en base a las especificaciones y requerimientos técnicos brindados por la Norma Técnica Peruana E.030: Diseño Sismorresistente, se procedió a modelar cada estructura haciendo uso de un software ingenieril y de este modo a través de la obtención de resultados poder cuantificar el comportamiento sísmico de las edificaciones.

**Palabras clave:** análisis sísmico, sistema estructural Diagrid, análisis dinámico, comportamiento sísmico.

## Cómo citar

N. Huerta de la Cruz, E. Mayhuire Zuñiga, y E. Vargas Chang, «Comportamiento sismo resistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral», *Perfiles\_Ingeniería*, vol. 19, n.º 19, pp. 55–66, jun. 2023.

## ABSTRACT

The research is focused on the study of the seismic behavior of two structural systems: the metallic system of rigid perimeter grid and existing conventional systems in our environment, specifically in land located in seismic zones "4" such as Metropolitan Lima. The territorial delimitation is the greater seismic risk to which the buildings are subjected in comparison to other regions where no telluric movements of great importance have been registered. By simulating the buildings in the worst scenarios of structural impact, we will be able to get more efficient and realistic results in relation to their real structural behavior. The rigid grid steel system structures were analyzed according to the number of storeys and the inclination angle of each grid, likewise, based on the technical specifications and requirements provided by the "Norma Técnica Peruana E.30: Diseño Sismorresistente", we proceed to model each structure using an engineering software and in this way, through the obtention of the results, we will be able to quantify the seismic behavior of the buildings. Furthermore, it can be verified that opting to use the steel structural system does not imply exorbitant overhead charges in comparison to any conventional system.

**Keywords:** seismic analysis, Diagrid structural system, dynamic analysis, seismic behavior.

Este artículo está publicado bajo la Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional. (CC-BY 4.0)



## I. INTRODUCCIÓN

La ingeniería sísmica ha permitido conocer el comportamiento de las estructuras ante los sismos, facilitando a los profesionales de esta materia diseñar sistemas antisísmicos más efectivos tales como el Diagrid o rejilla rígida perimetral. Esta ciencia integra diversos conocimientos estructurales y sismológicos para lograr un diseño sismorresistente. El sistema estructural Diagrid fusiona dos subsistemas existentes que permiten una efectiva disipación de energía a través de la correcta cohesión de sus principales elementos estructurales antisísmicos.

En los últimos años se muestra un aumento de la población, lo cual implica una mayor demanda en las obras de edificios de gran altura. Este incremento vertical de las construcciones provoca que existan más grandes indagaciones relacionadas con las respuestas sísmicas que logren tener los inmuebles frente a cualquier acontecimiento telúrico, a fin de defender y de asegurar la estabilidad de los individuos que las habiten.

Por tal motivo, se presenta la siguiente investigación, mediante procedimientos analíticos y modelamiento numérico apoyados de la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente y de un software ingenieril, se busca cuantificar la respuesta dinámica de una estructura diseñada con sistema estructural Diagrid, a fin de evaluar la eficiencia de este sistema de disipación energética frente a algún evento sísmico.

Para lo cual, se realiza un análisis dinámico del edificio con sistema estructural Diagrid obteniendo su respuesta sísmica en cuanto a derivas, desplazamientos, esfuerzos torsionales y fuerzas cortantes, a fin de cuantificar la mejora del comportamiento estructural en comparación de los sistemas estructurales convencionales. Con ello se generan las conclusiones correspondientes, las cuales responden a los objetivos e hipótesis, y se presentan recomendaciones que se deben tener en cuenta para futuras investigaciones.

## II. OBJETIVOS

### **Objetivo General:**

Determinar de qué manera el sistema metálico de rejilla rígida perimetral influye en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones.

### **Objetivos específicos:**

Determinar la influencia del número de pisos de una edificación con sistema estructural metálico de rejilla rígida en su comportamiento sismorresistente.

Determinar de qué manera el grado de inclinación de las rejillas en el sistema estructural metálico de rejilla rígida influye en su comportamiento sismorresistente.

### III. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo descriptivo con enfoque cuantitativo, debido a que el estudio se enfoca en medir las variables en un sistema numérico, analizando estas medidas usando una variedad de modelos estadísticos, reportando relaciones y asociaciones entre estas variables.

Para el procesamiento de datos, se hace uso del programa Excel, para determinar los factores y parámetros de mayor incidencia en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones con sistema estructural metálico de rejilla rígida perimetral. Finalmente, se realizan cuadros comparativos entre los indicadores y dimensiones de cada variable.

### IV. RESULTADOS

#### 4.1 Presentación de Resultados

##### 4.1.1. Primer Modelamiento por Sukrawa M., Pringanna, G. y Tryatra, P. (2019)

El primer modelamiento comprende de una edificación de 10 pisos analizado con tres diferentes sistemas estructurales: Diagrid, de Pórticos Convencionales y de Arriostres Metálicos. De acuerdo con ello, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 1.

**Tabla 1**  
**Relación de fuerzas internas relativa al Sistema Diagrid.**

Story	Bending Moments				Shear Forces		Axial Forces	
	MF		BF		MF	BF	MF	BF
	Beam	Core Col.	Beam	Core Col.	Beam	Beam	Core Col.	Core Col.
2	6,93	17,42	0,58	3,08	4,05	0,56	0,86	1,24
3	3,41	6,8	0,63	2,61	2,55	0,58	0,84	1,18
4	3,49	4,93	0,66	3,08	2,52	0,57	0,83	1,14
5	2,82	4,44	0,66	2,51	2,25	0,59	0,83	1,12
6	2,74	6,35	0,66	3,49	2,19	0,6	0,82	1,09
7	2,6	4,63	0,67	3,43	2,14	0,61	0,82	1,06
8	2,45	3,73	0,64	3,25	2,04	0,61	0,82	1,02
9	2,22	6,33	0,58	3,6	1,96	0,62	0,82	0,92
10	2,01	4,53	0,59	3,15	1,83	0,62	0,83	0,79
Roof	1,76	4,52	0,65	3,99	1,85	0,66	0,94	0,77

Fuente: De Sukrawa M, Pringanna, G., Tryatra, P., 2019.

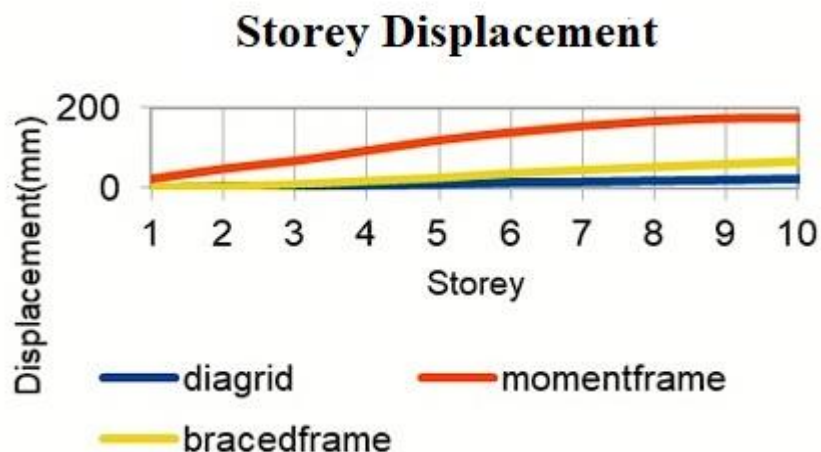
Asimismo, se muestra en la Tabla 2 los desplazamientos por piso de la edificación analizada.

**Tabla 2**  
**Desplazamiento por piso.**

Story	Diagrid	Moment Frame	Braced Frame
	Earthquake	Earthquake	Earthquake
storey 0	0	0	0
storey 1	2	25	2
storey 2	5	50	5
storey 3	7	70	10
storey 4	9	95	19
storey 5	11	121	27
storey 6	16	140	39
storey 7	17	156	47
storey 8	20	168	55
storey 9	22	175	62
storey 10	25	176	69

Fuente: De Sukrawa M, Pringanna, G., Tryatra, P., 2019.

**Figura 1:**  
**Desplazamientos laterales causados por las fuerzas horizontales de sismo por cada sistema estudiado.**



Nota: De Sukrawa, M., Pringanna, G., Diva, P. (2019).

Los resultados evidencian un superior comportamiento sismorresistente por parte del sistema estructural Diagrid. Los desplazamientos en el último piso demuestran de manera notable la gran capacidad de este sistema innovador para manejar y soportar las diferentes fuerzas aplicadas sobre la edificación, como se muestra en la Figura 1.

#### 4.1.2. Segundo Modelamiento por Rudrappa, P., Maheshwarappa, S. (2018)

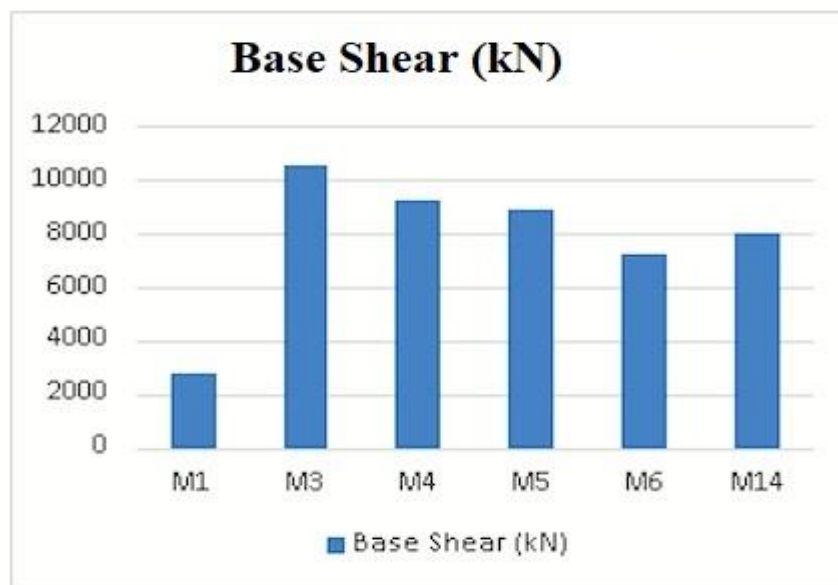
El segundo modelamiento consta de una edificación de 12 pisos, la cual será analizada con dos principales sistemas estructurales: Diagrid y de pórticos. A su vez, el sistema estructural Diagrid se analiza de acuerdo con el ángulo de inclinación de las rejillas componentes, el cual varía entre  $40^\circ$  a  $80^\circ$ . Esto quiere decir que hay un análisis sismorresistente por cada ángulo de inclinación establecido en las investigaciones. De esta manera, se obtienen los resultados de la Tabla 3 y Figura 2.

**Tabla 3:**  
**Fuerza Cortante Basal por cada modelo estructural planteado.**

Base Shear (kN)			
Model	Type of Structure	Diagrid Angle	Base Shear (kN)
M1	Conventional (Frame B.)	-	2734,94
M3	Diagrid	$41,18^\circ$	10526,76
M4	Diagrid	$52,69^\circ$	9270,88
M5	Diagrid	$60,25^\circ$	8921,62
M6	Diagrid	$69,14^\circ$	7190,55
M14	Diagrid	$74,05^\circ$	8042,44

Fuente: De Rudrappa, P., Maheshwarappa, S., 2018.

**Figura 2:**  
**Fuerza Cortante Basal por modelo estructural planteado.**



Nota: De Rudrappa, P., Maheshwarappa (2018)

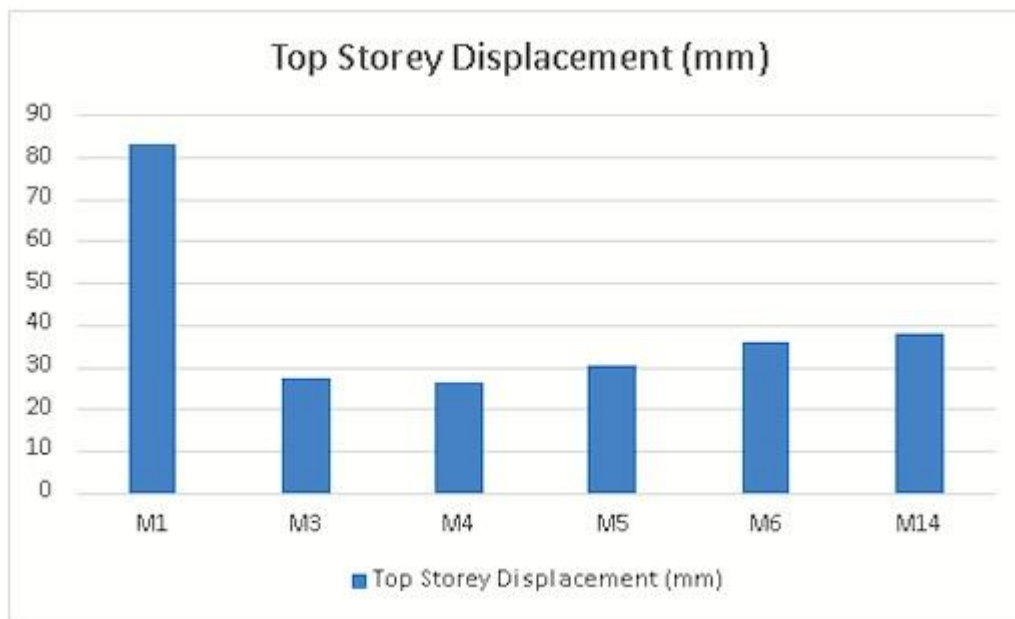
Natalia Huerta de la Cruz, Eduardo Mayhuire, Esther Vargas Chang

**Tabla 4:**  
**Desplazamiento del último piso por cada modelo estructural planteado.**

Top Storey Displacement (mm)			
Model	Type of Structure	Diagrid Angle	Top Storey Displacement (mm)
M1	Conventional (Frame B.)	-	83,15
M3	Diagrid	41,18°	27,09
M4	Diagrid	52,69°	26,3
M5	Diagrid	60,25°	30,06
M6	Diagrid	69,14°	35,85
M14	Diagrid	74,05°	37,72

Fuente: Rudrappa, P., Maheshwarappa, S., 2018.

**Figura 3:**  
**Desplazamiento del último piso por cada modelo estructural planteado.**



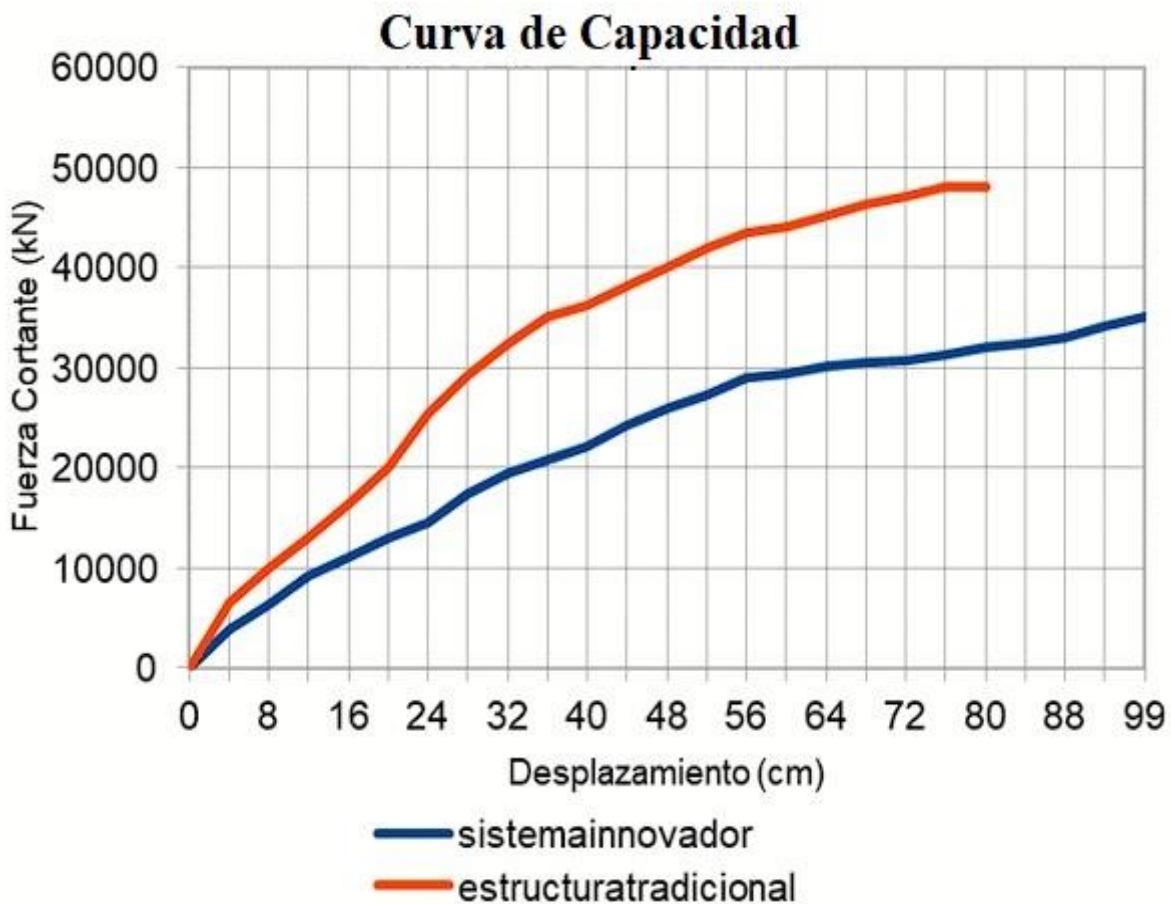
Nota: De Rudrappa, P., Maheshwarappa (2018)

La Tabla 4 y Figura 3 demuestran que el comportamiento sismorresistente del sistema estructural convencional de pórticos es inferior o ineficaz frente a la respuesta sísmica de los sistemas estructurales Diagrid. Esto se evidencia principalmente en los desplazamientos máximos por cada sistema estructural propuesto.

#### 4.1.3. Tercer Modelamiento por Quiroz, A., Terán, A. y Serrano, M. (2017)

El tercer modelamiento propuesto, trata de una edificación de 25 pisos, que es analizada con la aplicación del sistema estructural innovador Diagrid y el sistema tradicional de pórticos. Cabe resaltar que las investigaciones establecen un ángulo de inclinación de  $70^\circ$  a las rejillas perimetrales que componen el sistema estructural Diagrid.

**Figura 4:**  
**Curva de capacidad del sistema innovador Diagrid y sistema estructural tradicional.**



Nota: Quiroz, A., Terán, A. y Serrano, M. (2017)

La Figura 4 constata la eficiente capacidad estructural del sistema innovador Diagrid frente al sistema tradicional de pórticos en cuanto a ductilidad, debido a que el mecanismo de disipación de energía del sistema Diagrid le permite adoptar soportar mayores desplazamientos relativos sin que la edificación padezca de daños estructurales considerables en sus elementos.



**4.1.4. Cuarto Modelamiento por Quispe, F. (2021)**

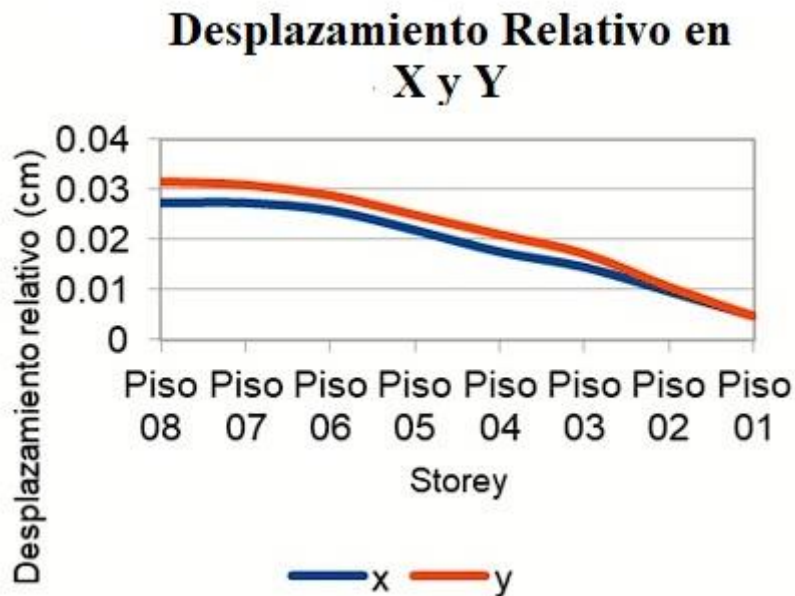
El cuarto modelamiento consta de una edificación de 8 pisos con la aplicación del sistema estructural de rejilla rígida perimetral o Diagrid. En base a ello, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 5 y Figura 5 en cuanto a desplazamientos relativos por cada piso en dos principales direcciones de análisis.

**Tabla 5:**  
*Desplazamiento relativo de cada piso en modelo estructural Diagrid.*

Story	UX (cm)	UY (cm)
Piso 08	0,0273	0,0314
Piso 07	0,0273	0,0308
Piso 06	0,0258	0,0287
Piso 05	0,0219	0,0248
Piso 04	0,0176	0,0209
Piso 03	0,0146	0,0171
Piso 02	0,0098	0,0105
Piso 01	0,0049	0,0047

Fuente: De Quispe, F., 2021.

**Figura 5:**  
**Desplazamiento relativo de cada piso en modelo estructural Diagrid.**



Nota: Quispe,F. (2021)



#### 4.1.5. Quinto Modelamiento por Núñez, J. (2018)

El último modelamiento trata de una edificación de 6 pisos, la cual es analizada con la aplicación de dos principales sistemas estructurales: De pórticos y

Diagrid, este último a su vez se examina con dos variaciones en cuanto a las características propias de las rejillas perimetrales componentes del sistema; resultados que se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 6:**  
**Desplazamiento por piso de cada modelo estructural planteado.**

Nivel	Desplazamiento en X (cm)		
	Convencional	Diagrid Tipo A	Diagrid Tipo B
0	0	0	0
1	0,8	0,15	0,1
2	2,1	1,1	1,7
3	3,99	2,02	2,53
4	5,96	2,5	3
5	7,8	3,01	3,95
6	9,75	3,94	4,5

Fuente: Núñez, J., 2018

**Figura 6:**  
**Desplazamiento por piso de cada modelo estructural planteado.**



Nota: Núñez, J. (2018)

En la Figura 6 constata de manera notable, la superioridad del sistema estructural Diagrid frente al sistema convencional de pórticos en cuanto al comportamiento sismorresistente, esto debido a la diferencia apreciable entre los desplazamientos máximos en cada sistema producidos por la acción sísmica aplicada en la edificación.

#### 4.2. Análisis de Resultados

**Tabla 7:**  
**Desplazamientos máximos en cada modelamiento con los diferentes sistemas estructurales planteados.**

Modeling	Structural System	Top Storey Displacement (mm)
First modeling	Diagrid	25
	Moment Frame	176
	Braced Frame	69
Second Modeling	M1 Conventional	83,15
	M3 Diagrid	27,09
	M4 Diagrid	26,3
	M5 Diagrid	30,06
	M6 Diagrid	35,85
	M14 Diagrid	37,72
Fifth Modeling	Conventional	97,5
	Diagrid Type A	39,4
	Diagrid Type B	45

Fuente: Elaboración Propia.

Los resultados constatan que la aplicación del sistema estructural Diagrid supera a los otros sistemas estructurales planteados en cuanto al comportamiento sismorresistente, esto se evidencia principalmente en los desplazamientos máximos obtenidos en cada edificación analizada, como se aprecia en la Tabla 9. Por lo tanto, el sistema metálico de rejilla rígida perimetral favorece el comportamiento sismorresistente de edificaciones.

**Tabla 8:**  
**Desplazamientos del último piso de edificaciones con sistema estructural de rejilla rígida perimetral.**

	Modelo Diagrid	
	Primera Edificación	Segunda Edificación
Autores	Sukrawa, M., Pringanna, G., Tryatra, P.	Rudrappa, P., Maheshwarappa, S.
Desplazamiento Último Piso (mm)	25	35,85
Número de Pisos	10	12
Ángulo de Inclinación (°)	65	69,14

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 9:**  
**Incremento de desplazamiento por piso.**

Modelo Diagrid	
Incremento de Desplazamiento por Piso (mm)	5,43
Incremento de Desplazamiento por Piso (%)	21,70%

Fuente: Elaboración Propia.

La Tabla 10 y Tabla 11 se comprueba que el número de pisos en una edificación con sistema estructural metálico de rejilla rígida sí influye en su comportamiento sismorresistente. Se ha constatado que mientras más pisos tenga una edificación, mayor será el desplazamiento lateral en el último piso, este incrementará aproximadamente en un 20% por cada piso en aumento.

**Tabla 10:**  
**Incidencia del ángulo de inclinación en el incremento de desplazamiento por piso.**

Modelo Diagrid	
Incremento de Desplazamiento por Piso por Ángulo de Inclinación (mm)	2,62
Incremento de Desplazamiento por Piso por Ángulo de Inclinación (%)	10,48%

Fuente: Elaboración Propia.

De los resultados mostrados en la Tablas 10 y Tabla 12, se concluye que en efecto el grado de inclinación de las rejillas en el sistema estructural metálico de rejilla rígida de una edificación influye en su comportamiento sismorresistente. Los desplazamientos laterales máximos en una edificación con sistema estructural metálico de rejilla rígida incrementan aproximadamente en un 10% por cada grado de inclinación que se incremente en la rejilla.

## Conclusiones y Recomendaciones

- El sistema metálico de rejilla rígida influye en el comportamiento sismorresistente de las edificaciones, esto se evidencia gracias al aporte que brinda cada elemento estructural componente. Asimismo, de acuerdo con los resultados de otras investigaciones, se puede constatar que el propio sistema le brinda mayor ductilidad a todo el edificio en operación, esto inhibe mayores daños estructurales en todo el edificio.
- El número de pisos en la edificación con sistema estructural Diagrid, influye en el comportamiento sismorresistente de la misma, los desplazamientos totales en

Comportamiento sismo resistente en edificaciones con la implementación del sistema estructural metálico de rejilla rígida perimental

el último piso se incrementan en un alrededor del 20% por cada piso en aumento.

- El grado de inclinación de las rejillas en el sistema estructural metálico de rejilla rígida de una edificación influye en su comportamiento sismorresistente, los desplazamientos totales en el último piso se incrementan en un alrededor del 10% por cada grado de inclinación en aumento.
- Si el grado de inclinación de las rejillas en el sistema Diagrid aumenta en gran medida, se podría comprometer de manera perjudicial el comportamiento sismorresistente del edificio, en el sentido de que habrá mayores desplazamientos laterales en cada piso. El grado de inclinación de las rejillas está relacionado con la altura de la edificación, mientras más alto el edificio, mayor será el grado de inclinación de las rejillas.
- Es recomendable trabajar con el mayor número de investigaciones relacionadas al producto final, debido a que existen diversos factores a tomar en cuenta, y cada investigador podría tener una perspectiva diferente en cuanto al cálculo y obtención de resultados. En temas como ingeniería estructural e ingeniería sismorresistente, cada parámetro o especificación a trabajar, podría influir de manera importante los resultados de la investigación. Por ello siempre se recomienda revisar todas las especificaciones de la metodología en cada investigación a usar en una tesis descriptiva, porque los resultados finales de cada documento a reunir podrían no estar relacionados en su totalidad.
- Se recomienda promover e incentivar el estudio de nuevos sistemas estructurales capaces de brindar a la edificación un comportamiento sismorresistente eficiente, sistemas cuyo mecanismo de disipación de energía sea el más competente, en cuanto a desplazamientos relativos máximos y daños estructurales en la edificación. Una de las funciones principales de cualquier edificación es brindar confianza y seguridad a cualquier persona o ciudadano que la ocupe, es por eso por lo que se destaca la importancia de la continua búsqueda de mejores sistemas estructurales, así como la exigencia de los ingenieros para brindar un producto que beneficie completamente a la población.

## Referencias Bibliográficas

- [1] J. Puma, “Atenuación sonora por barreras acústicas a base de residuos orgánicos para reducir el nivel de ruido en una Avenida principal, Puente Piedra, 2018”, tesis de pregrado, Universidad César Vallejo, 2018 [Enlínea]. Disponible en: <https://bit.ly/3pF0sqB> [Accedido:30-dic-2021]

- [2] Resumen UNE en 14388 “Dispositivos de reducción de ruido de tráfico de carreteras. Especificaciones”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3FGHaXf> [Accedido:30-dic-2021]
- [3] Resumen UNE en 1793-1 “Características relativas a la absorción acústica”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/32QnVfz> [Accedido:30-dic-2021]
- [4] Resumen UNE en 1793-2 “Características intrínsecas relativas al aislamiento al ruido aéreo”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/32Flood> [Accedido:30-dic-2021]
- [5] Resumen UNE en 1794-1 “Comportamiento mecánico y requisitos de estabilidad”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3JmXK0C> [Accedido:30-dic-2021]
- [6] Resumen UNE en 1794-2 “Requisitos en relación con la seguridad general y el medioambiente”, Asebal [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3qxSEpT> [Accedido:30-dic-2021]
- [7] R. Quirós, “Estudio de pantallas acústicas elaboradas a partir de green composites”, tesis de maestría, Universidad Politécnica de Valencia, 2013 [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3sLqQkG> [Accedido:30-dic-2021]
- [8] “Pantalla Acústica Metálica”, Insametal, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://insametal.es/pantalla-acustica-metalica/> [Accedido:30-dic-2021]
- [9] M. Serrano, L. Abad, R. Magro, y T. García, “Estudio de la tipología de las pantallas acústicas. Normativa y estado del arte”, Tecnología y desarrollo, vol. 7, pp. 1-44, 2009 [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3ezCh6v> [Accedido:30-dic-2021]
- [10] L. Romero, D. Bravo, y C. Tufiño, “Contaminación sonora en el paradero Benavides en la ciudad de Lima y la afectación en poblaciones aledañas (horario diurno)”, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/33YQgAG> [Accedido:30-dic-2021]

### **Natalie Huerta de la Cruz**

Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma

<https://orcid.org/0009-0006-3556-5687>

Autor correspondiente: [201810483@urp.edu.pe](mailto:201810483@urp.edu.pe)

### **Eduardo Mayhuire Zuñiga**

Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma

<https://orcid.org/0009-0007-0196-0643>

[201810478@urp.edu.pe](mailto:201810478@urp.edu.pe)

### **Esther Vargas Chang**

Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Ricardo Palma

<https://orcid.org/0000-0003-3500-2527>

[esther.vargas@urp.edu.pe](mailto:esther.vargas@urp.edu.pe)