

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**SISTEMAS DE REFORZAMIENTO PARA MEJORAR LA  
RIGIDEZ DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO  
DE BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**ARIAN JOEL GOMEZ APAESTEGUI**

**ASESOR**

**HÉCTOR AUGUSTO GAMARRA UCEDA**

<https://orcid.org/0000-0002-3653-1394>

**Chiclayo, 2019**

# Índice

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	3
<b>2.1. Antecedentes</b> .....	3
<b>Antecedente 01</b> .....	3
<b>Antecedente 02</b> .....	3
<b>Antecedente 03</b> .....	3
<b>Antecedente 04</b> .....	3
<b>Antecedente 05</b> .....	4
<b>Antecedente 06</b> .....	4
<b>Antecedente 07</b> .....	4
<b>2.2. Bases teóricas-científicas</b> .....	4
2.2.1. Estructura .....	4
2.2.2. Diseño estructural de una edificación .....	5
2.2.3. Sistemas Estructurales.....	5
2.2.4. Rigidez de la estructura.....	6
2.2.5. Deformación horizontal, deriva .....	6
2.2.6. Sistemas de rigidización.....	7
2.2.7. Rigidización con diagonales concéntricas.....	7
2.2.8. Rigidización con diagonales excéntricas.....	7
2.2.9. Muros de corte o Shear Walls.....	8
2.2.10. Disipación de energía y tipo de disipadores .....	9
2.2.10.1. Tipos de disipadores de energía y tipos de arreglos .....	10
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	11
<b>3.1. Tipo de investigación y Diseño de Contrastación de hipótesis</b> .....	11
<b>3.2. Hipótesis</b> .....	11
<b>3.3. Variables - Operacionalización</b> .....	11
<b>3.4. Población, Muestra y Muestreo</b> .....	11
3.4.1. Población.....	11
3.4.2. Muestra.....	11
<b>3.5. Métodos, Técnicas e Instrumentos de recolección de datos</b> .....	12
3.5.1. Técnicas.....	12
3.5.2. Instrumento.....	12

<b>3.6. Procesamiento para análisis de datos</b> .....	12
3.6.1. Procedimientos .....	12
<b>IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN</b> .....	15
<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	17
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS</b> .....	18

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Tipos de diagonales excéntricas.....	8
<b>Figura 2</b> Comportamiento de un muro de corte como viga en voladizo .....	9
<b>Figura 3</b> Curva de capacidad de la estructura tradicional y del sistema innovador .....	15
<b>Figura 4</b> Comparación de los índices de deriva de entrepiso a diferentes valores de desplazamientos de azotea .....	16
<b>Figura 5</b> Rotaciones plásticas observadas en el edificio tradicional.....	16

## **RESUMEN**

El presente trabajo de investigación no experimental tiene como objetivo describir de que manera se puede reforzar una estructura para que esta pueda aumentar su rigidez y ante un evento sísmico no pueda sufrir un colapso debido a los desplazamientos laterales inducidos por las fuerzas sísmicas, como bien se sabe en la actualidad existen muchas edificaciones las cuales han sido construidas sin los reglamentos normativos actuales y no están diseñadas bajo el criterio de a mayor desplazamiento mayor es el daño de la estructura. Es por ello, que mediante el reforzamiento estructural se logra obtener ese nivel de seguridad que nos da un diseño sismorresistente.

**PALABRAS CLAVES:** Rigidez, Reforzamiento, Diseño Sismorresistente

## **ABSTRACT**

The purpose of this non-experimental research paper is to describe how a structure can be modified so that it can increase its rigidity and in the event of a seismic event it cannot collapse due to lateral displacements induced by seismic forces, as we know At present there are many buildings which have been built without current regulatory regulations and are not limited under the criterion of greater displacement, the greater the damage to the structure. That is why, through structural reinforcement, this level of safety is achieved, which gives us a seismic-resistant design.

**KEYWORDS:** Stiffness, Reinforcement, Seismic Resistan Design

## I. INTRODUCCIÓN

Cuando un país se encuentra ubicado en una zona sísmica, los requerimientos para el diseño de edificaciones son más importantes, esto se debe a la exigencia que existe de mantener la integridad tanto de las personas como de la estructura misma. Para ello, existen reglamentos y normas para realizar un diseño sismorresistente. Por lo general en países desarrollados que se encuentran en zonas sísmicas, diseñar edificios esbeltos no es un problema, puesto que, estos cuentan con sistema de disipación de energía, pero en algunos países de Sudamérica, como es el caso de nuestro país implementar esta tecnología es costoso.

El problema recae sobre las estructuras que han sido diseñadas con normas de diseño sismorresistente antiguas, como lo son los edificios de concreto armado que generalmente estos son construidos con sistemas aporticados (conjunto de vigas y columnas). Pero como lo señala McCormac 2011, al contar con edificios altos es de mucha importancia proveer de rigidez a la estructura para que pueda soportar las fuerzas laterales actuantes por viento y sismo [1]. Cuando los edificios no son diseñados adecuadamente para resistir dichas fuerzas pueden obtenerse daños importantes a la estructura y una molestia a los ocupantes.

Tanto en la norma peruana de diseño sismorresistente como en otras extranjeras se hace referencia a un parámetro muy importante que es la rigidez estructural, esta está estrechamente relacionada con los desplazamientos laterales. Haciendo un énfasis en la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente esta nos designa una deriva máxima la cual es 0.007 [2]. Cabe señalar, que la norma ha cambiado en estos últimos años, debido a esto existe la necesidad de reforzar la estructuras de concreto armado de manera que aumente la rigidez de la estructura para así poder controlar dichos desplazamientos.

Debido a lo expuesto anteriormente, la interrogante es la siguiente: ¿De qué manera se puede reforzar una estructura de concreto armado para aumentar su rigidez y controlar sus desplazamientos laterales?

Al reforzar una estructura ya sea colocándole muros de corte, perfiles metálicos, encamisado de elementos estructurales de concreto armado, así como la adición de contravientos. Se consigue aumentar la rigidez de esta manera se controlará los

desplazamientos laterales, por ende, las derivas cumplirán con los requerimientos de la norma peruana.

El siguiente proyecto de investigación tiene como objetivo principal, describir los diversos sistemas de reforzamiento existente para poder aumentar la rigidez de un edificio de concreto armado. Además, se pretende comparar los distintos tipos de sistemas de reforzamiento. Explicar en que consiste cada uno de ellos y sugerir cuál de estos sistemas es el más apropiado.

Esta investigación se justifica desde tres puntos de vista: el social, el económico y el técnico. Desde la perspectiva social, puesto que, toda edificación debe mantener la integridad de sus ocupantes, no debe generar alguna molestia y menos la pérdida de vidas humanas. Como lo sucedido en el país de Chile en el año 2010, donde el terremoto generó pérdidas humanas.

Desde el punto de vista económico, si bien el reforzamiento generará un costo extra, las ventajas serán muchas al controlar los desplazamientos el edificio no sufriría daños importantes generando pérdidas mayores en reparaciones posteriores. Tal como es el caso del sismo del 2007 en Perú donde se vieron afectadas las regiones de Huancavelica, Ica y Lima tal como lo señala Bambarén y Alatrística 2009, donde el impacto del terremoto generó 139,1 millones de dólares en pérdidas, donde el 95% es en el sector salud y 5% a las pérdidas [3].

Por último, la justificación técnica está se basa en lo dispuesto por la norma E.030 Diseño sismorresistente donde nos especifica la deriva máxima para estructuras de concreto armado.

## **II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes**

#### **Antecedente 01**

Como lo señala Novita Ike et al 2019 en su artículo [4] ,Stiffness of reinforced concrete beams after retrofit with external steel reinforcement method, nos describe como varia la rigidez de las vigas después de colocar acero externo, además se usó especímenes de vigas con dimensiones de 15x15x100 cm y se le añadió refuerzo en la parte inferior y alrededor de las caras de la viga, como resultado obtuvo que la rigidez de la viga aumento en un 41.88% y 59.72% con el método usado después de la presencia de grietas.

#### **Antecedente 02**

Como lo indica Mr. Ankur y Mr. Shahayajali 2018, Las propiedades de un edificio son la rigidez lateral, la fuerza lateral y ductilidad. Donde la rigidez lateral está referida a la rigidez inicial del edificio, está se reduce cuando se incrementa el daño. La fuerza lateral está referida a la máxima resistencia que el edificio puede ofrecer durante la deformación. Nos señala tambien, que los muros son importantes en zonas altamente sísmicas debido a que durante un sismo las fuerzas cortantes de la estructura incrementan [5].

#### **Antecedente 03**

Según Quiroz et al, 2017 [6] demuestra que, con la incorporación de rejillas rígidas en la estructura, se puede notar que el desempeño sísmico mejora, cabe resaltar, que existen dos requerimientos fundamentales los cuales son la resistencia y la rigidez. Cuando hace la comparativa entre el sistema tradicional y esté, demuestra que el sistema tradicional presenta mayores daños estructurales que el sistema innovador de rejillas rígidas.

#### **Antecedente 04**

Según Terán 2017, a pesar de que las estructuras hayan sido diseñadas bajo los requisitos del reglamento, existe un porcentaje de estructuras las cuales podrían sufrir daños relevantes después de un sismo intenso. Se esta buscando que ante un sismo no ocurran fallas estructurales de gran magnitud y peor aun que existan perdidas humanas. Aunque pueden existir daños de menor magnitud que requieran reparaciones. Se suele cuantificar mediante un grafico donde se detalla que si existe una mayor deformación lateral de la estructura mayor será el nivel de daño. Además, se detalla una comparación entre una estructura con sistema estructural tradicional y una con sistemas tolerantes a daño dejando como resultado, que la estructura con sistemas tolerantes a daños pesa menos que la estructura tradicional con contravientos de acero y marcos compuesto. El tipo de sistema

tolerante que se usa es un contraviento restringido contra pandeo, también señala, que este sistema se ha venido estudiando a principios del siglo XXI en universidades mexicanas [7].

#### **Antecedente 05**

Como lo señala Lovera 2016, el diseño de las columnas de una edificación en zonas sísmicas está gobernado por un requisito principal que es la rigidez, más no la resistencia. Además, concluye que para mantener la deriva de entre piso sin la presencia de muros de corte se requieren secciones mayores de las columnas. A su vez, nos dice que usar aceros de alta resistencia para reforzar la estructura disminuye la cuantía de refuerzo de los elementos estructurales [8].

#### **Antecedente 06**

Según Aguilar, et al 2016 nos indica que si una estructura ha sufrido daños y no fue reparada tal vez porque no se detectaron las fisuras producto de las fuerzas del sismo, ante otro evento similar esta podría colapsar, tal como sucedió con el edificio en estudio. Donde se demostró que la estructura había perdido rigidez y resistencia después del primer evento sísmico. Además, plantea la alternativa de que si la estructura no presenta daño en los elementos estructurales sino un daño moderado o extensivo en la mampostería; se podría reforzar con disipadores de energía [9].

#### **Antecedente 07**

Como lo indica Moncayo, et al 2016 después de la ocurrencia de un evento sísmico o inclusive si la estructura ha superado su vida útil, se requiere una intervención que permita restaurar la capacidad de servicio de está. Cuyo objetivo principal es brindar la seguridad para que la estructura pueda soportar cualquier demanda de fuerzas excepcionales. También señala las ventajas del uso de fibra de carbono para reforzar una columna, puesto que restaura la capacidad para resistir esfuerzos de tensión cuando el acero ha dejado de efectuar su función además de aumentar el confinamiento [10].

## **2.2. Bases teóricas-científicas**

### **2.2.1. Estructura**

Como lo señala González 2002, se puede decir que una estructura es una agrupación de partes que se encuentran combinadas de tal manera que puedan cumplir cierta función dada. Como lo puede ser salvar un claro en el caso de los puentes, contener un espacio como es el caso de los distintos edificios o contener el empuje ejercido por el suelo en muros de contención. Cabe resaltar que la estructura debe mantener ciertos parámetros de

seguridad para que pueda tener un correcto funcionamiento en condiciones normales y condiciones extraordinarias [11].

### 2.2.2. Diseño estructural de una edificación

Este diseño se puede dividir en tres partes distintas como lo son: la estructuración, el dimensionamiento de ciertos elementos y el análisis estructural. La geometría así como la colocación correcta de los distintos tipos de elementos estructurales tiene que ver con la estructuración, respetado el diseño impuesto por el arquitecto así como también la geometría de la obra. Cabe resaltar que la estructuración es la etapa más subjetiva de diseño puesto que recae sobre los conocimientos adquiridos por el ingeniero y su buen criterio. El dimensionamiento de los elementos estructurales es saber que espesores, peraltes van a ser necesarios para soportar los esfuerzos actuantes, así también como la rigidez que estos van a aportar a la estructura [11].

### 2.2.3. Sistemas Estructurales

Nuestra norma de diseño sismorresistente la E.030, nos indica los diferentes tipos de sistemas estructurales permitidos en el país, estos se ven clasificados en acero, concreto armado, albañilería armada o confinada y madera.

Dentro de los sistemas estructurales con acero podemos ver que son los siguientes:

- Pórticos especiales resistentes a momentos
- Pórticos intermedios resistente a momentos
- Pórticos ordinarios resistente a momentos
- Pórticos ordinarios concéntricamente arriostrados.
- Pórticos excéntricamente arriostrados

Mientras que para sistemas de concreto armado, la norma hace una aclaración todos estos serán diseñados bajo los criterios que son dispuestos en la norma técnica E.060 Concreto Armado. Se tienen los siguientes sistemas de concreto armado:

- Pórticos de concreto armado
- Sistema dual, es el conjunto de marcos y muros
- Muros estructurales, presencia de solo muros de corte en la estructuración
- Muros de ductilidad limitada.

Además, la norma nos señala una jerarquía en el tipo de edificación dependiendo de su importancia. La cual esta dividida en las categorías A, B y C donde:

La categoría A: A1 está compuesta por todos los establecimientos de salud tanto públicos como privados, la norma es muy exigente y señala que se debe contar con aislamiento sísmico en la base de estas edificaciones cuando se encuentren en las zonas más críticas ante sismo que son las zonas 4 y 3.

A2, Esta subcategoría abarca todas las edificaciones esenciales las cuales se definen como las edificaciones que ante un evento sísmico su actividad no se puede ver comprometida o interrumpida, tal caso es el de los aeropuertos, centros de comunicación, edificaciones militares, locales municipales, plantas eléctricas, etc. Se podría decir que son todas aquellas edificaciones que pueden servir de refugio ante un desastre natural [2].

La categoría B: engloba a todas las edificaciones importantes las cuales se podrían definir como aquellas edificaciones que albergan una gran cantidad de personas, ejemplos tales como: los cines, teatros, centros comerciales, terminales de pasajero, bibliotecas, museos, etc [2].

La categoría C: Dentro de este grupo, se encuentran todas las llamadas edificaciones comunes, viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, etc [2].

#### 2.2.4. Rigidez de la estructura

Se puede definir como la propiedad que presenta la estructura que tiende a restablecer el equilibrio después de que una acción lo ha alterado. La rigidez está originada en la energía elástica de los materiales por los cuales está conformada la edificación. Esta rigidez depende del módulo de elasticidad  $E$  y de la Inercia  $I$ , que se combinan mediante el producto de  $E.I$  dividido por una proporcionalidad de longitud  $L$  del elemento estructural a la consideración [12].

#### 2.2.5. Deformación horizontal, deriva

Un aspecto que condiciona la estructuración de la estructura es la deriva, que vendría a hacer la deformación piso a piso dividida por la altura entre pisos. Las normas nos contralan la deriva para que de esta manera nos aseguremos que los daños de los elementos se mantendrán en un rango tolerable. Además, se nos señala que la deformación máxima piso a piso en estado de cargas totales está en el rango de 1 y 1.5% de la altura entre pisos [12].

Cabe resaltar que, bajo estos criterios, la rigidez que presenta la estructura termina gobernando el diseño, en muchos casos se requiere la disposición de columnas y muros cuyas dimensiones sean las apropiadas en direcciones paralelas a los ejes. Lo que significa que sea de el caso que las cuantías de refuerzo en columnas muy pocas veces superen el 2% del área útil [12].

#### 2.2.6. Sistemas de rigidización

La rigidización de los sistemas estructurales se ha convertido en una necesidad, debido a que el efecto  $P-\Delta$  las cargas horizontales, producen grandes deformaciones lo cual conduce a una falla incontrolable. Esto se produce cuando los desplazamientos laterales se combinan con las cargas verticales piso a piso, van generando momentos adicionales debido a la excentricidad que presenta la carga, y estos momentos también generan más deformación y esto se genera de forma cíclica hasta el colapso de la estructura [12].

“Cuando las fuerzas horizontales alcanzan magnitudes elevadas, es necesario dar a la estructura una mayor rigidez horizontal, para esto se puede emplear el arriostramiento concéntrico, también conocido como atirantado o contraventeado” [12, p. 461].

Se informa que la rigidización mediante perfiles metálicos no deben llegar a los nudos, de esta manera se logra una mejor disipación de la energía. Dentro de la concepción de diagonalización concéntrica, se ha desarrollado una versión que emplea grandes perfiles ubicados sobre los planos de las fachadas, cuando estos elementos están unidos varios pisos con la misma diagonal se genera una gran rigidez, ciudades asiáticas y estadounidenses están poniendo en práctica este sistema [12].

#### 2.2.7. Rigidización con diagonales concéntricas

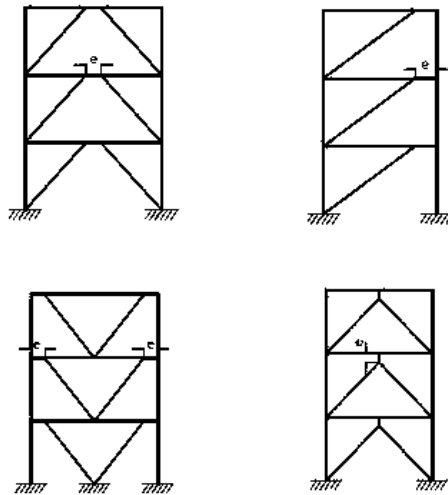
Los arriostramientos de forma concéntricos con diagonales que van desde nudo a nudo son muy usados por edificaciones industriales y convencionales. Esta forma de rigidización es segura y de bajo coste cuando se busca que la estructura opere en el estado elástico o se prevé una baja demanda de ductilidad. Un aspecto muy importante al diagonalizar es que se debe mantener la mínima excentricidad entre los centros de masa y rigidez para evitar la torsión [12].

#### 2.2.8. Rigidización con diagonales excéntricas

Este sistema reacciona mejor ante el efecto Bauschinger, lo cual permite tener estructuras fuertes con un buen desempeño ante deformaciones y una buena

ductilidad. Engelhard y Popov consideran que las estructuras metálicas con sistemas excéntricos bien diseñados, son parte de la mejor solución estructural porque combinan dos propiedades una la rigidez y la ductilidad del sistema resistente ante el momento. Estas diagonales generan que no se presenten pandeos locales prematuros [12, p. 464].

**Figura 1** Tipos de diagonales excéntricas



**Fuente:** Sarria Molina. Terremotos e infraestructuras

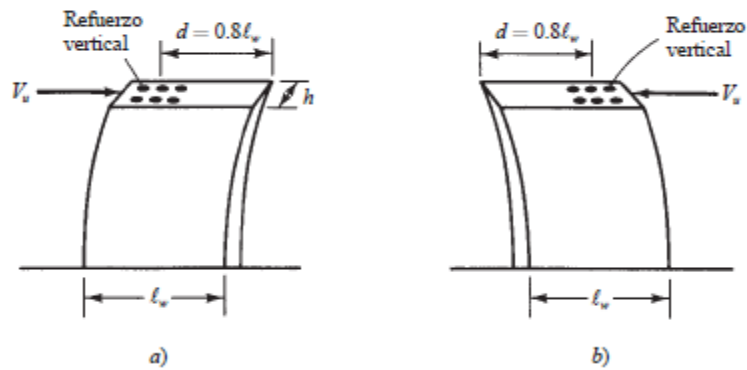
### 2.2.9. Muros de corte o Shear Walls

Son elementos estructurales necesarios en edificios altos que están expuestos a desplazamientos laterales, debido a que estos elementos son capaces de proveer gran rigidez a la estructura. La práctica usual es suponer que las fuerzas laterales actúan en los niveles de los pisos y al poseer losas en los pisos las cuales tienen mayor rigidez que los muros y columnas, cada piso se desplaza en su plano horizontal como un cuerpo rígido [1].

Los muros deben ser lo suficiente rígidos para que puedan controlar las deflexiones a valores que sean razonables. Es usual ver muros de cortante en edificios con losas de piso de placa plana. En la actualidad la combinación de muros de este tipo y losas es lo más común en la construcción de edificios altos [1].

El muro de corte actúa como una viga vertical en voladizo y al proporcionar el soporte lateral queda sometido a la flexión y fuerzas cortantes donde para tal muro la fuerza cortante máxima  $V_u$  y el momento de flexión máximo  $M_u$ , se calculan en la base de la estructura [1].

**Figura 2** Comportamiento de un muro de corte como viga en voladizo



**Fuente:** McCormac. *Diseño de concreto reforzado*

Cuando existen relaciones pequeñas de altura a longitud la fuerza cortante que actúa es más importante que el momento flector, es por ello, la importancia de reforzar los muros tanto vertical como horizontalmente [1].

#### 2.2.10. Disipación de energía y tipo de disipadores

Durante un evento sísmico una estructura se ve afectada por la energía que es transmitida por las ondas sísmicas, esta energía se ve transformada en energía elástica de movimiento y deformación y energía disipada. Cuando una estructura presenta dispositivos que le permitan disipar esta energía el desempeño estructural será mejor, el cual se ve relacionado en la ecuación de la conservación de la energía:

$$E_l = E_k + E_s + E_d + E_h$$

Donde:

El: Es la energía que ingresa a la estructura durante el evento sísmico.

Ek: Es la energía cinética

Es: Es la energía elástica no disipada o recuperable

Ed: Es la energía de amortiguamiento

Eh: Es la energía de deformación plástica

Se debe resaltar que una estructura que sea capaz de soportar un sismo debe contar con una ecuación de diseño. Cuando una estructura presenta solo marcos (pórticos) y se presenta un sismo, la acción de disipar energía a través de esta produce grandes daños

donde la reparación de estos suele ser muy costoso, además de requerir la evacuación del edificio.

El objetivo principal de los disipadores de energía tanto en construcciones nuevas como antiguas recaen en la disipación de la energía que es inducida por el evento sísmico, ayudando a que la estructura no se deforme demasiado. Esta idea de reforzar una estructura ya existente con estos dispositivos tiene como fin la resistencia de la estructura ante un sismo de gran magnitud de tal manera que la edificación pueda seguir con su funcionalidad sin generar daños.

#### 2.2.10.1. Tipos de disipadores de energía y tipos de arreglos

Existen distintos tipos de disipadores de energía tenemos:

- Dispositivos histeréticos
- Dispositivos viscoelásticos
- Dispositivos de fluido viscoso

Dependiendo el tipo de colocación de estos dispositivos va a depender la forma en la que estructura actúe ante un sismo, por lo general existen dos tipos de arreglos los del tipo CHEVRON y la disposición DIAGONAL.

Los arreglos tipo chevron van a absorber directamente la fuerza horizontal que es ejercida por el sismo, puesto que su colocación es paralela al plano. Mientras que los arreglos tipo diagonal, va a depender de la forma en que estén conectados con el nudo rígido.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo de investigación y Diseño de Contrastación de hipótesis

En el presente trabajo de investigación se ha utilizado el tipo de investigación no experimental, descriptiva. Esto se debe a que no se está alterando alguna muestra, sino más bien se están analizando diferentes bibliografías. Para poder obtener las conclusiones y recomendaciones se ha hecho una recolección de investigaciones previas realizadas por otros investigadores.

#### 3.2. Hipótesis

La incorporación de cualquier sistema que rigidice la estructura favorecerá en medida de que, controlando sus desplazamientos, se controlen los daños que se puedan producir ante un evento sísmico.

#### 3.3. Variables - Operacionalización

Para la operacionalización de variables, se tomó como variable dependiente la rigidez puesto que, está ligada con el reforzamiento, si se refuerza una estructura la rigidez aumenta.

VARIABLE		DIMENSIÓN	INDICADOR
TIPO	DESCRIPCIÓN		
DEPENDIENTE	RIGIDEZ	DERIVAS	DERIVAS(DISTORSIÓN)
		DEFORMACIONES	DESPLAZAMIENTOS LATERALES
INDEPENDIENTE	REFORZAMIENTO	SISTEMA	EFFECTIVIDAD
			COSTO

#### 3.4. Población, Muestra y Muestreo

##### 3.4.1. Población

La población del siguiente trabajo de investigación está compuesta por todos los edificios que han sido reforzados para mejorar su rigidez.

##### 3.4.2. Muestra

La muestra está delimitada por todos los ejemplos de reforzamiento que se indican en los antecedentes.

### **3.5.Métodos, Técnicas e Instrumentos de recolección de datos**

#### 3.5.1. Técnicas

- Revisión sistemática y análisis de documentos

#### 3.5.2. Instrumento

- Análisis bibliográfico, cuya fuente de información está dada por todos los libros, artículos, tesis, etc.

### **3.6.Procesamiento para análisis de datos**

Para poder realizar el siguiente trabajo de investigación se tuvo que obtener los datos analíticos realizados por los investigadores de las distintas referencias bibliográficas, en base a las mejoras que ofrecen los sistemas de reforzamiento en las estructuras. Después de haber recopilado la información, se analizará, se comparará y se llegará a ciertas conclusiones.

#### 3.6.1. Procedimientos

El procedimiento que se ha seguido para este trabajo de investigación ha tenido como espacio poder realizar una selección y recolección de información, cuyo objetivo es poder darle una base en la que se pueda sustentar nuestra investigación, referido a los, “SISTEMAS DE REFORZAMIENTO PARA MEJORAR LA RIGIDEZ DE UN EDIFICIO DE CONCRETO ARMADO”.

Cabe informar que la metodología que se está usando, tiene un inicio en el estudio de las pruebas obtenidas en base a todos los antecedentes, que serán revisados para en función a ellos poder obtener nuevos resultados. Mediante esta metodología se pretende dar respuesta a la interrogante del proyecto de investigación, ¿De qué manera se puede reforzar una estructura de concreto armado para aumentar su rigidez y controlar sus desplazamientos laterales?

El rango en lo que se refiere a tesis, artículos científicos que se está considerando es máximo 5 años; mientras que para libros se está optando por un rango de no más de 30 años de antigüedad.

La estrategia que se siguió para la búsqueda para poder conseguir la distinta información de investigaciones realizadas relacionadas con el proyecto de investigación que se está realizando, ha sido mediante la búsqueda de palabras claves como “reforzamiento de

estructuras”; “Increase of stiffness”; “sistemas de rigidización”, luego de haber seleccionado la información se procedió con la organización de esta. El método de recaudación de datos de las investigaciones que se consideraron ha sido resumido a través de una Tabla que contiene los siguientes datos tales como: fuente, país de origen, resumen de la investigación.

<b>Fuente</b>	<b>País</b>	<b>Resumen</b>
R. Aguilar, L. García, M. Zevallos y J. Palacios <i>"Análisis y Reforzamiento de una estructura afectada por el terremoto del 16 de abril del 2016"</i> RIEMAT, Vol I	Ecuador	Muestra un caso real donde se aplicó disipadores de energía TADAS después de que la estructura hubiera sufrido daños
N. Ike Triyuliani, S. Murni Dewi y L. Susanti <i>"Stiffness of Reinforced Concrete Beams after Retrofit with external Steel Reinforcement Method"</i> IRJET, vol VI	Indonesia	Se evalúa la adición de acero de refuerzo en el exterior de una viga para ver su aumento de rigidez
M. Ankur vaidya y M. Shahayajali Sayyed <i>"A Research on Comparing the Seismic Effect on Shear wall building and Without-Shear Wall Buildings"</i> IRJET, vol V	India	Hace una revisión donde compara el comportamiento de estructuras con la adición de muros de corte y una sin presencia de muros de corte
Quiroz Ramírez, A. Terán Gilmore y M. Serrano Medrano <i>"Ventajas sismorresistente y ambientales del sistema de rejillas rígidas Diagrid para edificios en zonas de alta sismicidad"</i> Ingeniería Sísmica	México	Nos muestra el caso de cómo funciona el sistema de rejillas rígidas ante eventos sísmicos, las ventajas que presenta
A. Terán Gilmore <i>"Diseño sísmico basado en resiliencia, una necesidad nacional"</i> IC Ingeniería Civil, vol I	México	Se habla sobre las estructuras diseñadas con el reglamento, pero sin la adición de los nuevos sistemas, y nos explica sobre los sistemas tolerantes a daños, habla en especial sobre el uso de contraviento restringido contra pandeo.

<p>L. G. Lovera Martinez "<b>El Refuerzo de estructuras de Concreto Armado con aceros de grado 75 en el Perú</b>" Tesis de postgrado</p>	<p>Perú</p>	<p>Se indica que en zonas sísmicas el diseño de columnas está gobernado por la rigidez y no la resistencia, llega a la conclusión de que al usar aceros de alta resistencia para reforzar la estructura disminuye la cuantía del refuerzo</p>
<p>M. Moncayo Theurer, A. Rodriguez J, Lope, Soriano y Villacis "<b>Las fibras de carbono como una alternativa para el reforzamiento de estructuras</b>" Ingeniería</p>	<p>México</p>	<p>Nos habla sobre las ventajas del uso de fibra de carbono para reforzar estructuras</p>
<p>Gonzales Cuevas Libro: <b>Análisis Estructural</b>, 2002</p>	<p>México</p>	<p>Nos explica sobre los fundamentos del análisis estructural</p>
<p>Sarria Molina, Alberto Libro: <b>Terremotos e infraestructura</b>, 2008</p>	<p>Colombia</p>	<p>Explica los sistemas de rigidización convencionales como los son las diagonales concéntricas y Excéntricas de acero</p>
<p>McCormac Libro: <b>Diseño de concreto reforzado</b>, 2011</p>	<p>EE.UU</p>	<p>Libro que nos explica sobre el diseño de estructuras de concreto armado y parte de diseño sismorresistente</p>
<p>Carranza R y Calderon C <b>"REFORZAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA APORTICADA CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO PARA UN MERCADO EN LA CIUDAD DE TRUJILLO"</b> Tesis para optar el título de ingeniero civil, 2015</p>	<p>Perú</p>	<p>Nos muestra las ventajas que tiene colocar disipadores de fluido viscoso</p>

#### IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

De entre todas las investigaciones realizadas artículos, tesis, se demuestra que si existe una ventaja al reforzar una estructura para aumentar la rigidez que está posee antes de y después de. La necesidad de reforzar surge porque las normas con el paso del tiempo van mejorando, además, como lo explica Aguilar si una estructura ha sufrido un evento sísmico y sufrió daños, pero estos no han sido reconocidos, ante otro evento la estructura podría colapsar.

La rigidez de una estructura con el paso del tiempo va disminuyendo puesto que está sometida a cargas perennes.

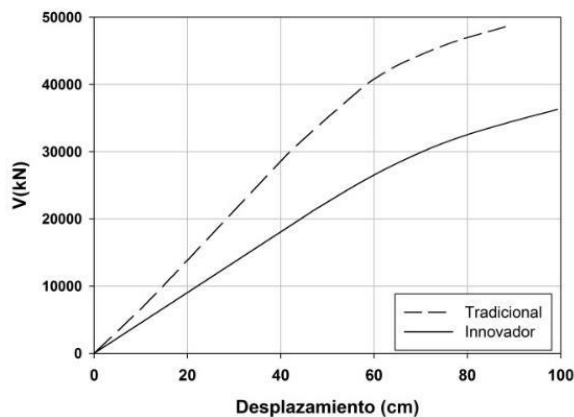
Lo señalado por Lovera, nos dice que el diseño de columnas está demandando por la rigidez más no por las cargas gravitatorias, el usar acero de alta resistencia para reforzar estructuras en el Perú es ventajoso, puesto que la cuantía de refuerzo disminuiría.

El uso de sistemas de rigidización se ha venido desarrollando desde principios del siglo XXI, cuando se rigidiza con sistemas de arriostramiento de acero, es notable la disminución de derivas, se resalta que estos sistemas funcionaran correctamente mientras que los arriostres no trabajen a compresión.

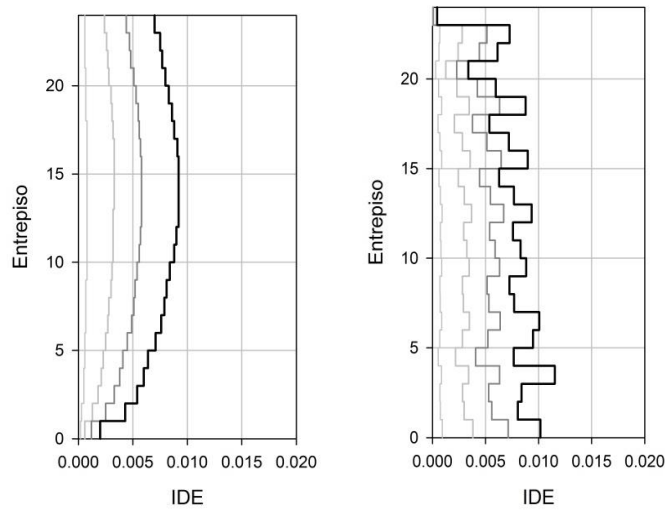
La colocación de muros de corte es fundamental como lo señala McCormac, puesto que, estos elementos están encargados de soportar la fuerza cortante inducida por el sismo además de controlar los desplazamientos laterales.

En México se está usando un sistema llamado Diagrid el cual consiste en usar rejillas rígidas como marcos perimetrales obteniendo excelentes resultados ante un evento sísmico. Como se muestra en la grafica el uso del sistema innovador reduce los desplazamientos originados por el sismo.

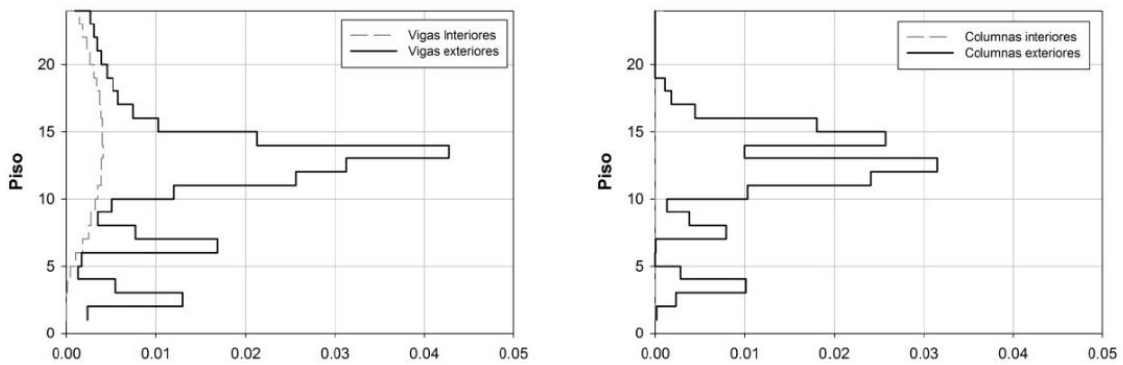
*Figura 3* Curva de capacidad de la estructura tradicional y del sistema innovador



**Figura 4** Comparación de los índices de deriva de entrepiso a diferentes valores de desplazamientos de azotea



**Figura 5** Rotaciones plásticas observadas en el edificio tradicional



Por último, la existencia de disipadores de energía puede lograr que la infraestructura no colapse ante sismos severos, como lo señala la norma de diseño sismorresistente actual las edificaciones pertenecientes a la categoría A1 en zonas 4 y 3 deben presentar obligatoriamente disipadores.

La elección del sistema a emplear para reforzar una estructura será tomando distintos parámetros como lo son: seguridad, costo, mantenimiento, etc.

## V. CONCLUSIONES

- Se concluye que existen una gran variedad de sistemas para reforzar una estructura, bajo el requerimiento de rigidez puede hacerse utilizando pórticos arriostrados, colocación de muros de corte o usando disipadores de energía.
- Se puede concluir que entre los sistemas de rigidización mediante diagonales es preferible usar, diagonales excéntricas debido a su mejor comportamiento ante el efecto Bauschinger además de mejorar la rigidez y ductilidad de la estructura.
- Se concluye que usar acero de alta resistencia para reforzar estructuras es ventajoso, puesto que la cuantía de refuerzo es disminuida.
- Se puede concluir, que la colocación de muros de corte es muy bien aprovechada puesto que utiliza la estructura existente, se tiene que ver el lugar donde será su colocación para que no genere efectos de torsión. Para ello se debe contar con un pórtico existente formado por columnas y vigas de un vano. Se debe reforzar las columnas para posibles esfuerzos a tracción.
- Se concluye que usar sistemas de balance energético (disipadores de energía), genera un costo mayor y es preferible de usar en estructuras históricas donde no existe la facilidad de modificar sus secciones. Es un requerimiento en hospitales.
- Se puede concluir que el tipo de sistema a usar estará definido por los parámetros a considerar tales pueden ser: el coste, el mantenimiento, etc.
- Se concluye que los sistemas de reforzamiento estructurales ya tienen cierto tiempo en la construcción, los países asiáticos y Estados Unidos son los pioneros en esto y es usual ver que los edificios suelen estar reforzados.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] J. C. McCORMAC y R. H. BROWN, Diseño de concreto reforzado, Octava ed., Distrito Federal: Alfaomega, 2011, p. 724.
- [2] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «RNE E.030 Diseño Sismorresistente,» 2018.
- [3] . C. V. Bambarén Alatrística y M. d. S. Alatrística Gutiérrez, «Estimación del impacto socioeconómico del terremoto en Pisco en el sector salud peruano,» *Med Hered*, vol. 20, nº 2, pp. 89-96, 2009.
- [4] N. Ike Triyuliani, S. Murni Dewi y L. Susanti, «Stiffness of Reinforced Concrete Beams after Retrofit with external Steel Reinforcement Method,» *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 6, nº 5, pp. 1842-1847, 2019.
- [5] M. Ankur vaidya y M. Shahayajali Sayyed, «A Research on Comparing the Seismic Effect on Shear Wall building and Without-Shear Wall Buildings,» *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 5, nº 12, pp. 64-67, 2018.
- [6] A. Quiroz Ramírez, A. Terán Gilmore y M. Serrano Medrano, «Ventajas sismoresistente y ambientales del sistema de rejillas rígidas diagrid para edificios en zonas de alta sismicidad,» *Ingeniería Sísmica*, pp. 64-83, 2017.
- [7] A. Terán Gilmore, « ,» *IC Ingeniería Civil*, vol. I, nº 581, pp. 24-28, 2017.
- [8] L. G. Lovera Martinez, «El Refuerzo de Estructuras de Concreto Armado con aceros de grado 75 en el Perú (Tesis de Postgrado),» Lima, 2016.
- [9] R. Aguilar, L. García , E. Menéndez, M. Zevallos y J. Palacios, «ANÁLISIS Y REFORZAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA AFECTADA POR EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DE 2016,» *RIEMAT*, vol. 1, 2016.
- [10] M. Moncayo Theurer, A. Rodriguez J, Lopez, Soriano y Villacis, «Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras,» *Ingeniería*, vol. 20, nº 1, pp. 57-62, 2016.
- [11] G. Cuevas, Análisis Estructural, Limusa, 2002, p. 579.
- [12] A. Sarria Molina, Terremotos e infraestructura, Segunda edición ed., Bogotá: Uniandes, 2008, p. 542.
- [13] J. S. Carranza Ruiz y E. J. M. Calderon Correa, «REFORZAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA APORTICADA Tesis para optar el titulo de ingeniero civil,» Repositorio UPAO, Trujillo, 2015.

