

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO PARA CENTROS EDUCATIVOS TIPO  
MODULAR 780 PRE**

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLERA EN  
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORAS:**

Huapaya Terrones, Yessabel Cristina

Rojas Ramos, Janet Sofía

**Trabajo de investigación para obtener el grado académico de BACHILLER EN  
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

**AUTORES:**

Quispe Rodriguez, Joel Nicolas

Rúa Alvarez, Manuel Alberto

Taipe Gratelly, Dennys Javier

**ASESOR:**

Villagómez Molero, Diego

Lima, Diciembre, 2020

## RESUMEN

Los centros educativos tipo modular 780 PRE fueron construidos bajo la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente del año 1977, la cual subestimaba los desplazamientos laterales de las estructuras. Los daños producidos por sismos pasados, evidenciaron el riesgo en el que se encuentran estas estructuras; es así que surge la necesidad de implementar procedimientos para reforzar las estructuras y reducir riesgos. El objetivo de esta investigación es describir las técnicas de reforzamiento aplicables en edificaciones educativas peruanas típicas construidas antes del año 1977 y mostrar los resultados obtenidos de cada técnica, tomando en cuenta factores tales como rigidez y resistencia. La primera técnica es el refuerzo con muretes de albañilería reforzada, que consiste en emplear mallas electrosoldadas para la formación de un muro compuesto; y de esta manera, aumentar la resistencia al corte y evitar fallas frágiles. Como segunda técnica tenemos al refuerzo de cierre de paños de albañilería, que consiste en incrementar la rigidez de la estructura levantando muros de albañilería que cierren vanos. La tercera técnica ahonda en el empleo de arriostres concéntricos, consiste en incrementar la resistencia lateral mediante perfiles de aceros diagonales en los núcleos de los pórticos. La cuarta técnica, aumenta la sección transversal de las columnas con dos aletas de concreto armado en el eje longitudinal del edificio, de tal manera que se incrementa la rigidez y se reducen los desplazamientos. La quinta técnica es la instalación de muros acoplados de concreto, la cual consiste en reforzar 3 columnas adyacentes, aumentando la dimensión de esta y mejorando su desempeño estructural. Los sistemas de reforzamientos descritos en este trabajo de investigación aumentan la resistencia y la rigidez global de la estructura, mejorando su desempeño ante eventos sísmicos.

## ÍNDICE

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.   | GENERALIDADES .....   | 1  |
| 1.1. | Introducción .....  | 1  |
| 1.2. | Justificación .....   | 1  |
| 1.3. | Alcance .....   | 3  |
| 1.4. | Objetivos .....   | 4  |
| 1.5. | Metodología .....   | 4  |
| 2.   | REFORZAMIENTO INCREMENTAL .....   | 5  |
| 3.   | TIPOS DE REFUERZOS ESTRUCTURALES .....  | 6  |
| 3.1. | Reforzamiento mediante muretes de albañilería reforzada con mallas (MARM) ..... | 6  |
| 3.2. | Reforzamiento mediante el uso de arriostres de acero concéntricos (ACMAC) ..... | 8  |
| 3.3. | Reforzamiento mediante muros acoplados de concreto armado (IMACA) .....         | 10 |
| 3.4. | Uso de aletas de concreto armado .....  | 11 |
| 3.5. | Refuerzo mediante el cierre de paños de albañilería .....                       | 12 |
| 4.   | RESULTADOS DEL REFORZAMIENTO .....  | 13 |
| 4.1. | Reforzamiento mediante muretes de albañilería reforzada con mallas (MARM) ..... | 13 |
| 4.2. | Reforzamiento mediante el uso de arriostres de acero concéntricos (ACMAC) ..... | 15 |
| 4.3. | Reforzamiento mediante muros acoplados de concreto armado (IMACA) .....         | 19 |
| 4.4. | Uso de aletas de concreto armado .....  | 20 |
| 4.5. | Refuerzo mediante el cierre de paños de albañilería .....                       | 21 |
| 5.   | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....  | 21 |
|      | REFERENCIAS .....   | 24 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Convergencia de las placas de Nasca y Sudamericana. ....                                  | 2  |
| Figura 2. Vista en planta de un colegio tipo modular 780PRE.....                                    | 3  |
| Figura 3. Vista de elevación de un colegio tipo modular 780PRE. ....                                | 3  |
| Figura 4. Opciones de reducción de riesgo sísmico.....  | 5  |
| Figura 5. Anclaje de malla electrosoldada en muros de albañilería .....                             | 7  |
| Figura 6. Esquema de planta estructural. ....   | 7  |
| Figura 7. Esquema de reforzamiento MARM.....  | 8  |
| Figura 8. Detalle del pórtico de concreto armado arriostrado. ....                                  | 9  |
| Figura 9. Esquema de elevación de reforzamiento ACMAC. ....   | 10 |
| Figura 10. Esquema de elevación de reforzamiento ACMAC. ....  | 10 |
| Figura 11. Esquema de las fases para el reforzamiento IMACA.....                                    | 11 |
| Figura 12. Esquema de elevación de reforzamiento IMACA.....   | 11 |
| Figura 13. Sección transversal del sistema de reforzamiento mediante aletas de concreto armado..... | 12 |
| Figura 14. Reforzamiento estructural mediante levantamiento de paños de albañilería. ....           | 13 |
| Figura 15. Resultados mediante el uso de reforzamiento MARM.....                                    | 14 |
| Figura 16. Fallas en ensayos con MARM.....  | 15 |
| Figura 17. Variación de la disipación de energía con deriva lateral.....                            | 16 |
| Figura 18. Curva de carga lateral – deriva de los pórticos sin arriostre y con arriostre .....      | 17 |
| Figura 19. Resultados mediante el uso de reforzamiento ACMAC.....                                   | 18 |
| Figura 20. Resultados mediante el uso de reforzamiento IMACA.....                                   | 19 |

## **1. GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

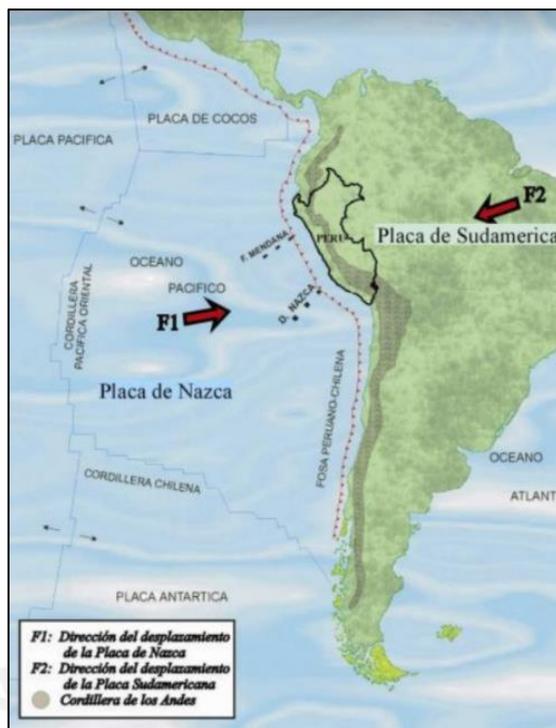
En el año 1996, el terremoto de Nazca ( $M_w = 7.7$ ) dañó a varios colegios construidos por el Instituto Nacional de Infraestructura Educativa y Salud (INFES).

Estos pabellones de aulas son conocidos como “colegio tipo modular 780 pre” y fueron construidos en forma masiva entre los años 1993 y 1996. Para la época, la normativa sismorresistente subestimaba los desplazamientos laterales producidos por eventos sísmicos lo que ocasionó que muchos de estos tengan daños notables; sin embargo, se habían construido tantos que demolerlos supondría una fortísima inversión. Por esta razón se realizaron diferentes investigaciones sobre reforzamiento de colegios basándose en el criterio técnico y económico.

Este trabajo de investigación se basa en el análisis de reforzamiento de estructuras educativas que no cumplen con el reglamento actual vigente del país: E.030 Diseño Sismorresistente 2018.

### **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El Perú es uno de los países más afectados ante los sismos y terremotos, por su locación en el Cinturón del Fuego del Pacífico. Solo los sismos ocurridos entre los años 1970 y 2009, causaron pérdidas por US \$29 mil millones (Valdivia Fernández, 2012) y se estima que este número está en crecimiento por la creciente inversión pública de los recientes años. Es así que económicamente, se justifica este tipo de investigaciones, el estado tiene que invertir importantes sumas en recuperar la infraestructura de la zona ya que el servicio de educación no puede entrar en receso.



**Figura 1. Convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana.**  
**Fuente: Tavera (2002)**

En este conglomerado de edificaciones se encuentran los colegios públicos y privados, dichos colegios se construyen a base de modelos tipos como el 780 actual, 780 pre, adobe, grandes unidades escolares, etc. Santa Cruz señala que las edificaciones modulares típicas (denominados Módulos 780) construidas antes del año 1997 tienen el problema latente de falla por columna corta y que las construidas luego de ese año han superado este problema y presentan niveles de riesgo aceptables, pero sólo el 8% de los pabellones de los locales escolares de Lima que alberga al 11% de la población escolar son sísmicamente seguros. El 89% de la población estudiantil (545 mil alumnos aproximadamente) ocupa locales escolares que no cumplen con los criterios de diseño sismorresistente actuales. En todos los 48 distritos de Lima y Callao, existen locales escolares con riesgo alto y medio (Santa Cruz, 2013). Se evidencia que las actuales estructuras están en riesgo crítico de sufrir tragedia por los fenómenos naturales; por otro lado, las estructuras del interior del país, cuyos materiales son de menor calidad y no tienen mayor asesoría técnica tienen mayor riesgo a fallar. Por los puntos

mencionados, se elabora un trabajo de investigación recopilatorio con resultados de diferentes autores ante diferentes sistemas de reforzamiento.

### 1.3. ALCANCE

El alcance del presente trabajo de investigación es describir las diferentes técnicas de reforzamiento estructural de la estructura 780 PRE realizados por diferentes autores. Para validar las diferentes técnicas se tomará en cuenta el aumento de resistencia, rigidez y ductilidad de los elementos de acuerdo a las conclusiones de cada autor.

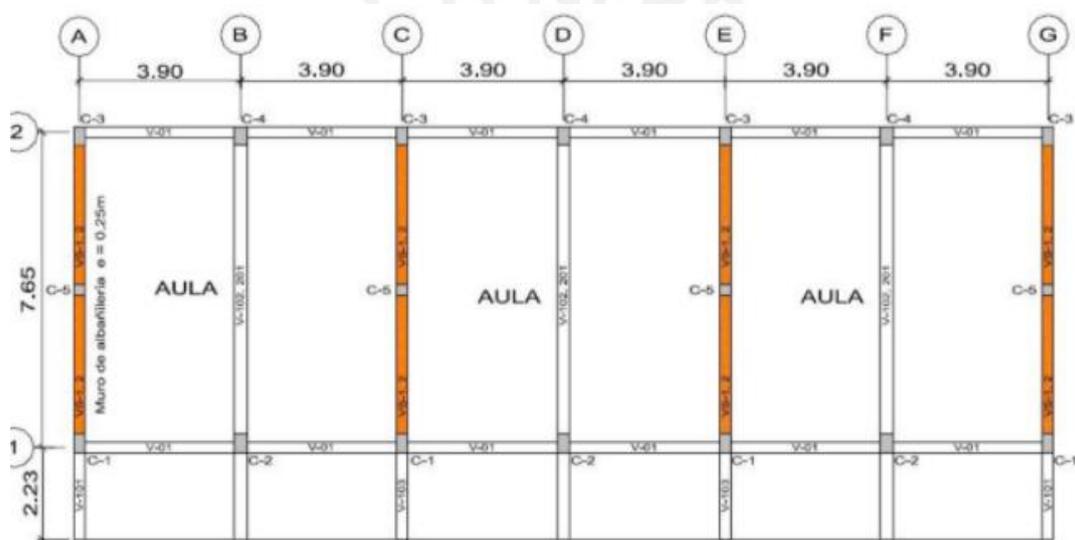


Figura 2. Vista en planta de un colegio tipo modular 780PRE.  
Fuente: Informe DAI (2007)

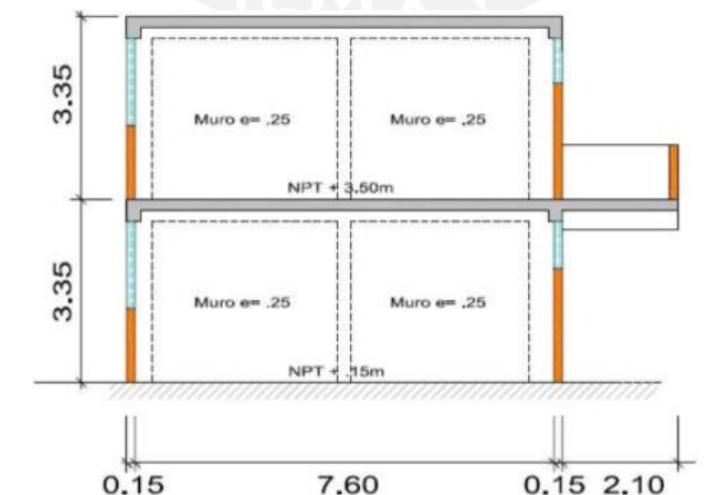


Figura 3. Vista de elevación de un colegio tipo modular 780PRE.  
Fuente: Informe DAI (2007)

## 1.4. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo de investigación es describir las técnicas de reforzamiento aplicables en edificaciones educativas peruanas típicas construidas antes del año 1977 y mostrar los resultados obtenidos de cada técnica, tomando en cuenta factores tales como rigidez y resistencia.

Objetivos específicos:

- Recopilar información sobre las principales técnicas usadas para el reforzamiento de colegios 780 PRE realizados por diferentes autores.
- Describir las principales técnicas de reforzamiento usadas en colegios tipo modular 780 PRE.
- Mostrar los análisis estructurales realizados por los diferentes autores y comentar los resultados obtenidos por estos.

## 1.5. METODOLOGÍA

La metodología para el presente trabajo de investigación se basará netamente en una recopilación de información enfocada en los siguientes aspectos:

- Investigar textos, artículos, conferencias y tesis referidas a técnicas de reforzamiento para edificaciones educativas típicas construidas antes del año 1977.
- Identificar los problemas que se presentan comúnmente las edificaciones educativas típicas mencionadas.
- Mostrar, describir y comparar los resultados de diferentes autores respecto a los sistemas de refuerzos estructurales propuestos.

- Investigar diferentes tipos de reforzamientos estructurales aplicables a las edificaciones educativas mencionadas.

## 2. REFORZAMIENTO INCREMENTAL

Ante la existencia de edificaciones educativas con alto riesgo sísmico, entidades como FEMA (395, 2003) plantean diferentes procedimientos para el reforzamiento mediante acciones implementadas en periodos de tiempos. De acuerdo a los lineamientos de FEMA 395, la más importante consideración es reducir el riesgo de colapso estructural catastrófico ya que esto representa la mayor amenaza para la vida de los usuarios. La Figura 4 muestra las opciones de reducción de riesgo sísmico adoptado por FEMA 395.



**Figura 4. Opciones de reducción de riesgo sísmico.**  
Fuente: FEMA 395 (2003)

La primera opción es no hacer nada y esto representa ningún costo, pero un alto riesgo en la estructura. La segunda, es reemplazar la estructura por una nueva que se encuentre adaptada a los códigos y normativa vigente, esto representa un alto costo y un bajo riesgo. La tercera, es reducir el riesgo realizando un reforzamiento en la estructura, esto último se puede realizar de dos formas: Reforzamiento Simple y Reforzamiento Incremental. La diferencia entre estos se

basa en que la primera impide el uso de la edificación por lo que involucra un alto costo y una pérdida del uso durante el tiempo de ejecución del reforzamiento, por otro lado, el reforzamiento incremental se basa en reducir los gastos por interrupción del uso de los ambientes siendo la opción más óptima para el reforzamiento de edificaciones educativas. A continuación, se presentan diferentes tipos de refuerzos incrementales para edificaciones educativas.

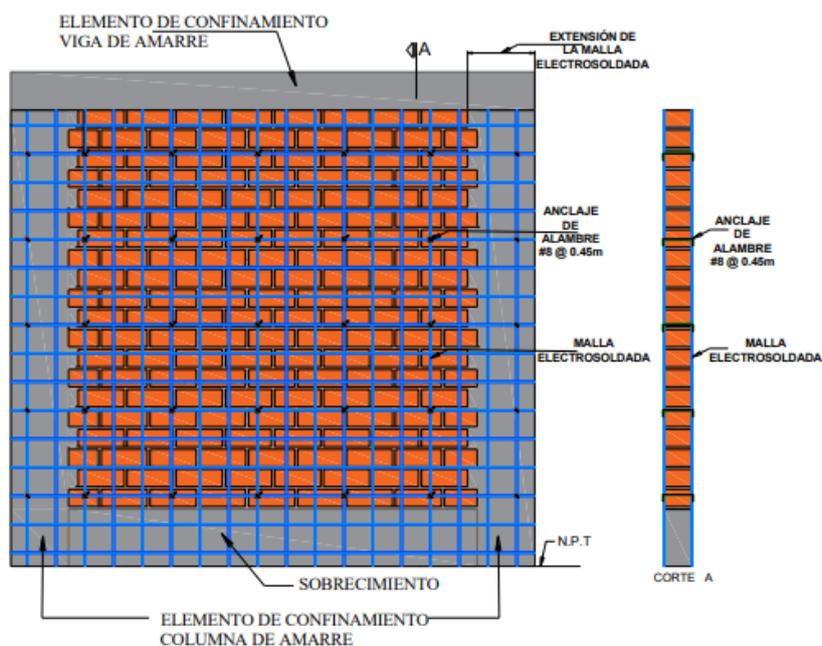
### **3. TIPOS DE REFUERZOS ESTRUCTURALES**

Las características principales de los edificios educativos 780 PRE es que estos tienen forma rectangular, de dos a cinco aulas por piso, de uno a tres niveles destinados principalmente a aulas. Según INEI (2013), las aulas son cuadradas de aproximadamente 7.80 m de lado y una altura de 3.35 m, tienen ventanas en la parte delantera y trasera con alturas de 1.10 y 1.60 m respectivamente. Asimismo, existe una escalera para llegar al primer piso.

Estas estructuras cumplen la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente del año 1977 en la que se subestimaba los desplazamientos laterales de las estructuras. Este problema se vio reflejado en los considerables daños en las estructuras en sismos pasados debido a la poca rigidez lateral en el sentido longitudinal.

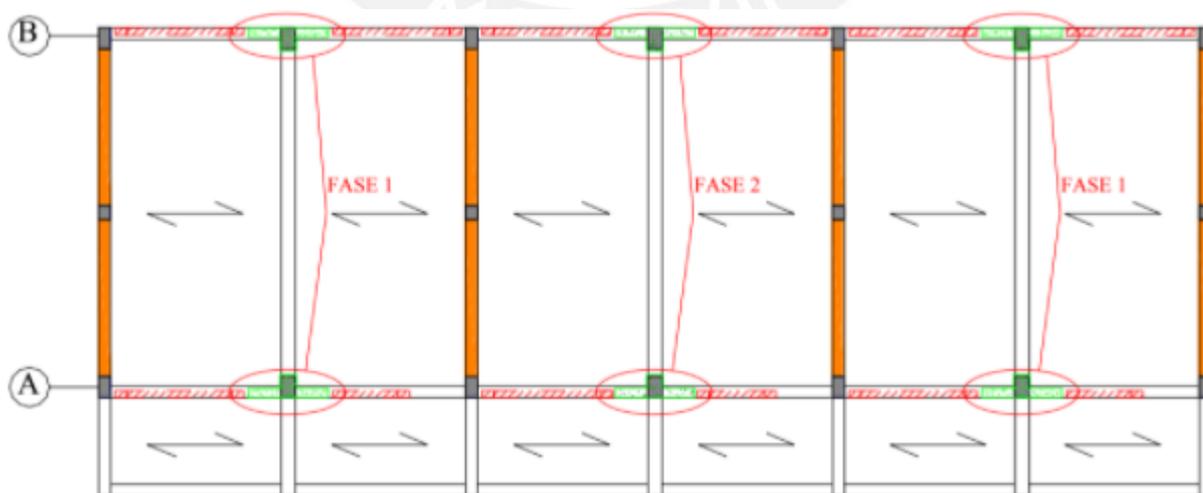
#### **3.1. REFORZAMIENTO MEDIANTE MURETES DE ALBAÑILERÍA REFORZADA CON MALLAS (MARM)**

Este reforzamiento consiste en colocar muretes de albañilería, de 50 cm de longitud, junto a columnetas a los lados de una columna (G. Loa, 2007). Se hace uso de una malla electrosoldada; que permite la formación de un muro compuesto por las columnetas, muretes y columnas, seguida de una capa de tarrajeo.

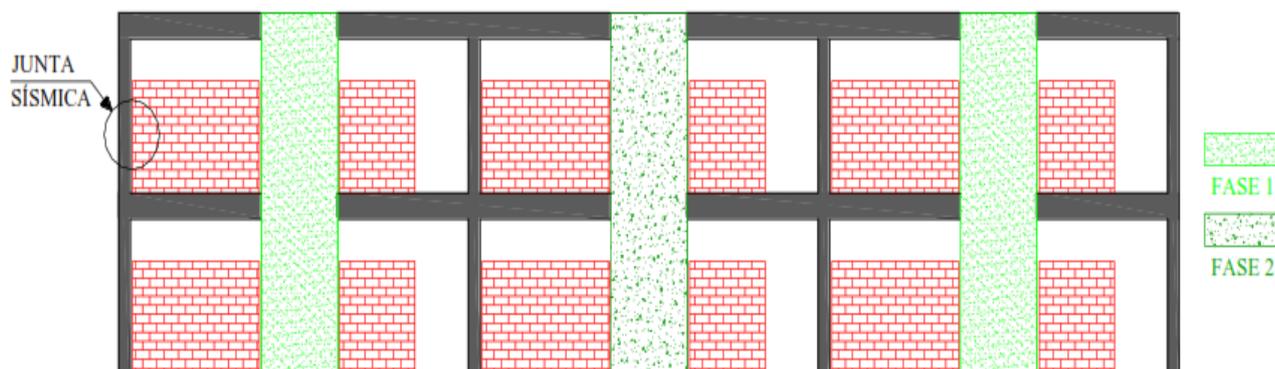


**Figura 5. Anclaje de malla electrosoldada en muros de albañilería**  
Fuente: Fernando et al. (2018)

Como se observa en la Figura 5, las mallas electrosoldadas están conformadas por varillas de acero que se cruzan en forma ortogonal y se encuentran soldadas en todas sus intersecciones. El objetivo del uso de mallas electrosoldadas como refuerzo, no pretende que no haya fisuraciones en el muro, sino que busca aumentar la resistencia al corte y poder evitar fallas frágiles (Fernando et al., 2018). Las Figuras 6 y 7, muestran las fases de reforzamiento de un colegio 780 pre con este método.



**Figura 6. Esquema de planta estructural.**  
Fuente: G. Loa (2017)



**Figura 7. Esquema de reforzamiento MARM.**  
Fuente: G. Loa (2017)

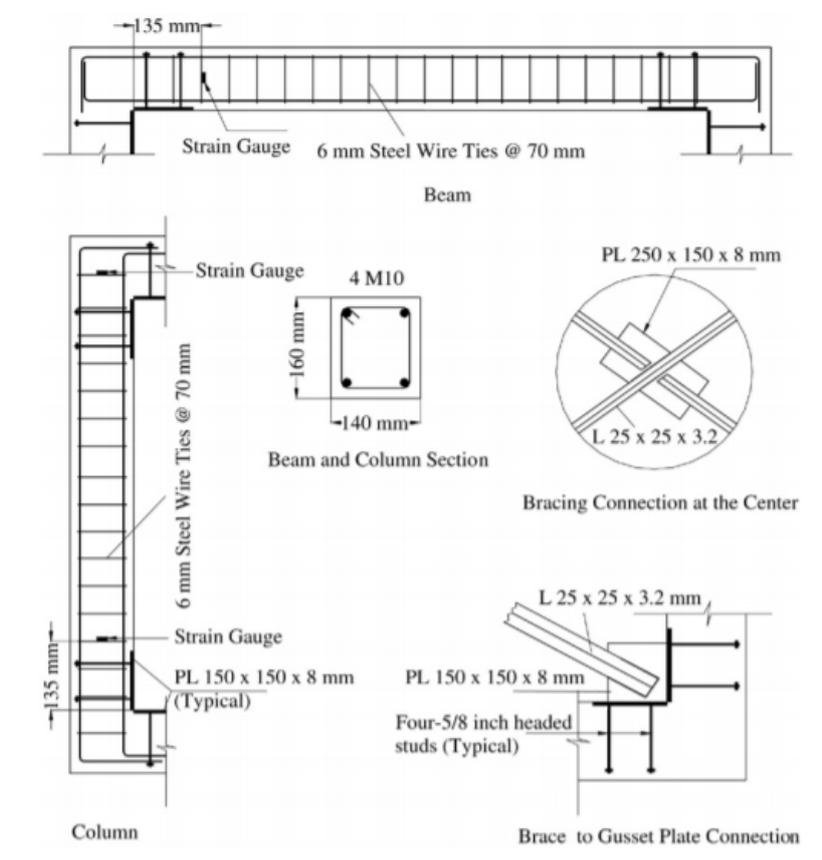
Además de las ventajas mencionadas, como el aumento de la resistencia de la estructura, este tipo de reforzamiento resulta ser económico y de fácil construcción (G. Loa, 2007).

### **3.2. REFORZAMIENTO MEDIANTE EL USO DE ARRIOSTRES DE ACERO CONCÉNTRICOS (ACMAC)**

El arriostramiento de acero ha demostrado ser uno de los sistemas más efectivos para resistir cargas laterales. Aunque su uso para mejorar la capacidad de carga lateral de los pórticos de hormigón armado existentes han sido objeto de numerosos estudios, aún deben desarrollarse directrices para su uso de estos en las modernas construcciones. La aglomeración de estos elementos estructurales permite mejorar la rigidez y resistencia estructural; sin embargo, se identifica una reducción en la ductilidad.

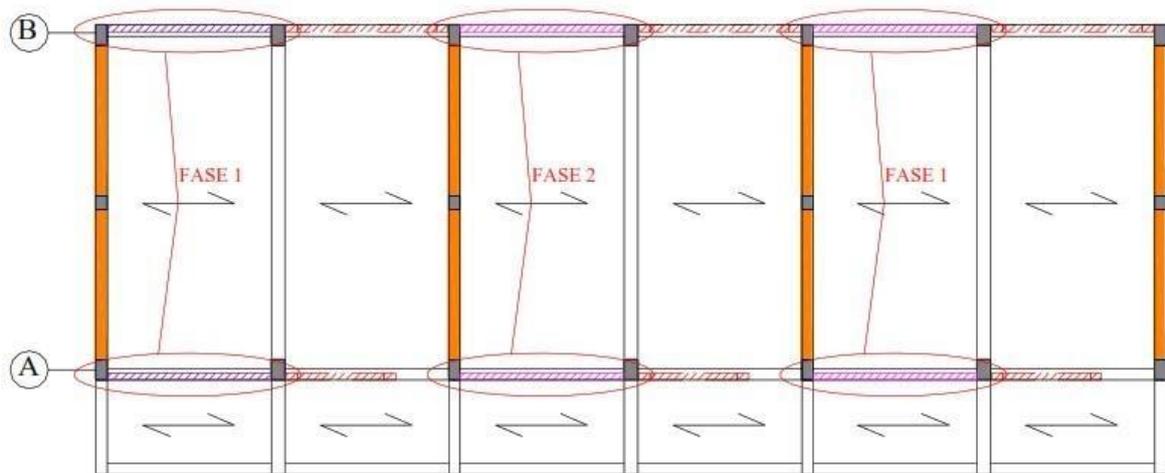
En los arriostramientos internos, las armaduras de arriostramiento se colocan en los espacios encerrados por las columnas y vigas de los pórticos. Maherí (1997) señala que una conexión que minimiza la excentricidad de la fuerza del miembro de riostra, permite que al momento de transferir la fuerza de la riostra a la esquina del pórtico no se produzca daño en los elementos de concreto. De las ventajas más significativas, con respecto a los muros de corte, son la reducción del peso de la estructura y, por lo tanto, reducir las cargas sísmicas y aumentar la ductilidad de la estructura. (Youssef, Ghaffarzadeh, & Nehdi, 2006). El ensayo de Youssef y

compañía se realizó con las siguientes características: dos probetas diseñadas se construyeron con concreto de resistencia a la compresión en el momento de la prueba era de 55 MPa.

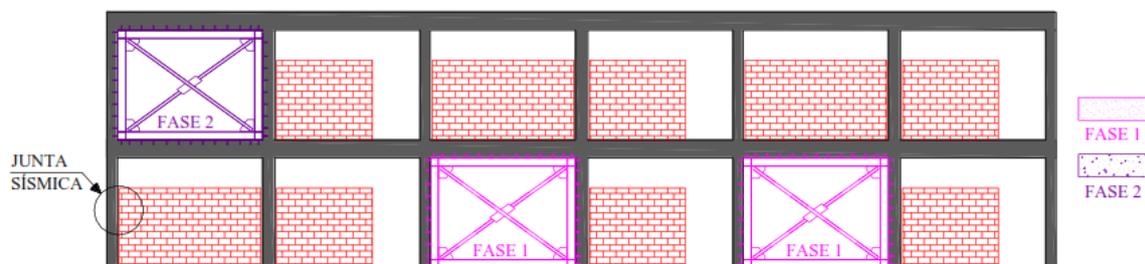


**Figura 8. Detalle del pórtico de concreto armado arriostrado.**  
Fuente: Youssef, Ghaffarzadeh & Nehdi (2006)

Por otro lado, Loa G. (2007), en su investigación, señala que el sistema se basa en agregar arriostres de acero dentro de los pórticos de concreto armado de tal forma que la viga y la columna se conecten al pórtico de acero, consecuentemente se mejorará la rigidez y la resistencia de la edificación. En contraste con los refuerzos realizados con concreto, este tiene mejores tiempos de instalación de un par de días; sin embargo, los costos de los perfiles metálicos son mayores respecto a las soluciones con concreto. Estos aceros cumplen las disposiciones y especificaciones según el manual AISC, Steel Construction Manual 13 edition.



**Figura 9. Esquema de elevación de reforzamiento ACMAC.**  
Fuente: G. Loa (2017)

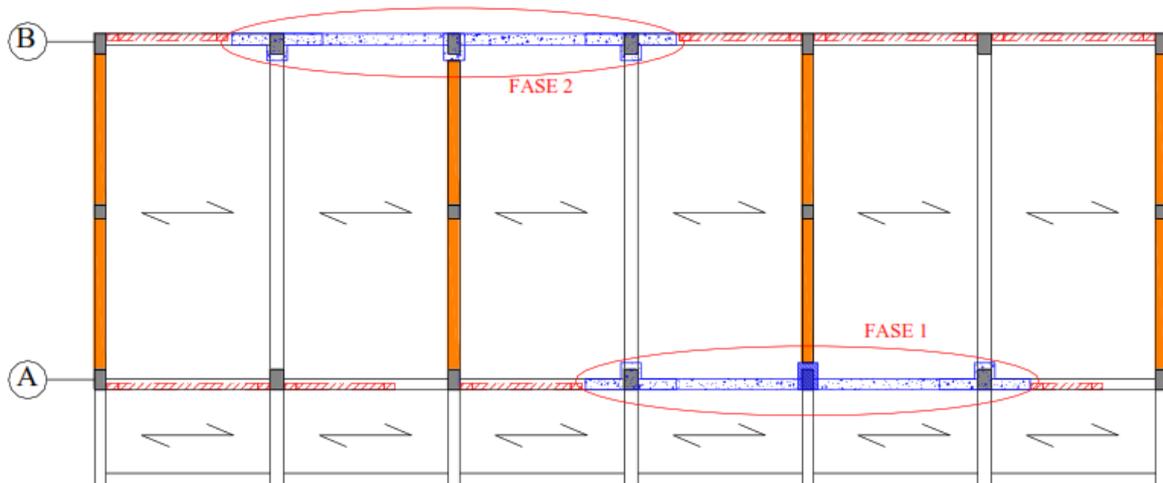


**Figura 10. Esquema de elevación de reforzamiento ACMAC.**  
Fuente: G. Loa (2017)

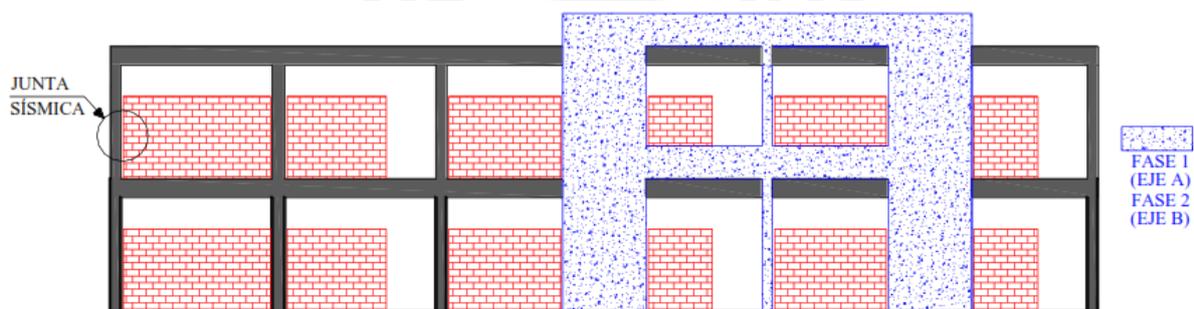
### 3.3. REFORZAMIENTO MEDIANTE MUROS ACOPLADOS DE CONCRETO ARMADO (IMACA)

Según Loa G. (2007), consiste en reforzar 3 columnas adyacentes aumentando sus dimensiones de tal forma que genere un aumento en la rigidez de la estructura. Debido al aumento de estas dimensiones, las zapatas pertenecientes a los elementos reforzados tienen un refuerzo adicional. Este reforzamiento se da en 2 fases, la primera en la parte delantera y la segunda en la trasera.

La estructura reforzada mediante este método logra un aumento en el desempeño y el aumento de la rigidez por piso; sin embargo, a este tipo de reforzamiento se encuentran ligados las desventajas referentes al tiempo de construcción y la mano de obra.



**Figura 11. Esquema de las fases para el reforzamiento IMACA.**  
Fuente: G. Loa (2017)



**Figura 12. Esquema de elevación de reforzamiento IMACA.**  
Fuente: G. Loa (2017)

### 3.4. USO DE ALETAS DE CONCRETO ARMADO

Según Gameros S. (2015), consiste en reforzar las columnas con dos aletas de concreto armado en el eje longitudinal del edificio para poder aumentar la rigidez y mejorar el desempeño de la estructura. El uso de las aletas consiste en aumentar la rigidez de estos elementos para que estas tomen gran parte de la fuerza cortante. Sin embargo, al aumentar secciones en las columnas la arquitectura del colegio se ve modificada de tal manera que las ventanas se achican y será necesaria una reubicación de las puertas. A continuación, se muestra el corte transversal de las columnas con las aletas de concreto armado.

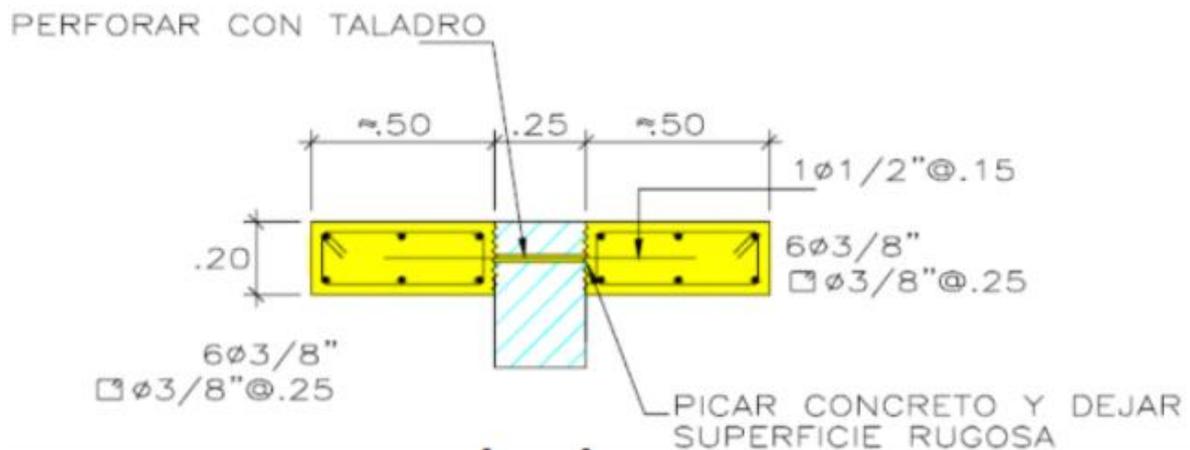
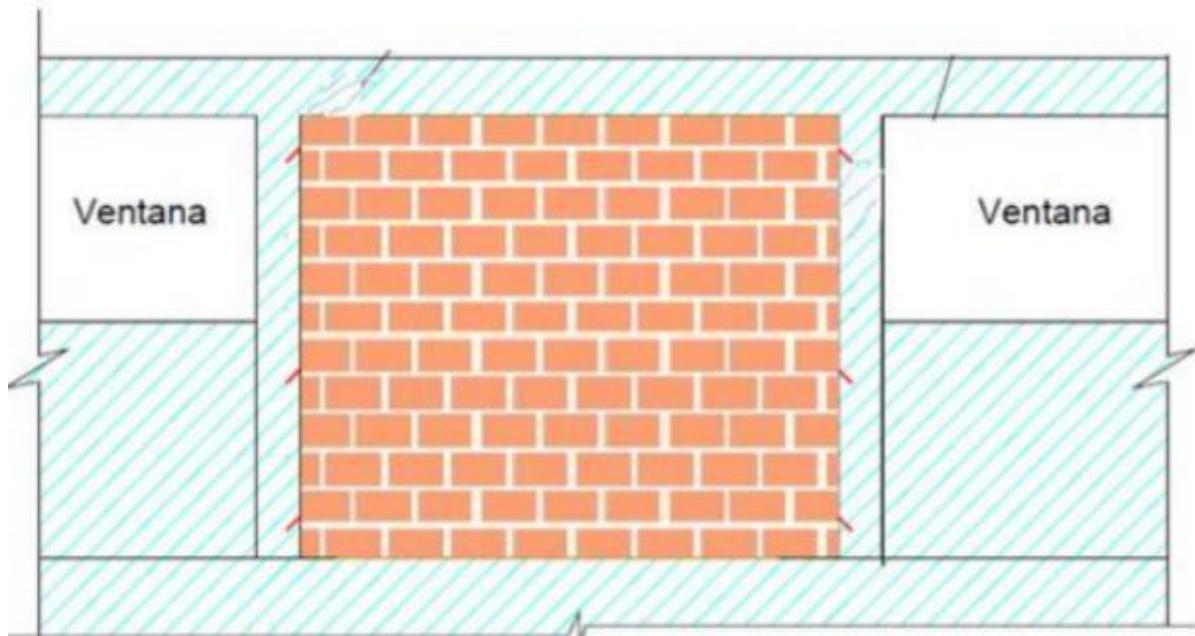


Figura 13. Sección transversal del sistema de reforzamiento mediante aletas de concreto armado.  
Fuente: Informe DAI (2007)

### 3.5. REFUERZO MEDIANTE EL CIERRE DE PAÑOS DE ALBAÑILERÍA

El mencionado refuerzo consiste en levantar muros de albañilería cerrando vanos de un edificio de tal forma que se incremente la rigidez de la estructura. Según Gamero S. (2015), se recomienda que los muros sean de 25 cm de espesor y que se armen de columna a columna y de viga a viga, es decir que llenen todo un paño. El proceso deberá plantearse de tal manera que sea sencillo y que no oscurezca un ambiente. Debido a ello, no se cerrarán paños que se encuentren frente a frente y a veces será necesaria una nueva disposición de los elementos que se encuentran dentro de los ambientes, en el caso de un centro educativo (salones), se deberá cambiar la ubicación de las pizarras y del mobiliario si fuera necesario.

La idealización de este muro se basa según especificaciones del libro “Albañilería estructural” de San Bartolomé, 2011, en la que los muros de albañilería pueden ser modelados como puntales tipo biela.



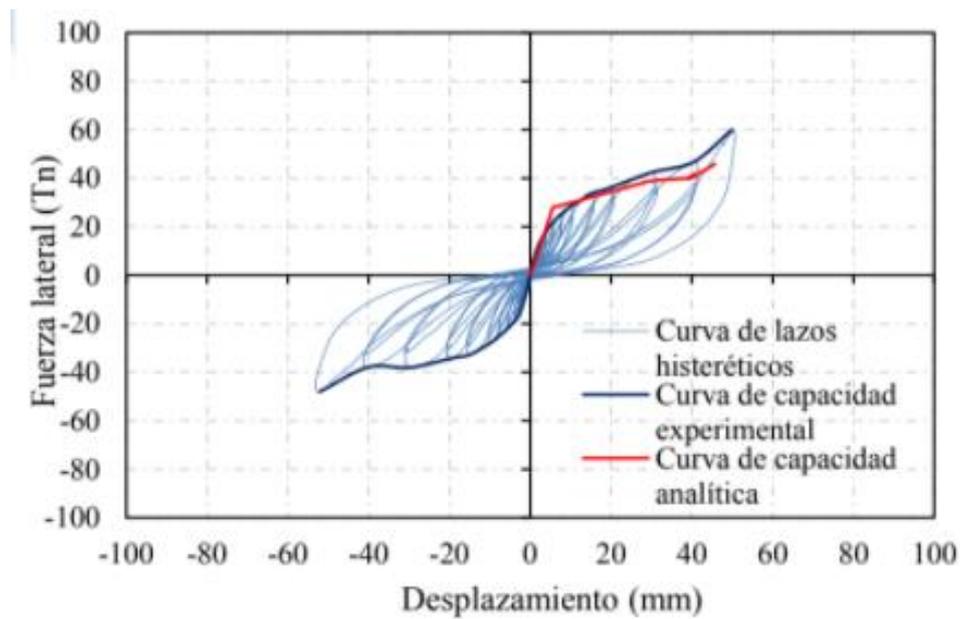
**Figura 14. Reforzamiento estructural mediante levantamiento de paños de albañilería.**  
Fuente: DAI (2007)

#### **4. RESULTADOS DEL REFORZAMIENTO**

##### **4.1. REFORZAMIENTO MEDIANTE MURETES DE ALBAÑILERÍA REFORZADA CON MALLAS (MARM)**

A diferencia de las columnas de concreto armado, el muro reforzado MARM no llega a ser tan dúctil; por lo que las fallas que se produzcan, se asocian hacia este elemento. Sin embargo, es importante resaltar que, la implementación y reforzamiento mediante muretes de albañilería reforzada con mallas electrosoldadas, hacen que se incremente la rigidez y resistencia de toda la estructura (G. Loa, 2007)

Para un reforzamiento de la estructura mediante este método se obtuvo la siguiente gráfica en la que se compara la curva de capacidad experimental y teórica. Para la curva experimental, se observa que el desplazamiento máximo es de 50 cm y una resistencia lateral de 60 ton; para la curva teórica, la estructura se encuentra asociada a desplazamientos de 44 cm y una resistencia lateral de 46 ton (G.Loa, 2007).



**Figura 15. Resultados mediante el uso de reforzamiento MARM.**  
Fuente: Loa G. (2007)

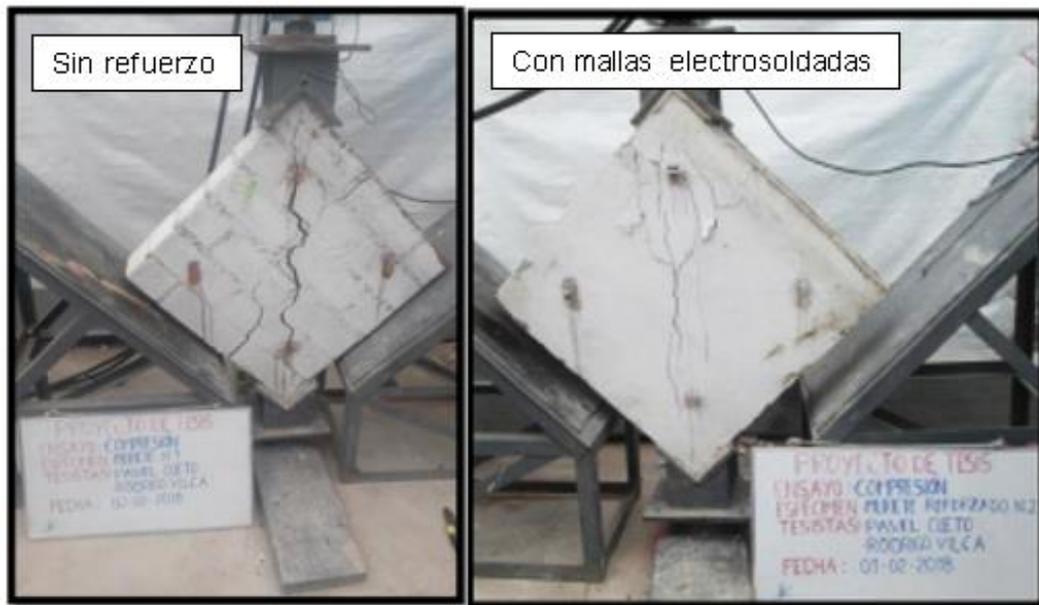
Según un estudio realizado para reforzar una edificación con mallas electrosoldadas, realizadas en muretes de albañilería con unidades huecas, en el departamento de Arequipa se tuvo los siguientes resultados del ensayo (Fernando et al., 2018).

**Cuadro N°1 Resultados ensayos con muretes con refuerzo de mallas electrosoldadas**

|   | SIN REFUERZO          | CON MALLAS ELECTROSOLDADAS |
|---|-----------------------|----------------------------|
| Resistencia a compresión axial (MPa)    | 6.05                  | 6.35                       |
| Resistencia a compresión diagonal (MPa) | 0.81                  | 1.19                       |
| Módulo de Elasticidad (MPa)             | 5331.58               | 6168.29                    |
| Tipo de Falla                           | Fallas en la diagonal | Dúctil                     |

Fuente: Fernando et al. (2018)

Como se observa, el uso de mallas electrosoldadas, mejoró las condiciones de resistencia.

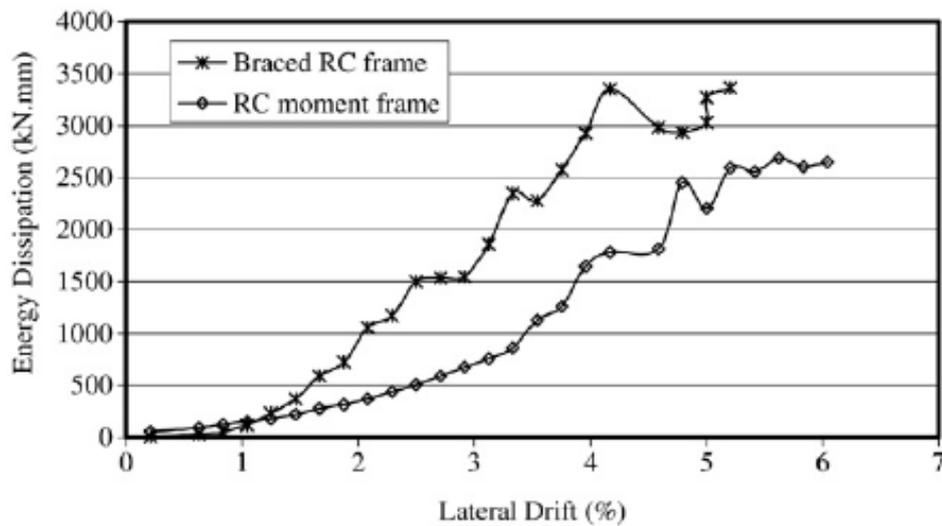


**Figura 16. Fallas en ensayos con MARM.**  
Fuente: Fernando et al. (2007)

Asimismo, del mismo estudio se obtuvo que el costo unitario para reforzar un muro real con mallas electrosoldadas era de 58.21 soles por metro cuadrado; considerando como partidas el retiro inicial del tarrajeo, la colocación de la malla electrosoldada y el tarrajeo final.

#### **4.2. REFORZAMIENTO MEDIANTE EL USO DE ARRIOSTRES DE ACERO CONCÉNTRICOS (ACMAC)**

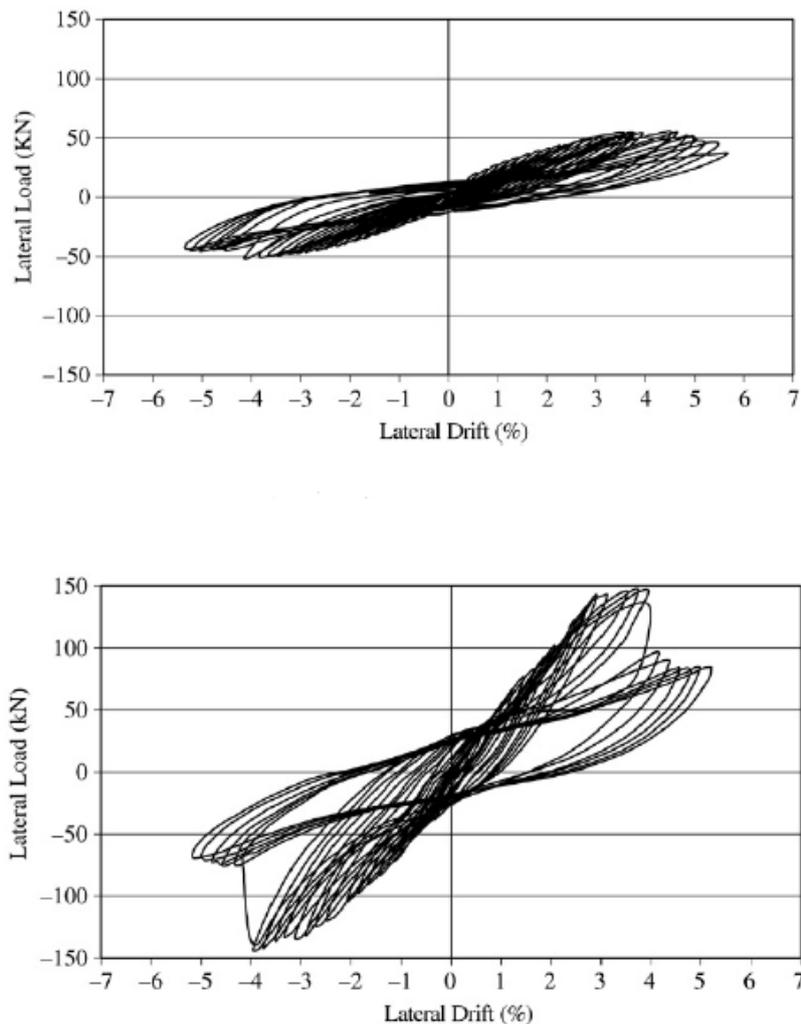
De los ensayos de Youssef, Ghaffarzadeh, & Nehdi (2006) se desprende lo siguiente según la energía: la capacidad de una estructura para disipar la energía del movimiento del sismo es una medida precisa de su rendimiento sísmico. En este estudio, la energía disipada por las dos muestras probadas durante la prueba de carga cíclica inversa se calculó como el área encerrada por cada ciclo histérico.



**Figura 17. Variación de la disipación de energía con deriva lateral.**  
**Fuente: Youssef, Ghaffarzadeh & Nehdi (2006)**

Se observa que a bajos niveles de deriva, la energía disipada por el pórtico arriostrado fue menor que la del pórtico sin arriostre. Esto se debió principalmente a la alta rigidez inicial del pórtico arriostrado. En niveles más altos de deriva, está claro que la energía disipada por el pórtico arriostrado fue mucho mayor que la del pórtico simple. Esto demuestra que se espera que el rendimiento sísmico del pórtico arriostrado sea superior al del pórtico simple.

El comportamiento histórico a través de las curvas de carga-deriva lateral para el pórtico sin arriostre y de pórtico arriostrado se muestran en las siguientes figuras:



**Figura 18. Curva de carga lateral – deriva de los pórticos sin arriostre y con arriostre**  
**Fuente: Youssef, Ghaffarzadeh & Nehdi (2006)**

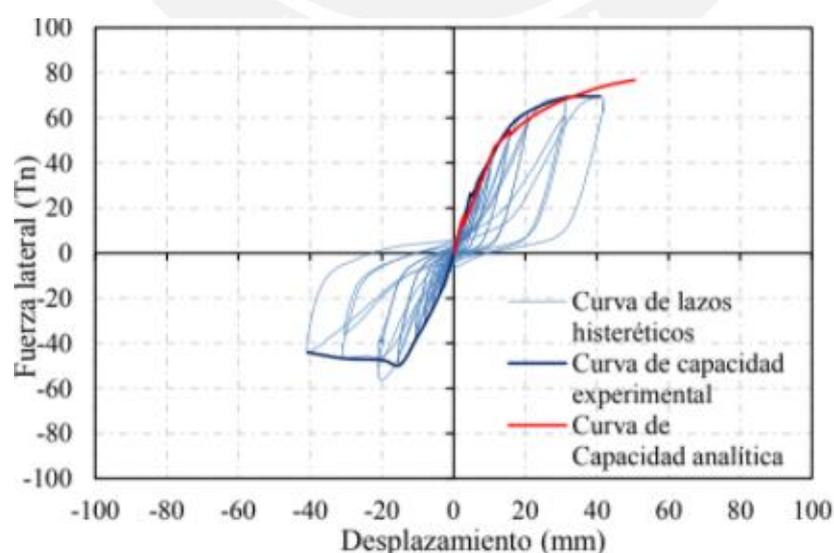
Se halló la siguiente evidencia, la rigidez inicial del pórtico arriostrado fue aproximadamente 2,5 veces mayor que el pórtico sin arriostre. Las desviaciones de rendimiento y falla del pórtico sin arriostre fueron 1,67% y 5,00%, respectivamente, y las del pórtico arriostrado fueron 2,08% y 4,00%, respectivamente. En síntesis, se muestra que las ductilidades del momento y los pórticos arriostrados fueron 3.0 y 1.9. La reducción de la ductilidad era algo que ya se esperaba del pórtico arriostrado; sin embargo, se compensó con un aumento considerable de su capacidad de carga lateral (sobre resistencia) que fue de 140kN en comparación con los 55kN del pórtico sin arriostre. Está claro por el comportamiento histerético que el impacto cíclico fue

menos significativo en el pórtico arriostrado, lo que indica un mejor desempeño sísmico general a nivel local.

Entonces el estudio concluye que el uso de pórticos arriostrados como el principal sistema de resistencia de carga lateral es una alternativa de diseño prometedora, pero necesita una significativa investigación experimental y computacional en esta área para el desarrollo de pautas y condicionamientos de diseño adecuadas junto con las mejores prácticas de construcción para tales objetivos.

Según Loa G. (2007), las estructuras sometidas a este reforzamiento poseen una falla a flexión debido a la restricción del tabique que interactúa con la columna de tal forma que reduce la ductilidad del pórtico. La ductilidad experimental es menor al estimado mediante modelos numéricos.

De forma experimental, se obtuvo deformaciones máximas de 41 cm y una resistencia de 71 ton; sin embargo, en el modelo teórico se estimó desplazamientos de 51 cm asociados a resistencias laterales de 77 ton. Esta variación en los resultados se debe a las fallas presente en los pernos y/o remaches del arriostre metálico.



**Figura 19. Resultados mediante el uso de reforzamiento ACMAC.**

**Fuente: Loa G. (2007)**

Según Ramírez P. (2017), los costos de este sistema de reforzamiento se encuentran en un rango intermedio comparado a los costos de otros reforzamientos. Los precios de mano de obra y de los materiales son más elevados que los de concreto o albañilería.

### 4.3. REFORZAMIENTO MEDIANTE MUROS ACOPLADOS DE CONCRETO ARMADO (IMACA)

Según Loa G. (2007), debido a la interacción del tabique con la estructura, este no tendría una falla en la parte superior del muro debido a la elevada capacidad de corte y flexión. Asimismo, este reforzamiento permite incrementar la resistencia y rigidez global de tal manera que pretende prevenir el colapso en sismos raros ( $T_r = 475$  años) y reducir significativamente los daños en sismos frecuentes ( $T_r = 45$  años) (Muñoz et al., 2007).

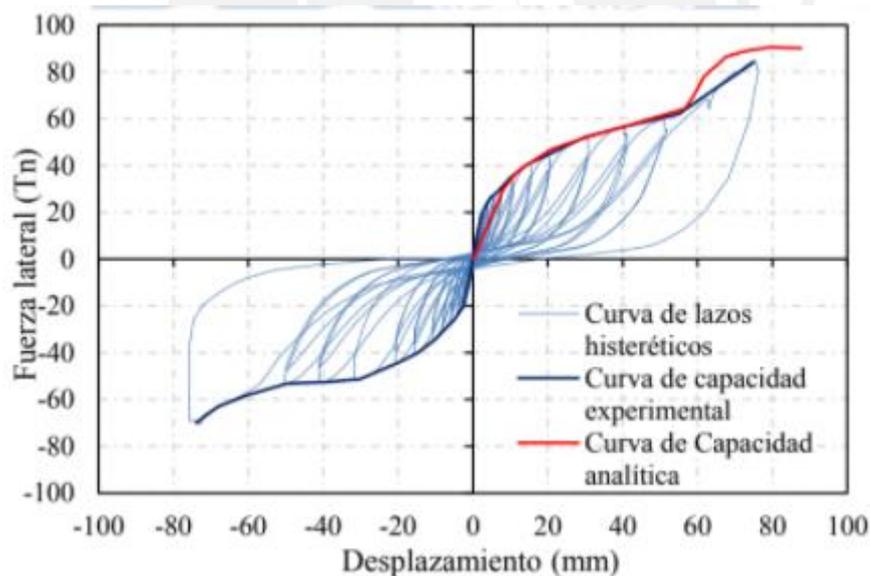


Figura 20. Resultados mediante el uso de reforzamiento IMACA.  
Fuente: Loa G. (2007)

En la gráfica se aprecia que el modelo teórico se asemeja mucho al experimental, la diferencia radica en que los desplazamientos experimentales están en el orden de 85 cm mientras que los teóricos en 90cm.

Según Ramírez P. (2017), si bien este tipo de reforzamiento requiere de trabajos previos de demolición de los muros de fachada, el costo de este reforzamiento se encuentra definido por los volúmenes de trabajo y materiales, el costo de mano y los materiales es bajo debido a su disponibilidad en el mercado nacional.

#### **4.4. USO DE ALETAS DE CONCRETO ARMADO**

A continuación, se describen los parámetros dinámicos de estudios y las conclusiones que están escritas en la tesis de Gamero.

Los resultados que se obtuvieron se expresaron según las propiedades dinámicas de la edificación; las cuales fueron la rigidez y resistencia. La rigidez se estudió al comparar la deriva demandada, determinada del análisis sísmico, con la deriva (distorsión angular) permisible establecido por la Norma E.030. Y la resistencia se analizó desde el factor de seguridad que hay entre la resistencia a flexión y resistencia a cortante.

Con respecto a la rigidez se obtuvo una distorsión angular de 0.9%, valor cercano a la distorsión angular permisible 0.7%. Y de acuerdo a Gamero S. (2015) la distorsión es aceptable debido a las simplificaciones numéricas realizadas.

Con respecto a la resistencia se obtuvo que para un ala de 30x45 cm el factor de seguridad por flexión fue de 1.49 y por cortante fue de 1.85. Y según Gamero S. (2015) en un sismo raro la falla dúctil predominará a la falla por corte.

Además, según Ramírez P. (2017) este tipo de reforzamiento permite incrementar la resistencia y rigidez global de la estructura de tal manera que se lograría prevenir el colapso y daño severo 18 en niveles de peligro intermedio ( $T_r = 100$  años). Además, el costo de la mano de obra y los materiales son bajos ya que se encuentran disponibles en el mercado nacional. Asimismo, los volúmenes de materiales utilizados son de magnitudes pequeñas.

#### **4.5. REFUERZO MEDIANTE EL CIERRE DE PAÑOS DE ALBAÑILERÍA**

Según Gameros S. (2015), la carga máxima actuante en los muros de albañilería modelados como puntales no tendrían problemas de falla debido a la rigidez aportada a la estructura: sin embargo, es necesario la verificación de la cimentación para evaluar si las zapatas serán capaces de soportar la carga axial adicional. Para suelos con presiones admisibles de  $1 \text{ kg/cm}^2$ , la cimentación fallaría. Para valores de presiones admisibles de 1.3 y  $1.5 \text{ kg/cm}^2$ , habría problemas de cimentación para casos de sismos severos.

Según Ramírez P. (2017), este sistema de reforzamiento mediante el cierre de paños de albañilería es una técnica muy económica debido a que no implica grandes volúmenes de material, es decir: concreto, encofrado ni acero. El insumo principal son los ladrillos King Kong, los cuales tienen precios bajos en el Perú.

En la investigación realizada por Gamero S. (2007) no adjuntan curvas histeréticas perteneciente a este tipo de reforzamiento; sin embargo, al poseer el mismo concepto que el reforzamiento mediante muros acoplados de concreto armado (IMACA), se puede asumir que tendría una curva histerética similar a esta.

#### **5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

- Ante la búsqueda de sistemas de reforzamiento estructural de edificaciones como colegios, el método de reforzamiento por arriostre interno concentrado, es beneficioso por la gran resistencia que provee, lo que resulta beneficioso ante la presencia de grandes sismos. A pesar de lo acotado, resulta inviable si se deseara aplicar a un conjunto de colegios que de por sí ya poseen una escasez de recursos, los elementos deben de ser dimensionados, lo que eleva significativamente el costo de la estructura. Si se estuviese evaluando con estructuras que emplean significativas

dimensiones de muros, podría realizarse un análisis de costo para evaluar el sistema que podría optarse.

- Los sistemas de reforzamiento mostrados mejoran la resistencia y la rigidez de la edificación dando como resultado la integridad de la estructura luego de un movimiento sísmico severo. Sin embargo, la implementación de los métodos de reforzamiento modifica la arquitectura inicial y puede afectar el confort de los clientes. Los sistemas de reforzamientos presentados normalmente son analizados y diseñados suponiendo que la estructura funciona en conjunto. Si bien es correcto lo mencionado, se debe tener en cuenta que los centros educativos no pueden suspender su funcionamiento y por lo tanto el reforzamiento se realizará paulatinamente, ello conlleva a realizar el análisis considerando la construcción progresiva.
- Los diferentes sistemas de reforzamientos descritos en este trabajo de investigación cumplen el principal objetivo de aumentar la resistencia y la rigidez global de la estructura para mejorar el desempeño de las estructuras ante eventos sísmicos. Asimismo, el modelamiento de estos refuerzos en los diferentes softwares, pueden dar una idea de la curva de capacidad que se generaría en eventos experimentales, se tiene que tomar en cuenta que las curvas de capacidad generadas por modelamiento numérico no siempre son del todo ciertas ya que diferentes factores como problemas de construcción, pernos en mal estado, el uso de malos materiales, fraguado inadecuado, etc., pueden afectar al comportamiento estructural.
- Se recomienda utilizar el refuerzo estructural mediante el cierre de paños de albañilería, ya que es un refuerzo económico en el Perú porque no requiere mano de obra especializada ni grandes cantidades de material debido a que, el principal

recurso a utilizar son los ladrillos King Kong. Asimismo, para su utilización se deberán ubicar los paños en lugares estratégicos de tal manera que no oscurezcan los salones y que se mantenga una adecuada ventilación.



## REFERENCIAS

AISC. Steel Construction Manual 13 edition.

Dirección Académica de Investigación (2017). Informe de un proyecto de reducción de vulnerabilidad sísmicas en colegios.

Fernando, I., Miranda, E., & Perú, A.-. (2018). “Reforzamiento de la albañilería confinada más utilizada en Arequipa con malla electrosoldada.”

Gameros S. (2015). Tesis PUCP: “Análisis Comparativo de tres tipos de refuerzo estructural para pabellones de aulas de locales escolares de dos pisos y tres aulas por piso

Instituto Nacional de Estadística Informática (INEI) y Ministerio de Educación (MINEDU) (2013). “Censo de Infraestructura Educativa (CIE)”. Lima, Perú  
FEMA 395 (June 2003) “Incremental Seismic Rehabilitation of School Buildings (K-12)

Loa, G. (2007). Tesis maestría PUCP: “Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997”. Lima, Perú

Muñoz A, Juraco C, Navarro L. (2007) "Técnicas de Reforzamiento de bajo costo para edificios escolares peruanos" XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica. Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica. México.

Ottazi G. (2007). Diseño en concreto armado. Lima: Fondo Editorial PUCP.

Ramirez P. (2017) Tesis maestría PUCP: “Evaluación experimental de una propuesta de reforzamiento estructural para las edificaciones escolares construidas antes de 1997, Perú”. Lima, Perú

Reglamento Nacional de Edificaciones, NTE E.030 Diseño Sismorresistente,

San Bartolomé A., Quiun D, Sillva W. (2011). Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería. Lima: Fondo editorial PUCP

Santa Cruz, S. (2013). Lecciones aprendidas: Infraestructura de locales escolares.

SENCICO (2014). Norma Técnica de Edificación NTE-E.030 Diseño Sismorresistente. Lima: Ministerio de Construcción, Vivienda y Saneamiento.

Tavera (2002) "Desde el terremoto de 1746 estamos en silencio sísmico". Lima, Perú.

Valdivia Fernández, H., 2012. Mejora de la Gestión de territorio mediante la Reducción de Riesgo de Desastres. s.l.:s.n

Youssef, M., Ghaffarzadeh, H., & Nehdi, M. (2006). Seismic performance of RC frames with concentric internal steel bracing. *ScienceDirect*, 1561-1568.