

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO SOBRE LA DECISIÓN DE
REFORZAMIENTO O CONSTRUCCIÓN NUEVA DE LA ESTRUCTURA DE UN
CENTRO EDUCATIVO**

**Trabajo de investigación para la obtención del grado académico de BACHILLER EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA CIVIL**

AUTORES

Aguilar Huarca, Thalia Esmeralda

Flores Rodriguez, Oscar Dioni

García de la Arena Gonzalez, Joseph Isaac

López Ortiz, Josué Diego

Pillaca Oruro, Reiner Diego

ASESOR

Ucañan Diaz, Robinson

Lima, Julio, 2020

RESUMEN

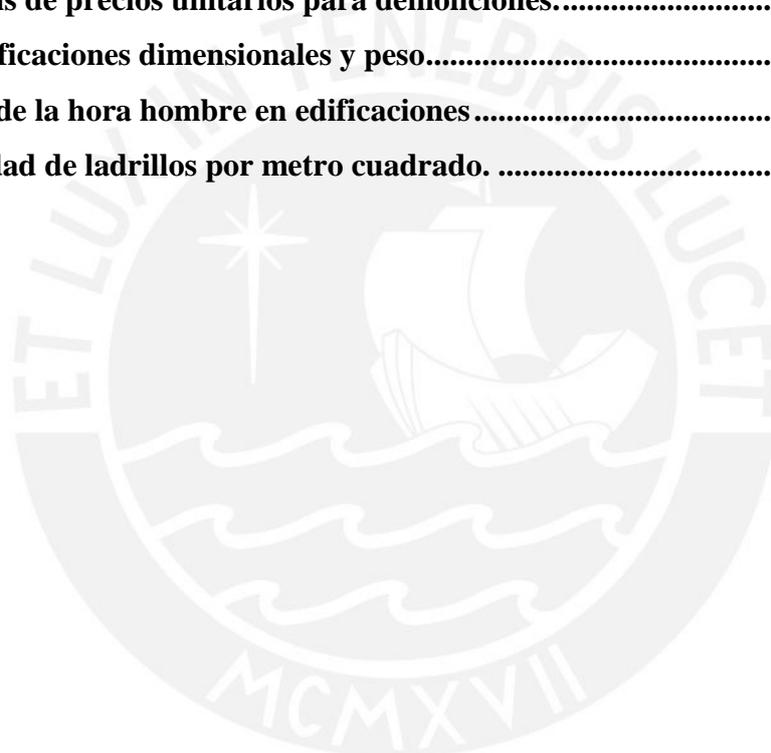
La siguiente investigación se realiza por la necesidad de conocer alternativas que cambien la situación de distintos centros educativos que en los últimos años se han visto muy afectados a causa de los sismos ocurridos en nuestro país. Es de suma importancia conocer si los distintos centros educativos resistirán a sismos de grandes magnitudes y si necesitan un reforzamiento estructural para que presenten un buen desempeño o será necesario su demolición y una posterior reconstrucción de acuerdo a las nuevas normas de diseño sismorresistente. El objetivo general del presente proyecto de investigación consiste en definir la opción óptima en términos técnico-económicos entre las dos alternativas planteadas; la demolición y posterior reconstrucción de la estructura, o el reforzamiento de la estructura. Se usan como base en el siguiente proyecto distintas investigaciones de reforzamiento sísmico de los centros educativos en el Perú, investigaciones que persisten en evaluar la vulnerabilidad sísmica. En el presente trabajo se analizan de manera técnica y económica dos alternativas de reforzamiento en sentido longitudinal que serán la colocación de aletas de concreto armado y el cierre de paños con albañilería, métodos que serán aplicados en un pabellón típico considerando parámetros más desfavorables para posteriormente determinar la mejor opción respecto al costo de reparación o de construcción de un nuevo centro educativo. Finalmente, en esta investigación se concluye que es necesario tener no solo un análisis técnico sino también económico ya que en los proyectos de gran envergadura, en el país, cada nuevo sol (S/.) es vital para la elección de la mejor alternativa de mejoramiento o saneamiento de infraestructuras y se recomienda que las futuras edificaciones de centros educativos sean construidas bajo el sistema de pórticos duales, además de aislar la tabiquería de las columnas a fin de evitar la falla de columna corta que es tan recurrente.

ÍNDICE

2	Generalidades	6
2.1	Introducción	6
2.2	Justificación	6
2.3	Alcance	7
2.4	Objetivos	7
2.5	Metodología	8
3	Revisión de literatura	8
3.1	Investigaciones Anteriores	8
3.2	Evolución de la Norma E.030 entre los años 1997-2003	12
3.3	Definiciones	13
4	Desarrollo de la investigación	16
4.1	Causas de Fallas	16
4.1.1	Columna Corta	16
4.2	Evaluación estructural y reforzamientos	19
4.3	Análisis técnico	21
4.3.1	Análisis del sistema estructural de los módulos sin intervención	23
4.3.2	Colocación de aletas de concreto armado	26
4.3.3	Cierre de paños con albañilería	29
4.4	Análisis Económico	30
4.4.1	Construcción	30
4.4.2	Reforzamiento	31
4.5	Resultados	35
5	Conclusiones y recomendaciones	36
6	Referencias Bibliográficas	39

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros considerados para la evaluación estructural en la dirección longitudinal	24
Tabla 2. Desplazamientos y derivas en el sentido longitudinal R=8 (análisis estático)....	26
Tabla 3. Derivas obtenidas para la dirección longitudinal R=8.....	26
Tabla 4. Relación de resistencia suministrada vs resistencia requerida para el refuerzo con aletas de concreto.	28
Tabla 5. Desplazamientos laterales y derivas en el sentido longitudinal.....	29
Tabla 6. Análisis de precios unitarios para demoliciones.....	31
Tabla 7. Especificaciones dimensionales y peso.....	32
Tabla 8. Costo de la hora hombre en edificaciones	33
Tabla 9. Cantidad de ladrillos por metro cuadrado.	33



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Esquema del reforzamiento MARM de un centro educativo típico presentado en la tesis de Loa 2017.....	10
Figura 2. Esquema del reforzamiento IMACA de un centro educativo típico presentado en la tesis de Loa 2017.....	11
Figura 3. Esquema del reforzamiento ACMAC de un centro educativo típico presentado en la tesis de Loa 2017.....	12
Figura 4. Edificio con columnas cortas (lado izquierdo) y edificios con columnas rígidas (lado derecho)	17
Figura 5. Centro educativo Casimiro Cuadros en Arequipa (lado izquierdo) y falla de columna corta en un pabellón antiguo (lado derecho).....	18
Figura 6. Vista en planta de un módulo típico 780 Pre. (Fuente: Informe DAI, 2007)....	22
Figura 7. Vista en elevación de un módulo típico 780 Pre. (Fuente: Informe DAI, 2007)	23
Figura 8. Planta estructural de los módulos típicos 780 Pre. (Fuente: Loa, 2017).....	25
Figura 9. Modelo estructural de módulos 780 Pre. (Fuente: Gameros, 2015).....	25
Figura 10. Vista de la elevación del refuerzo con aletas de concreto (Fuente: Informe DAI, 2007)	27
Figura 11. Detalle del refuerzo con aletas de concreto (Fuente: Informe DAI, 2007).....	27
Figura 12. Detalle de elevación del refuerzo con cierre de paños (Fuente: Informe DAI, 2007).....	29

1 Generalidades

1.1 Introducción

Los cambios con respecto al factor de uso para colegios en la norma E.030 de diseño sismorresistente actual frente a las normas de ediciones pasadas han establecido que los colegios sean calificados como estructuras de mayor importancia (esencial). Esto conlleva a que los centros educativos estructurados en años previos a la publicación de la norma actual no cumplan con los requisitos mínimos que en ella se estipula. Es importante indicar que, si bien las normas han ido variando y las edificaciones han quedado desfasadas, existen otros problemas que enfrentan las estructuras como el deterioro propio del tiempo, clima, uso, etc. Sin embargo, para el presente trabajo de investigación no se incluirán investigaciones previas al campo ni ensayos en laboratorio, sino solo se busca analizar dos alternativas para solventar este problema; el reforzamiento de estas estructuras o la demolición y posterior reconstrucción de estos centros educativos en términos técnico y económico.

1.2 Justificación

La razón del presente estudio nace de la necesidad de conocer alternativas que cambien, en cierto modo, el futuro de miles de estudiantes, tanto por el lado de seguridad debido al riesgo al que se someten al permanecer muchas horas en las aulas de clase como a la necesidad de gozar de ellas, pues sabemos que en nuestro país las consecuencias que han provocado los sismos más recordados o que han dejado un gran impacto en la sociedad, el sector educación ha sido uno de los más afectados. Recordemos que uno de los últimos sismos que ha dejado a miles de estudiantes sin aulas, ha sido el ocurrido en la madrugada del 26 de mayo de 2019, pues con 8 grados de magnitud dejó, según los Centros de Operaciones de Emergencias Regionales (COER), 217 centros educativos afectados en las regiones de Loreto, Cajamarca y San Martín, dejando fuera de las aulas alrededor de 57 098 estudiantes, de los cuales 297 pertenecen a las instituciones con consecuencias más graves; en estas infraestructuras educativas, además de identificar aulas colapsadas, se registró espacios de encuentro y estudio, tales como comedores, salas de cómputo, bibliotecas, auditorios, baños y almacenes, afectados por el movimiento telúrico con epicentro en el distrito de Lagunas en la región de Loreto (Convoca.pe, 2019). A partir de esto, se generan cuestiones a las cuales esta investigación se dedicaría a responder; nacen preguntas como : ¿ qué sucedería con otros centros educativos ubicados en las diversas regiones del país, resistirán a sismos de magnitudes similares?, ¿de dónde nacen las consecuencias que se producen después de los movimientos sísmicos?, ¿ es

necesario el reforzamiento estructural de las instituciones educativas para mitigar los efectos de un sismo?, ¿es preferible la demolición de estas infraestructuras y su reconstrucción de acuerdo a las nuevas normas de diseño sismorresistente? y ¿cuál de estas alternativas es más viable económicamente para el interesado? Es importante resaltar que uno de los principales factores para elegir una adecuada alternativa es el precio que lleva consigo la elección. En un artículo publicado en septiembre de 2019 por el diario Correo en el que se señala como título “92 colegios siguen destruidos desde el terremoto del 2007”, la entonces titular del Minedu, Flor Pablo Medina, expresó que *“siete de 10 centros educativos del país necesitan una nueva infraestructura. Solo tres están en buenas condiciones”*; asimismo, en este mismo artículo se describe a voz de la misma titular de educación que *“recién para el 2030, la cartera que encabeza habrá cerrado la enorme brecha de infraestructura educativa en el país y reveló que para lograrlo se invierte, desde hace cuatro años atrás, 2 mil 500 millones de soles al año en la mejora de instituciones educativas”* (Correo, 2019). Sea la elección de nuevas infraestructuras de acuerdo a las nuevas normas de diseño sismorresistente o mejoras de instituciones educativas mediante métodos de reforzamiento estructural, ambas necesitan ser analizadas tanto técnica como económicamente.

1.3 Alcance

El siguiente trabajo de investigación pretende cubrir los aspectos necesarios para realizar un análisis y posterior decisión respecto al reforzamiento de una estructura en un centro educativo o si esta requiere ser construida nuevamente en su lugar. Asimismo, se utilizará enfoques tanto técnicos como económicos, relacionados al contexto peruano y las limitaciones que esto implica, que pueden ser tomados en cuenta considerando las ventajas y desventajas de los diferentes modelos de decisión aplicando comparaciones exhaustivas entre ellos.

1.4 Objetivos

El objetivo general del presente proyecto de investigación consiste en definir la opción óptima en términos técnico-económicos entre las dos alternativas planteadas; la demolición y posterior reconstrucción de la estructura, o el reforzamiento de la estructura.

Se busca que el análisis de los costos de reforzamiento y los costos de demolición y reconstrucción permitan que los directivos a cargo de los centros educativos cuya estructura no cumple con los parámetros antisísmicos de la normativa actual adquieran una noción de los costos requeridos para el que la edificación cumpla con las normas vigentes. De este modo, se

espera que la vulnerabilidad sísmica de estructuras que son actualmente consideradas como esenciales se vea disminuida.

1.5 Metodología

La metodología del presente trabajo de investigación consiste, primero, en realizar una revisión de investigaciones realizadas sobre el tema para poder conocer la situación de los centros educativos en el Perú respecto a su sistema estructural y comportamiento frente a las sollicitaciones sísmicas; para poder luego discutir las posturas de diversos autores sobre las recomendaciones que estos hicieron. En ese sentido, se hará una evaluación del sistema estructural de los centros educativos construidos con la norma sismorresistente anterior al año 1997 y se analizará las distintas fallas que estos han tenido al hacer respuesta a los sismos ocurridos en los últimos años en el Perú. Asimismo, se realizará un análisis técnico respecto a los tipos de reforzamiento, procesos de demolición, entre otros teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que implica cada uno de ellos. Posteriormente, se hará una investigación en el campo económico y se buscará obtener presupuestos tentativos tanto para sistemas de reforzamiento o para la demolición y posterior construcción de una nueva estructura. Finalmente, en base a un análisis técnico-económicos de dos alternativas de reforzamiento en sentido longitudinal que serán la colocación de aletas de concreto armado y el cierre de paños con albañilería, métodos que serán aplicados en un pabellón típico considerando parámetros más desfavorables para posteriormente determinar la mejor opción respecto al costo de reparación o de construcción de un nuevo centro educativo, en el que también se darán las pautas necesarias para que puedan ser aplicadas en los centros educativos.

2 Revisión de literatura

2.1 Investigaciones Anteriores

Sobre el reforzamiento sísmico de los centros educativos en el Perú, desde hace varios años se han realizado investigaciones que persisten en evaluar la vulnerabilidad sísmica de los centros educativos.

En Huancayo Metropolitano se realizó una investigación donde se evaluó la vulnerabilidad de 69 centros educativos (90% del total) obteniendo como resultado que el 17% son altamente vulnerables, el 69% son vulnerables y el 14% no son vulnerables frente a sismos severos;

haciendo énfasis en que los pabellones construidos antes de que se promulgue la norma sismorresistente son los más vulnerables. (Parraga & Catay, 2013)

Frente a esto, se espera que se destinen esfuerzos tanto en el ámbito de la investigación como en la realización de proyectos y normas que solucionen esta problemática, pues la eventual ocurrencia de un evento sísmico ocasiona mayores pérdidas materiales y de recursos que los que podría destinarse a un posible reforzamiento de la estructura, sin desestimar las vidas de los ocupantes de las edificaciones que se encuentran en riesgo.

En la actualidad se está desarrollando el Plan Nacional de Infraestructura Educativa al 2025 que pretende reducir la brecha de Infraestructura pública, la cual abarca un costo de S/. 100,499 millones de soles. Para reducir la vulnerabilidad sísmica en dicho proyecto se optó por el reforzamiento incremental mediante muros de concretos acoplados debido a su bajo costo y fácil empleo. (Pérez, 2018).

En el párrafo anterior se mencionó uno de los tipos de reforzamiento que se han estado investigando para su aplicación en el país, a continuación, se hará una breve reseña de las técnicas para reforzamiento incremental expuestas en la tesis de Gustavo Loa, puesto que en esta se hace énfasis en la problemática de las edificaciones construidas antes del año 1997 y se plantea 3 opciones de reforzamiento para los módulos 780 PRE.

Técnicas para Reforzamiento Incremental

Estas técnicas se desarrollan consisten en un reforzamiento incremental que contempla tres fases. En las dos primeras fases los elementos adicionados en el reforzamiento están dirigidos hacia evitar la falla por columna corta en el sentido longitudinal mediante la separación de elementos estructurales y tabiquería, mientras que la tercera fase se asocia al reforzamiento en dirección transversal para solucionar el problema de levantamiento. Unificando las tres fases se espera llegar a conseguir en los centros educativos el desempeño requerido en una edificación esencial.

Ø Reforzamiento mediante muretes de Albañilería Reforzada con Mallas MARM (Loa, 2017):

Concepto: Se coloca muretes de albañilería confinados con columnetas a cada lado de una columna, luego se realiza el enchaquetado de estos elementos mediante una malla electrosoldada Q139 y se tarrajea para formar un muro compuesto.

Objetivo: Se busca mejorar la rigidez y resistencia del sistema estructural.

Desventajas: Se disminuye la ductilidad ya que el elemento crítico para la falla global estará relacionado con el desplazamiento máximo del elemento de albañilería reforzada.

Ventajas: Es un método que demanda poco costo y resulta de fácil construcción; además, la experiencia de campo muestra que esta técnica de reforzamiento ha dado resultados satisfactorios frente a sismos moderados.

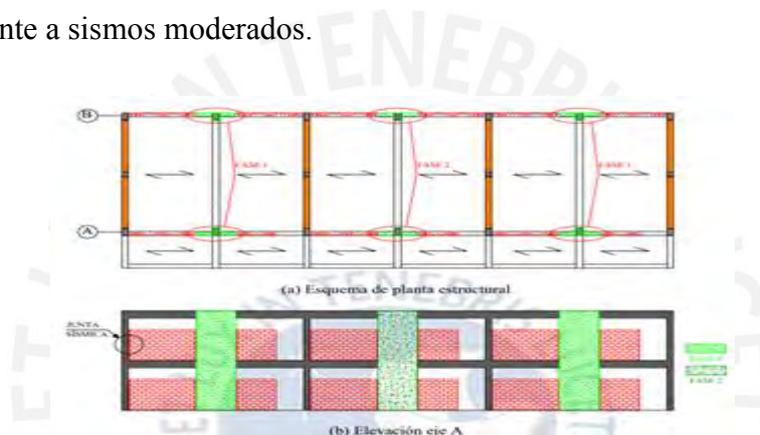


Figura 1. Esquema del reforzamiento MARM de un centro educativo típico presentado en la tesis de Loa 2017

Ø Reforzamiento mediante Incorporación de Muros Acoplados de Concreto Armado IMACA (Loa, 2017):

Concepto: Se refuerza tres columnas continuas de los ejes longitudinales, aumentando el tamaño de la columna central y convirtiendo las columnas adyacentes a esta en muros de concreto. También se adicionará un refuerzo a estas zapatas ya que se generará cargas axiales adicionales que influyen en su desempeño durante el sismo.

Objetivo: Se busca rigidizar y aumentar la resistencia lateral de la estructura en ambos pisos.

Desventajas: El tiempo de construcción es prolongado y se requiere más mano de obra que en otros métodos de reforzamiento.

Ventajas: Se mejora el desempeño de la estructura en general, ya que rigidiza y aumenta la resistencia en cada piso.

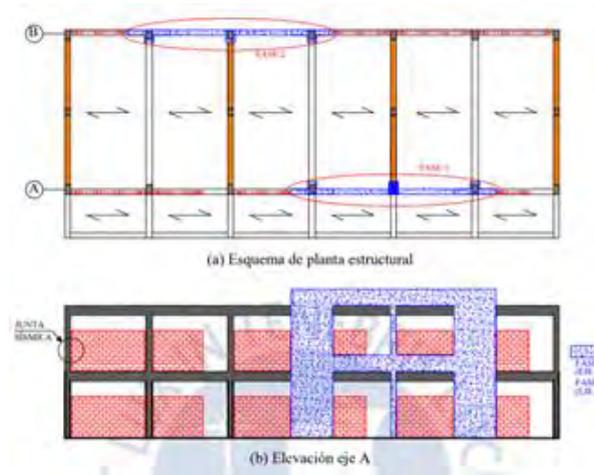


Figura 2. Esquema del reforzamiento IMACA de un centro educativo típico presentado en la tesis de Loa 2017

Ø Reforzamiento con la Adición de Marcos de Acero con Arriostres Concéntricos ACMAC (Loa, 2017):

Concepto: Se trata de la adición de marcos de acero arriostrados concéntricamente dentro de los pórticos de la estructura de manera que se alivien las fuerzas sobre el marco de concreto armado.

Objetivo: Se busca mejorar la rigidez y resistencia de la edificación para un mejor desempeño durante los eventos sísmicos.

Desventajas: Su costo es mayor con respecto a las anteriores.

Ventajas: El tiempo de implementación de este sistema es bastante corto, la colocación de este sería de solo unos días.

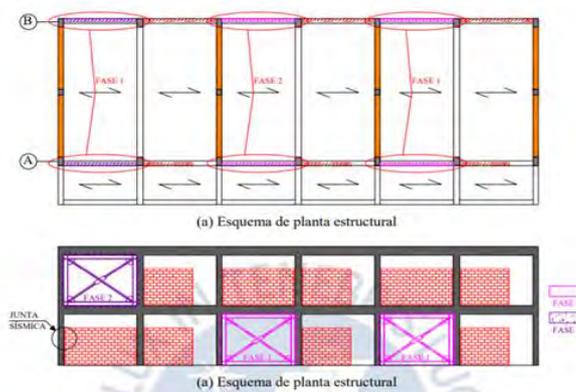


Figura 3. Esquema del reforzamiento ACMAC de un centro educativo típico presentado en la tesis de Loa 2017

Se ha estimado que las estructuras de los centros educativos previos a la implementación de la norma E.030 de 1997 no presentan un desempeño adecuado debido a que presentan sistemas estructurales muy flexibles y, debido a la configuración de columnas y tabiques, pueden presentar falla por columna corta; esto debido a que en años anteriores no se consideraba a los centros educativos como una edificación esencial. Estos centros educativos no presentan problemas de desempeño frente a sismos ocasionales, sin embargo, para sismos raros la estructuración asignada no suele presentar la capacidad necesaria. De lo expuesto se ha concluido que estas técnicas de reforzamiento son de fácil aplicación y permiten reducir los costos de una posible reparación de daño estructural indeseable asociado a la ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

2.2 Evolución de la Norma E.030 entre los años 1997-2003

El salto de la norma de 1977 hacia la norma de 1997 se dio a partir del sismo ocurrido en 1996, donde se observó colegios nuevos con serios daños en su estructura debido a que las deformaciones laterales en los edificios fueron mayores a los esperados, por lo que se concluyó que la norma debía ser cambiada.

En esta norma, la de 1997, se modifican los coeficientes R de la expresión general $H=USCZP/R$ aumentándolos aproximadamente 2.5 veces, de modo que al calcularse las deformaciones laterales se obtengan valores mucho mayores.

A partir de esta norma se estableció que los centros educativos serían considerados como edificaciones de uso esencial.

En el año 2001 sucede el sismo de ático que afectó principalmente a Arequipa, Moquegua y Tacna.

Por lo que, en base a los daños, se hacen algunos ajustes a la norma como amplificar las fuerzas de sismo un 25% con lo cual también se cambian los factores de reducción de ductilidad. Estos factores se incluyeron finalmente en la norma publicada el año 2003.

Luego de lo aprendido de estos sismos, se determinó que los nuevos proyectos de centros educativos necesitarían de columnas más grandes en la dirección que carece de muros. También se concluyó que los primeros colegios Infes presentarían el problema de columna corta en un eje de los dos existentes en los pabellones de aulas.

En general la norma de 1997 y la del 2003 son muy parecidas, y esta última ha ido variando muy poco hasta la actualidad. Se puede decir que desde 1997 la norma solicita que las edificaciones sean más rígidas para tener deformaciones laterales menores.

2.3 Definiciones

- Análisis estructural

Para la ingeniería civil el análisis estructural se ha vuelto fundamental, y ha tomado cada vez mayor influencia en los proyectos de construcción ya que con ella se identifican los valores necesarios para un diseño seguro y , muy importante para los proyectos de ingeniería, económico, debido a que el análisis estructural es una ciencia que se encarga de determinar, a través de modelos matemáticos, las diversas propiedades de la estructura, como la rigidez, resistencia, durabilidad, estabilidad y seguridad. Asimismo, es importante indicar que con el análisis estructural se pueden calcular diferentes elementos estructurales, como lo indica Villarreal Castro, “arcos, losas, armaduras, vigas, placas, bóvedas, cúpulas, cascarones, reservorios, puentes, cables, estructuras sobre bases elásticas e inelásticas, membranas y otros” (2009).

Es importante mencionar que el análisis estructural, tiene diversas líneas de investigación, sin embargo, como lo define Kassimali, Galán y Mellado, “que es la predicción del desempeño de

una estructura ante las cargas prescritas o efectos externos, tales como movimientos en los apoyos y cambios de temperatura” (2015).

Definitivamente, si deseamos que una estructura tenga el mejor desempeño y que ésta demuestre que sus elementos estructurales son lo suficientemente seguros y económicos, pues cuentan con las dimensiones precisas para cada uno de ellos, es importante que el análisis estructural sea el que lo determine.

- **Reforzamiento estructural**

En los últimos años, la construcción informal y fuera de lineamientos técnicos ha tomado gran parte de la capital peruana y diversas provincias en el interior del país, lo que ha incrementado la vulnerabilidad de las personas y el peligro de construcciones no seguras ante eventos sísmicos. Sin embargo, esto no solo ha significado el riesgo en el país sino también las construcciones hechas con normas antiguas y/o métodos conservadores y convencionales, lo cual hoy en día la ingeniería las descartaría como seguras o sismorresistentes.

Es por ello, según Ochoa Román y Ulcuango Merino, el reforzamiento de una estructura, buscando que esta pueda tener un buen desempeño ante un evento sísmico y pase de ser insegura a sismorresistente, es producto de una evaluación que diagnosticó que el sistema era vulnerable sísmicamente, por lo que prevalece el criterio de prevención ante el de reparación (2014).

Estos mismos autores describen algunos de los principales objetivos del reforzamiento estructural, en los que resaltan los siguientes:

- Preparar a una edificación para un evento sísmico
- Brindar seguridad a una estructura que no lo poseía
- Mitigar o eliminar daños materiales y pérdidas humanas
- Disminuir los desplazamientos laterales de la estructura (Ochoa Román y Ulcuango Merino, 2014)

- **Reforzamiento integral**

En el sector construcción encontramos diversas alternativas de reforzamiento, buscando mitigar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras y reducir el riesgo; asimismo, se busca que estas tengan un buen desenvolvimiento durante un evento sísmico, convirtiéndolas en edificaciones sismorresistentes. Entre las opciones que nos ofrece la ingeniería encontramos el reforzamiento integral, el cual es definido por el Banco Mundial, como el tipo de reforzamiento de edificación

realizada en una única etapa en la cual se logra a cabalidad el cumplimiento de los objetivos integrales de los reglamentos de diseño. Implica un mayor esfuerzo económico y un mayor tiempo de interrupción del uso de la edificación (2017).

Es importante entender a qué comportamiento llevaría tanto las normas de diseño como el reforzamiento estructural, siendo este, generalmente, que la nueva o modificada estructura tenga la capacidad de disipación de energía en el rango inelástico; a esto Ascurra Cano y Muriel Ortiz agregan que “las técnicas convencionales estipuladas por la norma se basan en la combinación de resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía en el rango inelástico de la estructura, tomando como condición su ductilidad” (2019).

- **Rediseño estructural**

En la ingeniería civil se presenta frecuentemente el problema de juzgar el desempeño de alguna estructura deficiente, imperfecta o defectuosa, ya sea por los materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas, por grietas, rajaduras o lesiones que surgieron durante su uso; inclusive, también surgen estas conceptualizaciones por fallos en el proyecto o en el proceso de ejecución; a esto Forniés agregó en su publicación “Análisis no lineal y rediseño de estructuras de edificación de hormigón armado” que se trata de “estudiar la base teórica subyacente a las posibles decisiones a tomar —aceptación, reparación, refuerzo o demolición de la estructura—, tema que las Normas sólo recogen parcial y fragmentariamente” (1981).

- **Nuevas estructuras de acuerdo a la norma E.030**

La actualización de la norma de diseño sismorresistente (E.030) ha traído consigo algunos cambios como resultado de los diversos estudios, enfocados en el comportamiento o desenvolvimiento estructural de acuerdo al sitio y a las sollicitaciones sísmicas, y, también, de omisiones que ahora la tecnología ha permitido descubrir. Asimismo, estas nuevas estructuras buscan, tal como lo indica el artículo 3 de la norma mencionada, algunos principios que se enfocan en sus tres filosofías de diseño sismorresistente, los cuales son los que se mencionan a continuación:

- Aunque se presenten grandes daños en la estructura debido a sismos severos, la edificación no debería colapsar ni generar lesiones graves a sus ocupantes.
- La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto con daños reparables.

- Para construcciones calificadas como esenciales, se debería tener en cuenta contemplaciones especiales dirigidas a que estas edificaciones permanezcan operativas luego de un movimiento severo.

- **Demolición**

Es un proceso que consiste en la destrucción de elementos constructivos o todo inmueble, que sea necesario eliminar para una adecuada construcción de una nueva edificación; asimismo, Zaldumbide Brito define a la demolición como el proceso de deshacer una obra o edificación hasta conseguir su total desaparición, pudiendo recuperar materiales para ser reutilizados en algunos casos y reciclados en otros y los que no simplemente desalojados (2013).

Es importante indicar que frente a esta situación se debe actuar de la forma más cuidadosa y ordenada para la conservación de algunos materiales como escombros de concreto o acero.

- **Análisis económico**

El análisis económico ha sido significativo para la elección de proyectos y las metodologías que estos usarían; es por ello que Duarte, Arias y Tibaná señala que el análisis económico tiene como propósito encontrar los beneficios y costos de acuerdo a la situación de cada país, la demografía y sus efectos en la economía; Asimismo, los mismos autores agregan que “la evaluación económica, se encamina en determinar el precio económico de los factores de producción, eliminando las distorsiones existentes en el mercado y la subvaloración o sobrevaloración de los bienes en los mercados tanto nacionales como internacionales” (2007).

3 Desarrollo de la investigación

3.1 Causas de Fallas

La investigación realizada se enfoca en tomar la decisión entre reforzar o construir una nueva estructura de un centro educativo. Es entonces importante conocer la causa de las fallas estructurales en colegios, universidades y otros centros. A continuación, se abordará la principal causa de falla estructural en centros educativos que es la falla de columna corta o cautiva que se explicara a detalle el porqué de su causa y otras fallas que la desencadenan.

3.1.1 Columna Corta

La falla estructural de columna corta o columna cautiva se da a causa de una modificación accidental en la estructura inicial de la columna. Este cambio en la columna se da cuando el

elemento está sometido a fuerzas o solicitaciones horizontales, la luz libre de la columna se ve acortada por un elemento, generalmente no estructural como la tabiquería que forman los alfeizares de las ventanas altas. Este elemento limita la suficiencia de las columnas para poder deformarse en toda su altura en sentido lateral. (Guevara & García, 2001)

La fuerza aplicada en una columna esbelta crece en igual proporción al incremento del desplazamiento lateral en un comportamiento elástico lineal. Cuando aparecen las grietas horizontales que indican el inicio de la fase inelástica en la cual el desplazamiento lateral crece de manera importante sin que se produzca un incremento significativo de la fuerza cortante ni del momento flector. Lo contrario ocurre en una columna corta en la cual la fase elástica es muy reducida y termina con la aparición de una grieta diagonal que indica falla por corte. Luego de esto el desplazamiento crece muy poco y casi de inmediato sobreviene la falla. En sismos leves, que no producen daño estructural, las columnas cortas alcanzan fuertes cortantes y momentos flectores significativamente mayores que las columnas de altura libre completa. Al presentar estas fuerzas internas las columnas cortas ante un terremoto importante serán las que primero ingresen al rango inelástico y debido a su escasa capacidad de deformación inelástica serán las que prematuramente y de súbito comprometieron su trabajo de soporte de vigas y techos. (Muñoz, 2003)

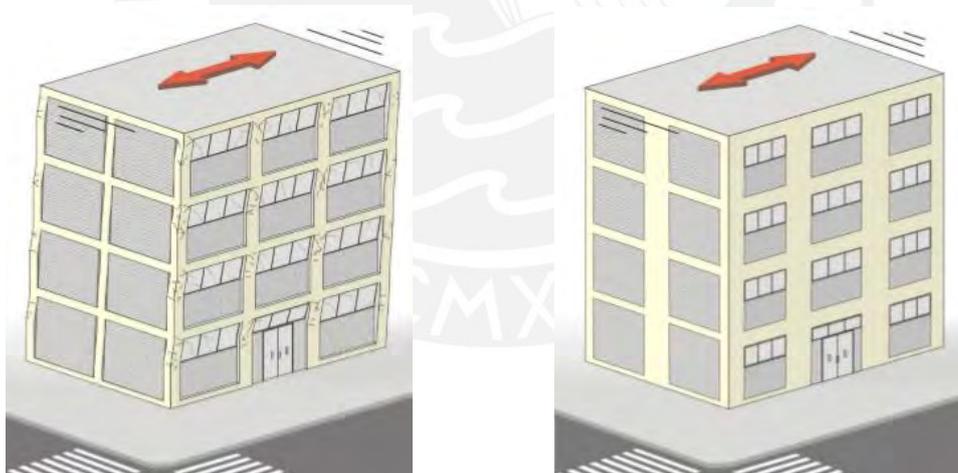


Figura 4. Edificio con columnas cortas (lado izquierdo) y edificios con columnas rígidas (lado derecho)

Como se muestra en la figura 04 un edificio que cuenta con columnas cortas en uno de sus ejes durante un sismo importante debido a la poca altura deformable de las columnas, la falla será súbita y hasta podría ser simultánea en todas las columnas cortas del entrepiso con el consiguiente riesgo de colapso. Al contrario de lo que se muestra en la figura 05 que cuenta con

columnas esbeltas que tendrán un rango mayor de desplazamiento lateral, en que aún agrietada y en régimen inelástico, podrá seguir sirviendo de apoyo a las vigas y techos. (Muñoz, 2003) Generalmente, como lo menciona San Bartolomé: “Los locales educativos existentes presentan en uno de sus ejes alféizares de ventanas bastante altos hechos de albañilería, no aislados de la estructura aporricada, lo que da lugar a la formación del problema de columna corta”. Un ejemplo de lo mencionado se aprecia en la figura N° 07 que muestra al centro educativo Casimiro Cuadros en Arequipa, que uno de sus pabellones tradicionales con sistemas de pórticos flexibles, tuvieron fallas de columna corta después del terremoto de junio del 2001. El problema se intensificó debido a la deficiente calidad de construcción del centro educativo Casimiro Cuadros a tal extremo que se decidió la demolición de ese pabellón (Quiun, Muñoz y Tinman, 2001).

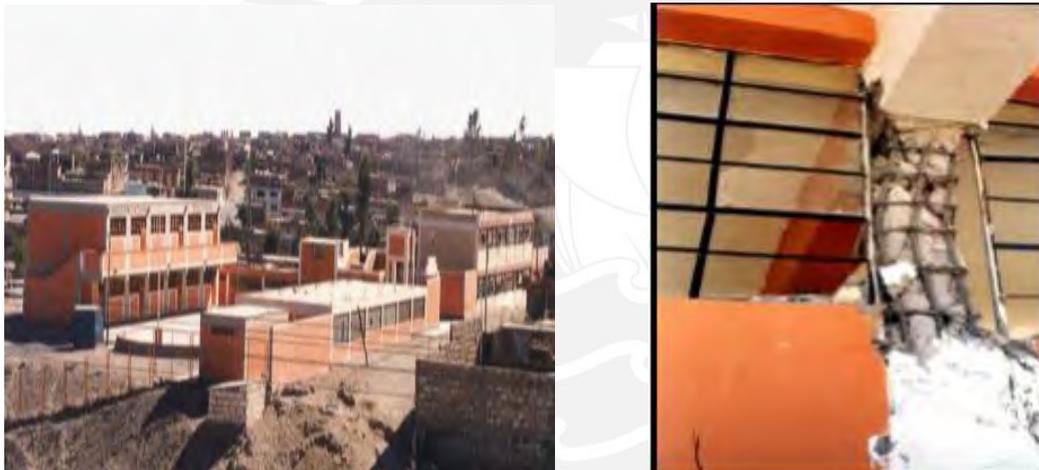


Figura 5. Centro educativo Casimiro Cuadros en Arequipa (lado izquierdo) y falla de columna corta en un pabellón antiguo (lado derecho)

Algunas veces los alféizares de ventanas bastante altos hechos de albañilería si se encuentran separados de la estructura, pero con juntas de muy poco espesor (San Bartolomé et al., 2007) pero debido a que las edificaciones presentan pórticos flexibles presentan fallas de columna corta. Es así como una de las causas que generan también el problema de columna corta y poca capacidad de resistencia ante sismos de gran magnitud es la poca rigidez con la que se dota las edificaciones. Existen edificaciones educativas que cuentan con pórticos muy flexibles en alguna de sus direcciones y estos pórticos son también poco robustos de concreto contando sus vigas y columnas con dimensiones pequeñas que solo fueron proyectadas para resistir cargas

de gravedad, como lo son la carga viva y carga muerta del edificio, es este el motivo por el cual en frente a sismos la edificación no tiene una adecuada resistencia, ductilidad y rigidez. Un ejemplo de lo mencionado se muestra en la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, en la cual en el pabellón de Ingeniería Electrónica se intentó prevenir de contar con columnas cautivas mediante el uso de ventanas entre la columna y los tabiques; sin embargo, al carecer el edificio de una adecuada rigidez el marco de la ventana fue suficiente para dar inicio a la falla de columna corta. (Quiun, Muñoz y Tinman, 2001).

3.2 Evaluación estructural y reforzamientos

Como se indica en la investigación de Loa se deberá evaluar la seguridad estructural de una edificación existente cuando:

- Se tengan indicios de que ha sufrido algún daño.
- Vaya experimentar alguna modificación.
- Cambie su uso.
- Se requiere verificar el cumplimiento de la normativa vigente.

Existen diferentes métodos de evaluación que nos permiten conocer si una estructura necesita ser rehabilitada o no. Estos métodos varían de acuerdo al reglamento de cada país. En el caso de Perú el reglamento es muy simple en este aspecto y cuenta en la norma E.030 de diseño sismorresistente con un capítulo de evaluación, reparación y reforzamiento de estructuras. En la norma E.060 de concreto armada indica en su capítulo 20 la evaluación de la resistencia de estructuras existentes.

El método de evaluación sísmica de acuerdo al reglamento nacional de construcciones es en base a la norma E.030 que nos brinda normas básicas de diseño sismorresistente y establece los requisitos mínimos para que las edificaciones tengan un adecuado comportamiento sísmico. Sin embargo, sólo contamos con un capítulo de evaluación, reparación y reforzamiento de estructuras dañadas por sismos. En el cual se nos indica en su artículo 45 ocurrido el evento sísmico, la estructura es evaluada por un ingeniero civil, quien determina si la edificación se encuentra en buen estado o requiere de reforzamiento. En su artículo 46 nos indica que la reparación o reforzamiento dota a la estructura de una combinación adecuada de rigidez, resistencia y ductilidad que garantice su buen comportamiento en eventos futuros. Las edificaciones se pueden intervenir empleando los criterios de reforzamiento sísmico progresivo y en la medida que sea aplicable, usando los criterios establecidos en el documento

“Engineering Guideline for Incremental Seismic Rehabilitation”, FEMA P-420, Risk Management Series, USA, 2009. (Norma E.030, 2018)

Otros métodos para saber si una estructura requerirá ser reforzada o no, son método de procedencia extranjera que se explicaran, siendo uno de ellos el método ATC-21 que viene a ser un método analítico fácil de aplicar que evalúa los peligros sísmicos potenciales en una edificación mediante una calificación inicial y mientras se va avanzando con la evaluación se va depurando características estructurales de la edificación y en base a ellas se va aumentando o disminuyendo el puntaje dado inicialmente. El proceso de evaluación incluye determinar con qué sistema estructural se cuenta para resistir fuerzas sísmicas y de qué materiales está conformada la edificación. Dependiendo de las características como la altura, el grado de deterioro, si se presenta irregularidades geométricas, si se cuenta con algún piso flexible o si existe torsión en planta en la edificación. En base a las características mencionadas se aumentarán o disminuirán puntos al puntaje inicial. El puntaje que se utiliza en este método va desde el puntaje más bajo de cero que indica que la edificación presenta un inadecuado comportamiento sísmico hasta el puntaje más alto de seis que indica que existe un muy buen comportamiento sísmico. Es de este modo que, si el resultado final con el que cuenta la edificación es menor o igual a dos, se necesitará contar con una evaluación más especializada como lo es la del método FEMA-273.

Si luego de realizar las evaluaciones mencionadas y no se obtienen buenos resultados se requerirá realizar en la edificación analizada un reforzamiento estructural o en caso contrario su completa demolición. En el caso de optar por el reforzamiento estructural del centro educativo analizado se buscará reducir el riesgo sísmico, con la finalidad de prevenir o disminuir consecuencias como: muerte y lesiones de cualquier persona que se encuentre haciendo uso del centro educativo; daño o colapso de la edificación; daño y pérdida de mobiliario o posiblemente la interrupción de los servicios educativos. En la investigación de Loa se mencionan algunas técnicas de reforzamiento tradicionales para estructuras de concreto armado, que son las siguientes: (Loa, 2017)

- Inclusión de muros acoplados con vigas de gran peralte: Esta técnica consiste en el reforzamiento de columnas convirtiéndolas en muros y en la adición de vigas de acoplamiento.
- Inclusión de un nuevo pórtico longitudinal: Se basa en la inclusión de un pórtico complementario en el sentido longitudinal de la edificación.

- Enchaquetado general de columnas y colocación de aletas de concreto armado: El reforzamiento permite rigidizar los elementos responsables de la poca rigidez lateral de la estructura (las columnas).
- Cierres de paños con muros de albañilería en los dos ejes longitudinales: La técnica muy práctica consiste en cerrar tres paños con muros de albañilería.

Todas las técnicas mencionadas anteriormente sugieren realizar una junta sísmica de separación entre los elementos estructurales y los no estructurales. También se sugiere que se utilice algún elemento que le proporcione rigidez a todo el sistema sismorresistente. Todo lo descrito tiene el objetivo principal de eliminar la falla de columna cautiva, aumentar rigidez y resistencia a la edificación en su dirección longitudinal. (Loa, 2017)

Se debe tener en cuenta que cuando se quiera escoger algún método de reforzamiento esta elección dependerá de algunas características como por ejemplo: el grado de peligro según la importancia de la edificación, de los beneficios sociales y de los recursos económicos disponibles (FEMA 356, 2000) Se menciona en la norma E.030 de diseño sismorresistente que los centros educativos se encuentran categorizados como edificaciones esenciales es este el motivo por el cual la SEAOC exige que cumpla los objetivos esenciales, que serían llegar a un estado operacional para un sismo ocasional y a un estado funcional para un sismo raro.

3.3 Análisis técnico

Como ya se describió en las secciones precedentes, el porcentaje de pabellones de centros educativos construidos en años previos a 1997 es elevado; por lo que se tiene pabellones edificados en diferentes regiones a lo largo y ancho de todo el Perú. Si bien, la estructuración y la distribución arquitectónica mantienen patrones típicos, las condiciones de los perfiles de suelos y zonas sísmicas dependen de la ubicación del proyecto, lo que hace que la respuesta frente a los eventos sísmicos varíe. En la presente sección, se analizará un pabellón típico que fue objeto de estudio de investigaciones pasadas (**ver figuras 6 y 7**); en ese sentido, se tomará los datos de salida de dichas investigaciones para poder compararlas y realizar un análisis crítico. Para ello se considerarán los parámetros más desfavorables a fin de obtener las condiciones más críticas de respuesta de la estructura frente a los eventos sísmicos y luego se planteará alternativas de mejora.

Consideraciones generales:

- ❖ Las alternativas de reforzamiento se aplicarán a la dirección longitudinal debido a que se tiene un comportamiento deficiente frente a las solicitudes sísmicas como se describe en las secciones precedentes. Asimismo, en las siguientes secciones, se realizará el análisis sísmico, en dicha dirección, de acuerdo con los requerimientos de norma E.030 del año 2017. Finalmente, se plantean alternativas de reforzamiento integral, es decir, de una sola intervención.
- ❖ El análisis y reforzamiento se realizará para una estructura típica conformada por 2 niveles y 3 salones por nivel. Este módulo resulta el más repetitivo en la costa peruana (INEI, 2013)
- ❖ Las aulas típicas son cuadradas de 7.80 m de lado y altura de 3.35 m.
- ❖ Se tienen losas aligeradas de 20 cm.
- ❖ El peso sísmico considera la carga muerta total y el 50% de la sobrecarga.
- ❖ Para el análisis, no se consideran factores como la antigüedad de la construcción, proceso constructivo, y demás parámetros que son propios de la zona y ubicación de la edificación.

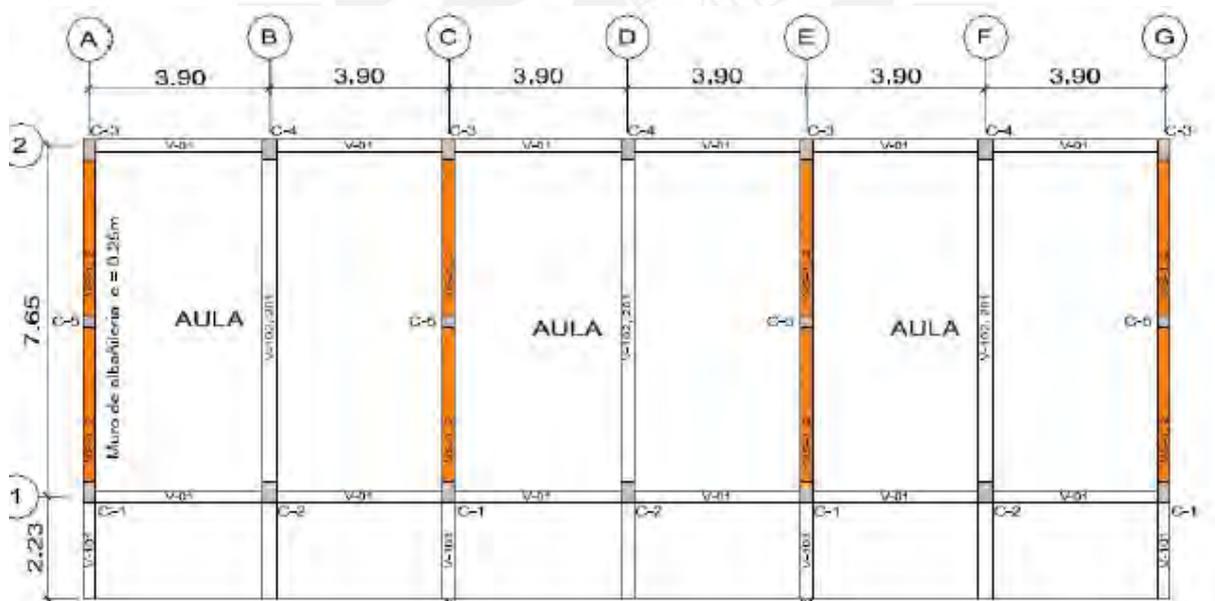


Figura 6. Vista en planta de un módulo típico 780 Pre. (Fuente: Informe DAI, 2007)

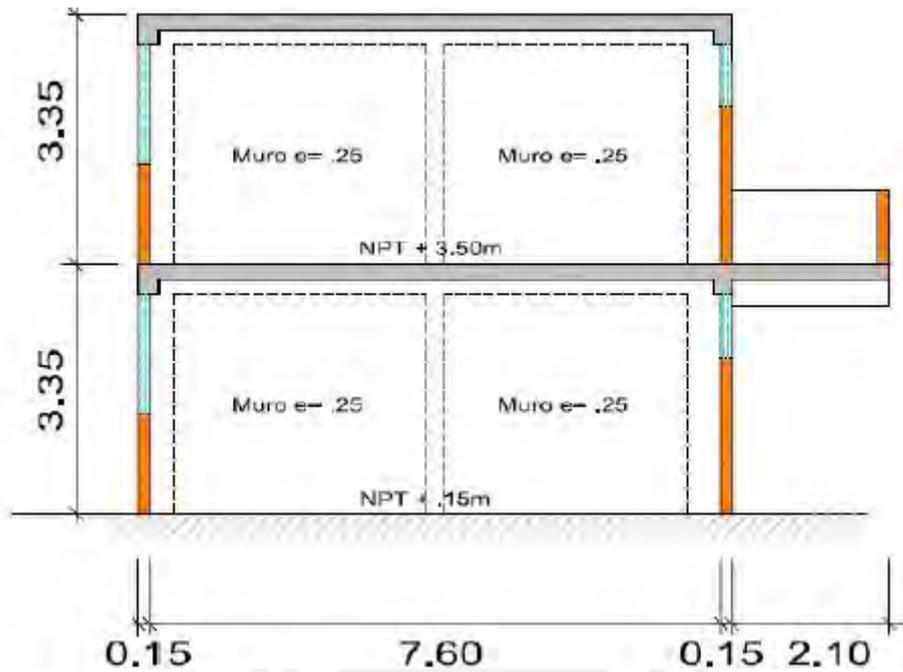


Figura 7. Vista en elevación de un módulo típico 780 Pre. (Fuente: Informe DAI, 2007)

3.3.1 Análisis del sistema estructural de los módulos sin intervención

El análisis de la estructura se realizará de acuerdo con la Norma E.060-2017 y los resultados que se mostrarán serán tomados de investigaciones pasadas. Como es sabido para este tipo de módulos, se presentan problemas de columna corta debido a que la separación entre columnas y tabiques es insuficiente. Por ello, se determinará las derivas y se comparará con las máximas establecidas por la actual Norma E.030.

En la siguiente tabla se muestra los parámetros considerados para el análisis estructural en la dirección longitudinal. Como ya se mencionó, se utilizarán los valores más desfavorables.

Tabla 1. Parámetros considerados para la evaluación estructural en la dirección longitudinal

Parámetro	Valores usados
Factor de zona (Z)	Z=0.45
Factor de uso (U)	U=1.5
Perfil de suelo (S _x)	S3= Suelos blandos
Factor de amplificación del suelo (S)	S=1.10
Coefficiente de reducción de fuerza sísmica (R)	R=8 (Sistema de pórticos) *
Coefficiente de amplificación sísmica (C)	C=2.5
f _y acero (Kg/cm ²)	4200
f'c concreto (kg/cm ²)	175

Fuente: Adaptado de Gameros (2015)

* Según la tabla N° 6 de la norma E.030, para una edificación esencial ubicada en la Zona 4 no se permite usar un sistema de pórticos como sistema estructural; sin embargo, para el análisis de la estructura sin intervención, se considera R=8 (lo que implica que la estructura toma menor fuerza cortante). A pesar de considerar una menor fuerza cortante, la estructura en cuestión no cumple con los requerimientos mínimos de la norma.

A continuación, se muestra las características arquitectónicas y sistema estructural del módulo 780 PRE, el cual será objeto de estudio en la presente sección.

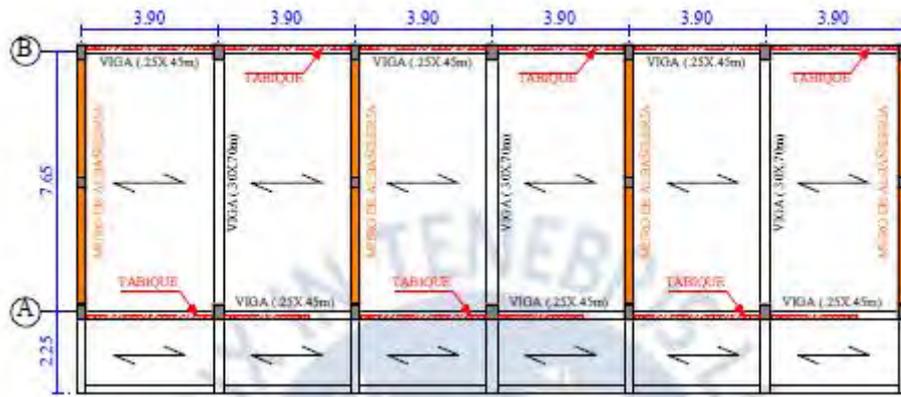


Figura 8. Planta estructural de los módulos típicos 780 Pre. (Fuente: Loa, 2017)

En la siguiente imagen se aprecia el modelo estructural realizado con el programa Etabs en donde se incluye en metrado de cargas de acuerdo a la norma E.020 y demás consideraciones que no se detallan, sin embargo, se muestran los resultados finales.

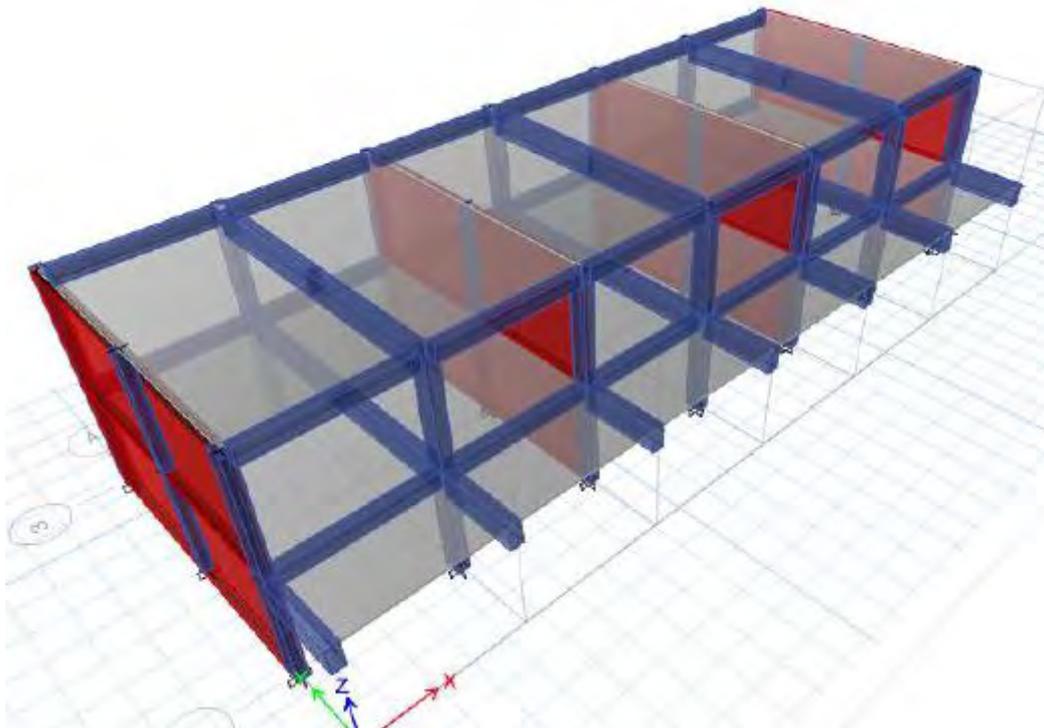


Figura 9. Modelo estructural de módulos 780 Pre. (Fuente: Gameros, 2015)

Se han tomado los resultados de investigación pasadas elaboradas para los módulos 780 PRE con las mismas características descritas anteriormente. Se muestran los resultados de dos trabajos de investigación.

Tabla 2. Desplazamientos y derivas en el sentido longitudinal R=8 (análisis estático)

Piso	Desplazamiento Elástico (cm)	Desplazamiento Inelástico (cm)	Desplazamiento de entrepiso (cm)	Deriva Inelástica	Deriva Inelástica en %
Segundo Piso	2.55	15.3	6.72	0.0201	2.01%
Primer Piso	1.43	8.58	8.58	0.0256	2.56%

Fuente: Gameros (2015)

Tabla 3. Derivas obtenidas para la dirección longitudinal R=8

Análisis elástico	Dirección longitudinal	Dirección transversal
Método estático	17 ‰	2 ‰
Método dinámico	15 ‰	2 ‰

Fuente: Loa (2017)

Cabe precisar que los resultados mostrados en la primera tabla, se consideró un coeficiente de amplificación del suelo $S=1.05$ y para la segunda $S=1.10$. Por otro lado, se puede apreciar que las derivas en ambos estudios, son considerablemente mayores al valor máximo establecido por la norma (7‰). Esto hace evidente la excesiva flexibilidad en el sentido longitudinal que ocasiona el mecanismo de falla por columna corta. En ese sentido, las medidas de reforzamiento se enfocarán en proporcionar mayor rigidez y resistencia al sentido longitudinal. También se puede verificar que el espaciamiento de la junta columna-tabique es insuficiente (2.5-5 cm).

ALTERNATIVAS DE REFORZAMIENTO SENTIDO LONGITUDINAL

3.3.2 Colocación de aletas de concreto armado

Consideraciones:

- ❖ Los resultados serán tomados de investigaciones pasadas
- ❖ El refuerzo planteado fue adaptado del informe entregado a la Dirección Académica de Investigación de la PUCP (DAI-PUCP) del 2007.
- ❖ Para el análisis sísmico, se consideró $R=6$ (sistema estructural de muros de concreto)

El refuerzo que se plantea y se analiza es tomado de la Tesis de Gameros y consiste en incrementar el peralte de las columnas (aprox. 1.30 m) del sentido longitudinal sin tener continuidad en la con las vigas y cimentación. Asimismo, para garantizar la transmisión de cortante entre de las vigas a los refuerzos, se plantea colocar varillas de acero de 5/8" ancladas a las vigas superiores.

En las siguientes figuras se muestra un corte y elevación del refuerzo.

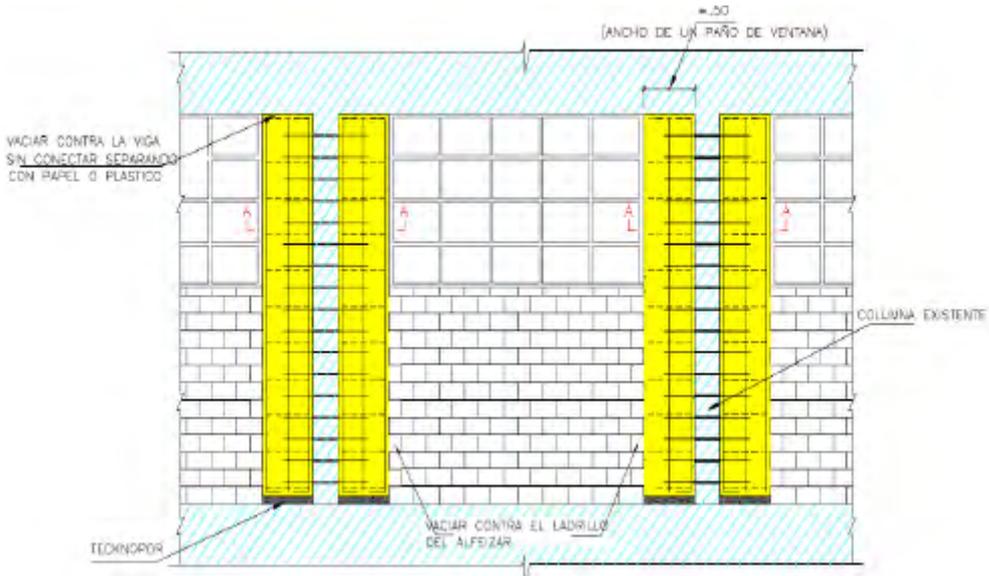


Figura 10. Vista de la elevación del refuerzo con aletas de concreto (Fuente: Informe DAI, 2007)

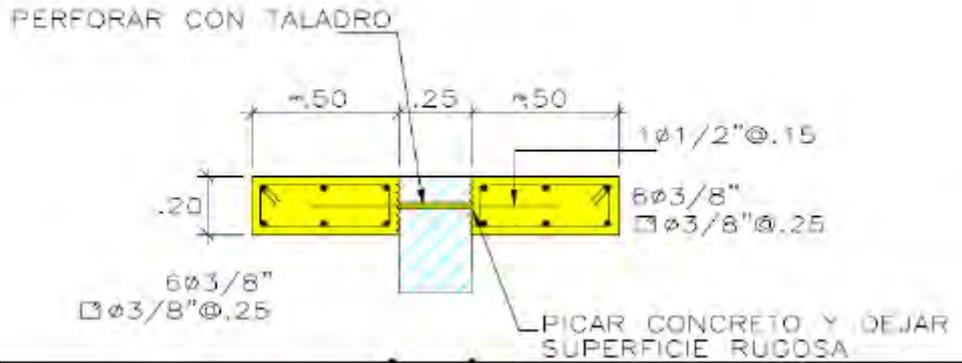


Figura 11. Detalle del refuerzo con aletas de concreto (Fuente: Informe DAI, 2007)

Para el análisis del refuerzo con aletas de concreto, se modeló la estructura en el programa SAP 2000 con las siguientes particularidades que se detallan mejor en la Tesis de Gameros.

- ❖ La unión aletas de concreto- columna se realizó con mediante bielas pequeñas
- ❖ Las aletas de concreto no tienen conexión con las zapatas, pero si tienen conexión con las vigas superiores con varillas incrustadas de 5/8”.
- ❖ La interacción del refuerzo de las aletas de concreto trabaja junto con los muros en la parte inferior de la columna.

Con las consideraciones descritas, se modeló la estructura y se realizó el análisis estático cuyos resultados se describen a continuación:

Se tiene una distorsión angular de 9‰ en la columna corta (valor cercano al permitido por la norma 7‰) y de 4.9‰ en la parte superior del muro, menor al 5‰ exigido.

Finalmente, se realizó el análisis para las solicitaciones de fuerza cortante y flexión. En esta parte se verificó de dotar a los elementos reforzados mayor capacidad a cortante con la finalidad de garantizar una falla dúctil. Para lograr este objetivo, se tuvo que añadir acero longitudinal en la parte de las aletas de concreto en las columnas que lo requieran. Por otro lado, en lo referente a la cimentación de la estructura, no se realizó modificación alguna. Lo descrito anteriormente, fue tomado de la Tesis de Gamero. Cabe recalcar que en el presente trabajo no se pudo modelar la estructura porque no se tiene información detalla de los planos estructurales y demás consideraciones propias de la edificación. Por ello, se tomó como referencia investigaciones pasadas que consideren patrones similares a la estructura en cuestión.

Tabla 4. Relación de resistencia suministrada vs resistencia requerida para el refuerzo con aletas de concreto.

Elemento	$\frac{\phi M_n}{M_u}$	$\frac{\phi V_n}{V_u}$
25x45	1.06	1.9
30x45	1.49	1.85
20x50	1.21	3.4

Fuente: Gameros, 2015

Como se aprecia en la tabla anterior, los factores de seguridad por flexión son menores a los de cortante, por lo que se espera que la estructura tenga una falla dúctil antes que una frágil.

3.3.3 Cierre de paños con albañilería

Al igual que la alternativa 1, las consideraciones para el refuerzo son tomadas de la Tesis de Gamero y se describen a continuación:

- ❖ Cierre de los paños de forma alternada con albañilería de 25 cm de espesor.
- ❖ El muro de albañilería no se considera como una estructura de albañilería confinada por su proceso constructivo.
- ❖ Para el modelado, se consideró un puntal tipo biela las diagonales del muro.
- ❖ Se consideró un factor de reducción de fuerza sísmica $R=3$ en la dirección longitudinal

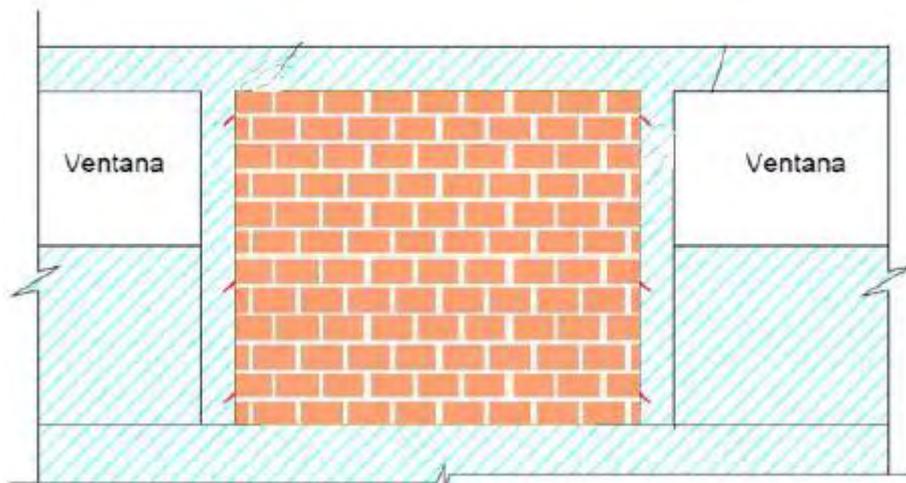


Figura 12. Detalle de elevación del refuerzo con cierre de paños (Fuente: Informe DAI, 2007)

Luego de realizar el análisis estático, se tiene los siguientes resultados:

Tabla 5. Desplazamientos laterales y derivas en el sentido longitudinal.

Piso	Desplazamiento Elástico (cm)	Desplazamiento Inelástico (cm)	Desplazamiento de entrepiso (cm)	Deriva Inelástica	Deriva Inelástica en %
Segundo Piso	0.85	1.9125	0.765	0.0023	0.23%
Primer Piso	0.51	1.1475	1.1475	0.0034	0.34%

Fuente: Gamero, 2015

En ambos pisos, se comprueba que la deriva es menor al máximo exigido en la norma (5%). Por otro lado, el desplazamiento máximo de entrepiso obtenido es de 1.2 cm, lo que conlleva a solucionar una falla frágil inducida por el mecanismo de columna corta.

Asimismo, para cumplir con los requerimientos de la norma E.070, se verificó que la carga en compresión sea menor a las obtenidas para el diseño por aplastamiento, tracción diagonal y cizalle. Es lo referente a la parte de cimentaciones, se verificó que la presión inducida en el terreno debido a la carga adicional, no sea mayor a la capacidad admisible del suelo.

3.4 Análisis Económico

Para esta parte del análisis, se harán comparativos referentes al costo que implica realizar el reforzamiento de estructuras mencionadas en capítulos anteriores y la construcción de nuevas estructuras que suplan el mismo trabajo. Para el desarrollo del mismo, se investigó en los diferentes centros de ventas en relación con estos tipos de insumos para obtener precios más actualizados.

3.4.1 Construcción

Para esta evaluación se hizo una investigación de diferentes fuentes bibliográficas que indican estimados de costo para demoliciones y la construcción de colegios.

Demolición:

En promedio, el costo de la demolición parcial mediante medios manuales y mecánicos de un edificio con un volumen estimado mayor a 250 m³ (correspondiéndole una altura edificada promedio de 4 m) se estima en S/. 23.17. Estos valores referenciales no incluyen el costo de demolición de la cimentación ni la del falso piso.

En la siguiente imagen se presenta un análisis referencial de precios unitarios detallando los componentes.

Tabla 6. Análisis de precios unitarios para demoliciones.

Unidad	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio parcial
Equipos				
h	Martillo neumático.	0,040	11,26	0,45
h	Compresor portátil eléctrico 5 m ³ /min de caudal.	0,020	19,05	0,38
h	Pala cargadora sobre neumáticos de 220 kW/4 m ³ .	0,041	185,01	7,59
h	Retroexcavadora sobre cadenas, de 118 kW, con cizalla de demolición.	0,035	289,94	10,15
h	Equipo de oxicorte, con acetileno como combustible y oxígeno como comburente.	0,031	20,35	0,63
Subtotal equipos:				19,20
Mano de obra				
h	Operario soldador.	0,035	21,95	0,77
h	Operario de construcción.	0,035	21,66	0,76
h	Peón de construcción.	0,138	14,43	1,99
Subtotal mano de obra:				3,52
Herramientas				
%	Herramientas	2,000	22,72	0,45
Costos directos (1+2+3):				23,17

Fuente: Propia

Construcción de un nuevo colegio:

El costo de construcción de colegios es variable, pues estos dependen del equipamiento, área de construcción y demás ítems que hacen imposible determinar ratios de costos por unidades, por lo que se procedió a investigar y presentar estimar valores referenciales de construcciones en el Perú.

Como indica el diario Gestión en un artículo del 2016, el valor estimado referencial para la construcción de un pabellón de colegio en el centro poblado de Huaycán, en Ate, es de S/. 1 965 000.00

Por otro lado, la Agencia Peruana de Noticias en otro artículo del 2018 indicó que para la construcción de la institución educativa “Los niños de Montessori” se invirtió más de S/. 1 000 000

3.4.2 Reforzamiento

Consideraciones previas para los costos

Se tendrán presente 2 temas importantes:

- El metrado referente al tema de los insumos incorporados como: concreto, acero, encofrado y demás elementos
- El metrado referente al tema de actividades constructivas como: destrucción de muros, armado de muros, etc.

Dependiendo del insumo a utilizar, se tomaron ciertas consideraciones que se muestran a continuación:

- La unidad para medir la cantidad de concreto a utilizar será en m³
- La longitud del gancho de anclaje y recubrimiento será calculado en base de la Norma peruana de concreto armado E 060
- La unidad de medida para las varillas de acero corrugado será en metros lineales; además, se convertirán esas unidades a kilogramos para un trabajo más preciso
- Los elementos relacionados de acero (diferentes de las varillas) se trabajarán en unidades de kilogramo
- Para el trabajo de tarrajeo y albañilería se trabajará con las unidades de metros cuadrados, dependiendo del tipo de acabado y calculando, finalmente, la cantidad de ladrillo necesario para estas actividades
- Los costos de mano de obra referenciales se obtendrá del Manual Laboral de Construcción Civil el cual se encuentra vigente desde el 1 de julio del 2019

En las siguientes tablas se muestran las dimensiones nominales y de resalte por el diámetro de Barra, además del costo por horas hombre y finalmente la cantidad de ladrillo a utilizarse por metro cuadrado de muro.

Tabla 7. Especificaciones dimensionales y peso

Designación de la barra corrugada	Peso métrico nominal kg/m	Dimensiones nominales			Dimensiones resaltes (mm)		
		Diámetro mm	Área sección nominal	Perímetro nominal mm	Espaciamiento promedio máximo	Altura promedio mínimo	Separación (GAP) 12% del perímetro nominal máxima
6 mm	0.220	6.0	28	18.8	4.2	0.24	2.35
8 mm	0.395	8.0	50	25.1	5.6	0.32	3.14
3/8"	0.560	9.5	71	29.9	6.7	0.38	3.60
12 mm	0.888	12.0	113	37.7	8.4	0.48	4.71
1/2"	0.994	12.7	129	39.9	8.8	0.51	4.90
5/8"	1.552	15.9	199	49.9	11.1	0.71	6.1
3/4"	2.235	19.1	284	59.8	13.3	0.97	7.3
1"	3.973	25.4	510	79.8	17.8	1.27	9.7
1 3/8"	7.907	35.8	1006	112.5	25.1	1.80	13.7

Fuente: SIDERPERU, 2019

Tabla 8. Costo de la hora hombre en edificaciones

CONCEPTOS	CATEGORÍA		
	OPERARIO	OFICIAL	PEÓN
REMUNERACIÓN BÁSICA VIGENTE (RB) (vigente del 01.06.2019 al 31.05.2020)	70,30	55,40	49,70
BONIFICACIÓN UNIFICADA DE CONSTRUCCIÓN (BUC) (vigente del 01.06.2019 al 31.05.2020)	22,50	16,62	14,91
LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE LA RB (113.25%)	79,61	62,74	56,29
LEYES Y BENEFICIOS SOCIALES SOBRE EL BUC (12.00%)	2,70	1,99	1,79
BONIFICACIÓN POR MOVILIDAD ACUMULADA	8,00	8,00	8,00
OVEROL (2 und. anuales)	0,40	0,40	0,40
COSTO DÍA HOMBRE (DH)	183,51	145,15	131,09
COSTO HORA HOMBRE (HH)	22,94	18,14	16,39

Fuente: Manual laboral de construcción civil, 2019

Tabla 9. Cantidad de ladrillos por metro cuadrado.

TIPO DE LADRILLO	DIMENSIONES (cm)	ESPESOR JUNTA (cm)	CANTIDAD		CANTIDAD (5% desperdicio)	
			Cabeza	Soga	Cabeza	Soga
King kong	9x13x24	1	72	40	76	42
King kong	9x13x24	1.5	66	38	69	40
Pandereta	9x12x24	1	77	40	81	42
Pandereta	9x12x24	1.5	71	38	75	40

Fuente: Aceros Arequipa, 2018

Finalmente, para el caso de ladrillos, se considerará un total de 76 ladrillos “King Kong” por metro cuadrado de muro (considerando un desperdicio del 5%).

Refuerzo de cierre de paños con albañilería

Los cálculos se harán por metro cuadrado de muro.

Según el Ministerio de Vivienda (2020), el costo del millar de ladrillos “King Kong” se estima en S/. 672.4, por lo tanto:

$$76 * 672.4/1000 = 51.1024 = 52 \text{ Soles}$$

Por otro lado, según Aceros Arequipa (2020), se estima que para 1 metro cuadrado de muro y en las condiciones señaladas anteriormente, la cantidad necesaria será de 0.3 bolsas de cemento

y de 0.04 metros cúbicos de arena, los cuales tienen un costo de 50 soles por metro cúbico en el caso de la arena y de 19 soles por bolsa en el caso del cemento, entonces:

Cemento: $0.3 * 19 = 5.7 = 6$ soles

Arena: $0.04 * 50 = 2$ soles

Total = 8 Soles

Además, para el costo de mano de obra, se utilizará la tabla propuesta anteriormente y en el que se estima una hora hombre de trabajo para una cuadrilla de un oficial y un peón:

Oficial: $18.14 * 1 = 18.14$ soles

Peón: $16.39 * 1 = 16.39$ soles

Total = $34.53 = 35$ soles

Finalmente, para la eliminación de desmonte se estima un costo de 20 soles por metro cúbico:

Desmonte: $0.2 * 20 = 4$ soles

Por lo tanto, finalmente el costo total estimado por metro cuadrado de muro será de 100 soles.

Refuerzo con aletas de concreto

Los cálculos para este tipo de refuerzo se realizarán por columneta.

En base al esquema de las columnetas, se procede a calcular el volumen de las mismas con una altura estimada de 2.9 m

Volumen para las columnetas: $0.2 * 0.5 * 2.9 = 0.29$ m³

Además, el costo de concreto f'c 210 kg/cm² premezclado por metro cúbico, según la revista costos 2019, se estima aproximadamente en 240 soles, por lo tanto:

$0.29 * 240 = 69.6 = 70$ soles

Por otro lado, en el tema de acero, se tienen 2 varillas de 5/8", 2 de 1/2", 2 de 3/8" y 1 kg de alambre. A continuación, se muestra el listado de precios para cada tipo de varilla según Aceros Arequipa 2020.

Varilla de 3/8 = 20 soles

Varilla de 1/2 = 27 soles

Varilla de 5/8 = 45 soles

Kilogramo de alambre = 5 soles

Entonces, sumando las cantidades en la proporción mencionada es:

$$(20+27+45) * 2 + 5 = 184 \text{ soles}$$

En adición, para el tema de mano de obra, se considerará una cuadrilla de un operario, un oficial y 4 peones para una hora hombre de trabajo:

Operario: $22.94 * 1 = 22.94$ soles

Oficial: $18.14 * 1 = 18.14$ soles

Peón: $16.39 * 4 = 65.56$ soles

$$\text{Total} = 106.67 = 107 \text{ soles}$$

Costos adicionales:

Aplicación de pintura con resina Epoxi (por metro cuadrado): S/.15.63

Demolición de columnas (por metro cúbico): S/. 402.18

Tarrajeo de interiores (por metro cuadrado): S/. 26.91

Finalmente, para la eliminación de desmonte se estima un costo de 18 soles por metro cúbico:

$$\text{Desmonte: } 0.2 * 0.5 * 2.9 = 14 \text{ soles}$$

Por lo tanto, el costo total estimado por columneta se estima aproximadamente en 820 soles

3.5 Resultados

Aspecto Técnico

Del análisis técnico de las dos alternativas planteadas, se concluye que el cierre alternado de paños con albañilería tiene un mejor comportamiento. Lo anterior se verifica en la disminución de las derivas inelásticas y aumento de la rigidez y resistencia del sentido longitudinal.

Aspecto Económico

En base a los resultados obtenidos en el aspecto económico, se concluye que el método de reforzamiento para cierre alternado por paños con albañilería es el más conveniente debido a que representa un costo menor a comparación del otro método de reforzamiento analizado; asimismo, el reforzamiento elegido tiene un presupuesto mucho menor que de la demolición y la nueva construcción, tal y como está especificado en el “*análisis económico (3.4)*”.

4 Conclusiones y recomendaciones

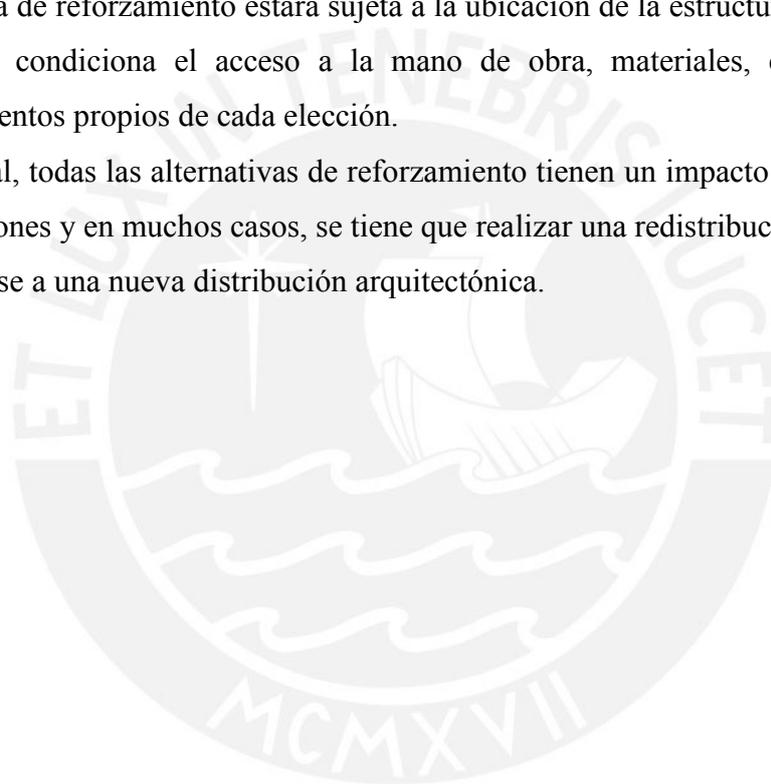
- Las edificaciones educativas que necesitaron de un reforzamiento fueron a causa de que presentaban problemas de columna corta originados por una falta de separación entre la columna y la tabiquería que forma los alfeizares de las ventanas altas o debido a una poca rigidez de la estructura puesto que cuentan con pórticos flexibles de concreto armado
- Los reforzamientos se realizaron para que las estructuras educativas logren cumplir con los requerimientos de desempeño especificados en la Norma E.030 sismorresistente.
- Es de suma importancia evaluar el estado de los centros educativos y realizar en caso necesario su posterior reforzamiento para poder evitar o disminuir incidentes como: muerte y lesiones de las personas que estén utilizando la edificación; daño o colapso del centro educativo; daño y pérdida de mobiliario y la interrupción de los programas educativos.
- En Perú solo se cuenta con acápites de reforzamiento dentro de la Norma E.030 de diseño sismorresistente basadas en códigos y normas norteamericanas, pero no se profundiza el tema por este motivo sería conveniente que Perú tome importancia en este tema debido a que nos ubicamos en una zona de gran sismicidad y deberían existir normas que regulen la evaluación y reparación de las edificaciones.
- Si bien en el presente trabajo de investigación se mencionaron algunas causas de fallas de las infraestructuras, las más comunes en centros educativos, cabe mencionar que existen algunas otras que van a depender del diseño inicial estructural de cada proyecto,

involucrando en ello el riesgo sísmico el cual es producto del peligro sísmico de acuerdo al lugar y de la vulnerabilidad de la edificación.

- Además del análisis técnico, es necesario el análisis económico ya que en los proyectos de gran envergadura, en el país, cada nuevo sol (S/.) es vital para la elección de la mejor alternativa de mejoramiento o saneamiento de infraestructuras, esto en caso la edificación haya sido construida con normas pasadas y que aún no han presentado daños irreparables, o en caso la edificación haya tenido un buen desempeño en un evento sísmico y que presente daños reparables de acuerdo al diagnóstico que los especialistas hiciesen.
- Es importante elegir un solo tipo de reforzamiento, ya sea integral o incremental, puesto que la elección incorrecta de alguno de estos tendría un impacto negativo económico, ya que cada avance o modificación requiere de cierta inversión, la cual puede en un inicio, como presupuesto, estar subvalorada o sobrevalorada, lo que deja claro que es necesario que la evaluación técnica y la evaluación económica se hagan conjuntamente, sin dejarnos llevar por tendencias o por los costos más accesibles.
- Las estructuras de centros educativos construidos en años anteriores a 1997 son estructuras muy flexibles, que presentarán problemas de columna corta en su mayoría y que en general tendrán un desempeño inadecuado para una estructura esencial frente a sismos raros. Sin embargo, la evolución de la norma sismoresistente a lo largo del tiempo ha ido mejorando y aprendiendo de los sismos ocurridos en el Perú, de modo que en la actualidad se han implementado nuevas tecnologías de prevención y reforzamiento que están a la espera de probar su validez frente a los sismos que acontecerá en el futuro.
- Los métodos de reforzamiento incremental logran reducir en cierto porcentaje el daño esperado de sismos raros y sismos ocasionales; por otro lado, estos son de fácil aplicación y en general de costo relativamente bajo, de modo que permiten reducir los costos de reparación asociados a un estado inoperativo de la estructura o la falla de esta
- En general el reforzamiento de las estructuras está dirigido a transformar el comportamiento de los pórticos hacia un comportamiento estructural similar al que tienen los sistemas estructurales duales (pórticos y placas), puesto que estos no presentan vulnerabilidad sísmica debido a que las placas constan de gran rigidez. La tendencia apunta hacia la construcción de centros educativos bajo este sistema.
- Se recomienda que las futuras edificaciones de centros educativos sean construidas bajo el sistema de pórticos duales, además de aislar la tabiquería de las columnas a fin de evitar la falla de columna corta que es tan recurrente. Se ha documentado que los errores

más comunes en el proceso constructivo se dan por la carencia de juntas sísmicas y columnas cortas, hecho que puede evitarse al cumplir las recomendaciones establecidas en la normativa peruana.

- Las alternativas de reforzamiento tienen como objetivo reforzar el sistema estructural plasmado en los planos de diseño; sin embargo, no se da énfasis en los procedimientos constructivos con los cuales fueron concebidos los pabellones. Este problema solo será evidente luego de un evento sísmico.
- En la mayoría de los Módulos 780 Pre, resulta más accesible reforzar las estructuras en lugar de demoler y volver a construirlas. Sin embargo, la elección de una u otra alternativa de reforzamiento estará sujeta a la ubicación de la estructura a intervenir. La ubicación condiciona el acceso a la mano de obra, materiales, equipos y demás requerimientos propios de cada elección.
- En general, todas las alternativas de reforzamiento tienen un impacto en la arquitectura de los salones y en muchos casos, se tiene que realizar una redistribución del mobiliario y adecuarse a una nueva distribución arquitectónica.



5 Referencias Bibliográficas

Andina (2018). *Invierten 1 millón de soles para construir colegio en la provincia de Pisco*. Lima: Andina. Consulta: 28 de mayo de 2020.

<https://andina.pe/agencia/noticia-invierten-s-1-millon-para-construir-colegio-provincia-pisco-719392.aspx>

Ascurra Cano, P., & Muriel Ortiz, A. J. (2019). *Propuesta de reforzamiento integral de un Edificio Comercial de 2 pisos con ampliación a 5 pisos en la ciudad de Lima-San Martín de Porres: comparando un recalce convencional de un no convencional*. (Tesis de licenciatura).UPC, Lima.

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/650329/Ascurra_CP.pdf?sequence=1

Banco Mundial (2017). *Estrategia de reducción del riesgo sísmico de edificaciones escolares públicas del Perú : informe técnico (Spanish)*. Washington, D.C. : World Bank Group. <http://documents.worldbank.org/curated/en/951161507186722512/Estrategia-de-reducción-del-riesgo-sísmico-de-edificaciones-escolares-públicas-del-Perú-informe-técnico>

Forniés, A. R. (1981). Análisis no lineal y rediseño de estructuras de edificación de hormigón armado. *Informes de la Construcción*, 32(329), 41-48. <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/viewFile/2254/2573>

Canchanya, A. y S. Cayetano (2019). *Más de 57 mil escolares de tres regiones fueron afectados por el último terremoto en Perú*. Lima: Convoca.pe. Consulta: 24 de mayo de 2020.

<https://convoca.pe/agenda-propia/mas-de-57-mil-escolares-de-tres-regiones-fueron-afectados-por-el-ultimo-terremoto-en>

Cok, J. (2019). *92 colegios siguen destruidos desde el terremoto de 2007*. Lima: Correo. Consulta: 24 de mayo de 2020.

<https://diariocorreo.pe/edicion/ica/92-colegios-siguen-la-espera-de-ser-reconstruidos-910029/?ref=dcr>

Duarte, T., Arias, R. E. J., & Tibaná, M. R. (2007). Análisis económico de proyectos de inversión. *Scientia et Technica*, 1(1), 333-338.

El Comercio (2019). *Minedu: 32 colegios resultaron afectados tras sismo en Loreto*. Lima: El Comercio. Consulta: 24 de mayo de 2020.

<https://elcomercio.pe/peru/minedu-30-colegios-resultaron-afectados-sismo-loreto-noticia-638875-noticia/?ref=ecr>

Gestión (2016). *Minedu invertirá 1.9 millones de soles para construir un colegio seguro para niños de Huaycán*. Lima: Gestión. Consulta: 30 de mayo de 2020.

<https://gestion.pe/economia/minedu-invertira-s-1-9-millones-construir-colegio-seguro-ninos-huaycan-149426-noticia/?ref=gesr>

Kassimali, A., Galán, A. A. A., & Mellado, J. F. H. (2015). *Análisis estructural*. Cengage Learning.

Ministerio Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2016). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.

Muñoz, P. J. A., Pontificia Universidad Católica del Perú. (2003). *Ingeniería Sismoresistente*. Lima: Fondo editorial PUCP.

Blanco, Juan Antonio (2005). *Las estructuras de los centros educativos (colegios) en el siglo XX en el Perú*. Diversos proyectos de reforzamiento y ejemplos de estructuración de edificaciones de la Universidad Católica del Perú (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.

Hernández, R. Fernández, C. & Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación sexta edición*. México D.F., México: Mc Graw Hill

Ottazzi, G. (2006). *Apuntes del curso: Concreto Armado*. Lima: Pucp. Facultad de Ciencias e Ingeniería.

Blanco Blasco, J. A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú

Santa Cruz, S. (2014). *Lecciones aprendidas: Infraestructura de locales escolares*.

Gameros, S. (2015). *Análisis comparativo de tres tipos de refuerzo estructural para pabellones de aulas de locales escolares de dos pisos y tres aulas por piso* (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica, Lima, Perú.

Muñoz A, Blondet M. (2007). *Reducción de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones escolares peruanas en alto riesgo*. Informe DAI-PUCP.

Instituto Nacional de Estadística Informática (INEI), & Ministerio de Educación (MINEDU) (2013). *Censo de Infraestructura Educativa (CIE)*. Lima, Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2009). *NTE E.060 Concreto Armado*. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.

Ministerio Vivienda, Construcción y Saneamiento. (1997). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima, Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Seminario de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente. Lima: vivienda.gob.pe. Consulta: 24 de Mayo de 2020.

<http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/SeminarioN/2.%20Norma%20E.030%20Dise%C3%B1o%20Sismorresistente.pdf>

Martel, P (2003). *Comparación de la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente 1997 vs. la Norma Básica de Diseño Sismorresistente 1997, aplicadas en el Perú Centros Educativos INFES (Región Sur - Arequipa, afectados por el sismo del 23 de junio de 2001)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

http://www.bibliotecacentral.uni.edu.pe/pdfs/BOLETINC/2,2004/art_004.pdf

San Bartolomé, A., Rivera, C., Durán, M., Muñoz, A.: & Quiun, D. (2007). *Estudio Experimental del reforzamiento de columna corta*. <http://blog.pucp.edu.pe/blog/wp-content/uploads/sites/82/2007/05/Columna-Corta.pdf>

Guevara, L. T., & García, L. E. (2001). *El efecto de columna corta o columna cautiva*. 17, 31–42.

Ochoa Román, J. V., & Ulcuango Merino, F. D. (2014). *Estudio de la seguridad sísmica y diseño del reforzamiento estructural de una vivienda de tres pisos* (Tesis de licenciatura). Quito

Villarreal Castro, G. (2009). *Análisis Estructural*. Asamblea Nacional de Rectores. Lima, Perú: Premio Nacional ANR 2006, 2007, 2008.

Zaldumbide Brito, M. I. (2013). *Estudio compilatorio de técnicas de demolición de edificios* (Tesis de licenciatura). UIDE, Quito.

Blanco, A. (s.f.). *Conferencia: Evolución de las Normas Sísmicas en el Perú*. Obtenido de http://abbings.com/descargas/sismos_evolucion_normas.pdf

Loa, G. (2017). *Evaluación del desempeño sísmico de tres opciones de reforzamiento incremental en edificaciones educativas típicas construidas antes de 1997 [Pontificia Universidad Católica del Perú]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/8618>

Parraga, Á. F., & Catay, C. P. (2013). *Vulnerabilidad Sísmica de Centros Educativos en Huancayo Metropolitano [Universidad Nacional del Centro del Perú]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/439>

Pérez, J. C. (2018). *Análisis de la Vulnerabilidad Sísmica para Reforzamiento [Universidad Peruana Los Andes]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/UPLA/785>

