



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Protocolo de Monografía

**EVALUACIÓN SÍSMICA Y REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE UN
EDIFICIO EXISTENTE**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Elyin Javier Delgado Castro
Br. Jorge Luis Rodríguez Meneses

Tutor

Ing. Marco Palma Cerrato

Managua, Octubre 2017

Managua, 24 de Octubre de 2017

Doctor Ingeniero
Oscar Isaac Gutiérrez Somarriba
Decano
Facultad de Tecnología de la Construcción
Universidad Nacional de Ingeniería
Su despacho

Estimado Dr. Ingeniero Gutiérrez

Con el propósito de cumplir con los requisitos para optar al título de Ingeniero Civil, le escribimos y presentamos ante su autoridad el protocolo de monografía cuyo tema es: "Evaluación sísmica y rehabilitación estructural de un edificio existente", para su debida revisión y aprobación.

Hemos conversado con el Ingeniero Marco Palma Cerrato acerca del desarrollo del trabajo monográfico y está de acuerdo en ser nuestro tutor, por lo que le solicitamos su nombramiento como tutor en dicho trabajo.

Agradecemos su amable atención a la presente y sin más que agregar nos despedimos esperando su pronta respuesta.

Atentamente:

Br. Elyin Javier Delgado Castro

Br. Jorge Luis Rodriguez Meneses

Cc/ archivo

ÍNDICE

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	ANTECEDENTES	2
III.	JUSTIFICACIÓN	3
IV.	OBJETIVOS.....	4
	4.1 Objetivo general:	4
	4.2 Objetivos específicos:.....	4
V.	MARCO TEORICO	5
	5.1 Generalidades	5
	5.2 Definiciones y Terminología.....	6
	5.2.1 Definiciones básicas	6
	5.2.2 Definiciones que contempla la normativa japonesa.....	7
	5.3 Daños Estructurales	11
	5.4 Daños no estructurales.....	13
VI.	HIPOTESIS Y VARIABLES	15
	6.1 Hipótesis General	15
	6.2 Hipótesis Específicas	15
VII.	DISEÑO METOLOGICO	16
	7.1 Inspección Preliminar de la edificación	16
	7.2 Análisis estructural.....	16
	7.3 Evaluación y rehabilitación estructural.....	17
	7.4 Cálculo de Índices.....	17
	7.5 Valoración o juicio sobre la seguridad sísmica de la edificación	18
	7.6 Planificación y diseño estructural del reforzamiento.....	19
	7.7 Diseño del reforzamiento de marcos y miembros.....	19
VIII.	CRONOGRAMA DE TRABAJO.....	23
IX.	BIBLIOGRAFIA.....	24

I. INTRODUCCION

Un estudio de evaluación sísmica tiene como finalidad descubrir en una edificación existente su comportamiento estructural en un determinado tiempo, así como también los puntos que fallarían al ocurrir un evento sísmico. Esta evaluación se efectúa tanto para los elementos estructurales (columnas, vigas, aligerados, placas, etc.), como para los no estructurales (tabiques, equipos, tuberías, vidrios, etc.).

La evaluación de estructuras existentes es un tema que no han desarrollado plenamente los profesionales Nicaragüenses involucrados en el diseño y se hace énfasis en el cálculo estructural y construcción de nuevos edificios desatendiendo a aquellos que ya existen y que están operando y albergan a muchas personas. Esto tal vez se realiza debido a la falta de conocimientos y normas vigentes que contemplen dicha temática, así como también la carencia de implementar evaluaciones sísmicas a estructuras existentes en el país.

Países pioneros en el desarrollo de metodologías orientadas a la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes son Japón y Estados Unidos. Ambos países, al igual que otros más, aportan métodos analíticos para evaluar en detalle la posible vulnerabilidad de una estructura ante algún sismo probable.

La Ingeniería Estructural ha venido atendiendo la necesidad de mejoramiento continuo de las metodologías de análisis y diseño sismo resistente en edificaciones. Esto ha cobrado importancia según ocurren nuevos movimientos sísmicos que ponen en evidencia la insuficiencia de muchas edificaciones actuales para enfrentar la energía impuesta por dichos sismos. Para controlar o disipar parte de esa energía, se han desarrollado técnicas de control de respuesta sísmica que reducen la demanda sísmica de las estructuras a través de la implementación de sistemas adicionales a sus elementos resistentes. Sistemas que dan como origen a un nuevo reforzamiento estructural que permita a las estructuras satisfacer un comportamiento sísmico adecuado a los estándares de las normas de evaluación sísmica.

En el presente trabajo se tiene previsto la evaluación sísmica de una edificación existente de uso esencial que ha sido expuesta a la ocurrencia de diversos sismos durante el correspondiente periodo de su vida útil, así como también proponer y evaluar un sistema de reforzamiento estructural que permita a dicha estructura obtener una adecuada respuesta sísmica y un óptimo desempeño estructural ante futuras eventualidades sísmicas características de la región, para ello nos basaremos en el código japonés que corresponde a la evaluación sísmica y reforzamiento de estructuras existentes.

II. ANTECEDENTES

Desde hace mucho tiempo alrededor del mundo existen muchas zonas de alta sismicidad, a través de la historia de la construcción, los ingenieros han venido desarrollando nuevos sistemas constructivos para que los nuevos edificios resistan las eventualidades sísmicas; sin embargo hay muchos edificios que no cumplen con los requisitos para hacerle frente a dichas eventualidades, ya que estas fueron diseñadas en su momento teniendo en cuenta las normas vigentes y los conocimientos de sismo resistencia de la época.

Algunos países como Japón y estados unidos se han dado a la tarea de estudiar y analizar la forma en la que un reforzamiento a las estructuras existentes ayudaría a mantener en funcionamiento estos edificios, aplicando diferentes sistemas que permiten al edificio dar una respuesta adecuada ante un sismo.

En el mundo se han impulsado mucho estos estudios, como es el caso de la ciudad de Basilea (Suiza), con el fin de implementar estrategias y ver el nivel de peligro a que están expuestas sus edificaciones. En Costa Rica se iniciaron estudios de vulnerabilidad de hospitales en 1984 siendo el primero en evaluarse el Hospital México.

También en Chile tras el sismo de 1985, evento que daño 180 establecimientos de los 536 en el área de influencia y dejó fuera de servicio 2 796 camas de las 19 581 disponibles. Un estudio de 12 meses seleccionó 14 hospitales para ser evaluados.

En Bogotá, en 1997, se hizo un estudio de la vulnerabilidad sísmica del Hospital Kennedy, institución pública y moderna, que atiende a 2 millones de personas. Este hospital fue evaluado con técnicas avanzadas de análisis inelástico, con el fin no sólo de establecer las deficiencias en términos de rigidez y resistencia de las estructuras, sino en términos de disipación y concentración de energía inelástica por plastificación y desarrollo de ductilidad.

En el país hay muchas edificaciones con valor patrimonial, el conocimiento de la historia por parte de los ciudadanos, instituciones y organismo ha intentado promover la revitalización de muchos de estos centros acompañada de acciones de preservación, conservación, rehabilitación y transformaciones adecuadas a la realidad socioeconómica. Para conservar estas edificaciones debe seguirse una metodología que consiste en estudiar la tipología de inmuebles y proponer nuevos usos que no alteren las estructuras tradicionales ni desplacen a los ocupantes del área de influencia.

Aunque actualmente en el país es un tema de muy poco interés, es sin embargo una opción para evitar la demolición de aquellos edificios que se puedan rescatar.

III. JUSTIFICACIÓN

Debido a que Nicaragua es un país altamente sísmico especialmente en la Región del Pacífico, las edificaciones están constantemente sometidas a afectaciones en su estructura. Esto hace que sea necesaria una evaluación de vulnerabilidad de las edificaciones existentes para brindar seguridad ocupacional.

Las afectaciones y la necesidad de mejorar no se hicieron más evidentes sino hasta el terremoto de 1972 en la ciudad de Managua, dejando marcada a la población, ya que muchas de sus estructuras colapsaron debido a la vulnerabilidad que presentaban. Este suceso obligo a las instituciones a mejorar la infraestructura en el país, dando lugar a la creación de un reglamento nacional de la construcción en el que se apliquen los conocimientos de diseño sísmico en cuanto a criterios, comportamientos y respuesta de los elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones ante eventos sísmicos.

El diseño sísmico resistente de las edificaciones ayuda a prevenir la pérdida de vidas, asegura la continuidad en el funcionamiento y minimiza los daños a la propiedad. Podemos señalar que cada uno de las edificaciones existentes en el país han sido diseñadas de acuerdo a las normativas vigentes en el tiempo de construcción, pero los conocimientos respecto al comportamiento sísmico-estructural han ido en aumento por lo que los sistemas constructivos siguen variando y hay técnicas que han quedado en desuso.

Realizar estudios de vulnerabilidad implica no solo hacerlo con los elementos estructurales sino también con los no estructurales y funcionales de las edificaciones, con el fin de reforzar, intervenir y mejorar el comportamiento estructural y operativo de dicha construcción, además de observar estos 2 tipos de elementos (estructurales y no estructurales) y el daño que puede causar al edificio y a los ocupantes de este si llegara a colapsar la estructura debido a la interacción no deseada con un evento sísmico o el comportamiento no adecuado del edificio ante dicho sismo.

El impacto que surtiría la evaluación de vulnerabilidad y la intervención de las edificaciones de acuerdo con los resultados obtenidos, sería para la sociedad Nicaragüense, valiosa, tanto de carácter económico y social, así como también muy importante para la vida, ya que se reducirían los riesgos de sufrir grandes pérdidas durante los terremotos.

IV. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general:

- Definir la vulnerabilidad sísmica de la edificación y proponer un sistema de reforzamiento estructural que permita un adecuado comportamiento sísmico al edificio en estudio, según la normativa Japonesa.

4.2 Objetivos específicos:

- Hacer el análisis estructural de la edificación para la aplicación del proceso de evaluación.
- Realizar la evaluación sísmica de la estructura en estudio, para determinar una intervención adecuada a la demanda sísmica.
- Proponer sistemas de Reforzamiento a la estructura de acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación.
- Analizar la mejora en el desempeño de la estructura para el sistema propuesto.

V. MARCO TEORICO

5.1 Generalidades

En Nicaragua la normativa que regula o controla acciones destinadas a la rehabilitación de estructuras de edificaciones es limitada debido a que no hay mucho interés al respecto. El reglamento nacional de la construcción menciona muy poco acerca de cómo un edificio podría ser reutilizado; sin embargo, aun cuando un edificio no cumpla con lo necesario para soportar las cargas sísmicas a las que pudieran enfrentarse, estos pueden ser reforzados para que puedan lograr estabilidad ante estas eventualidades.

Para este estudio utilizaremos como referencia la Norma Japonesa, la cual aclara que sus previsiones deben ser utilizadas exclusivamente para la evaluación sísmica de edificios de concreto reforzado existentes. Dicha evaluación comprende 2 parámetros que son: Inspección del edificio en el Sitio y el cálculo estructural que muestra el comportamiento sísmico de un edificio en términos de Índice sísmico de la estructura I_s e índice sísmico de elementos no estructurales I_N . La determinación de la seguridad sísmica del edificio estará basada en la norma para determinar la seguridad sísmica donde la demanda de sismo es prescrita. Para este tipo de estudio se deben conocer los niveles en el procedimiento de evaluación, porque podría ser desde el más simple al más detallado, y entonces, aplicar el más adecuado.

En la actualidad en el proceso de diseño se plantea que toda estructura sea capaz de resistir acciones sísmicas severas sin que se presente el colapso en la estructura.

La evaluación sísmica consiste en recopilar información del edificio (cómo fue construido, estado actual de su estructura, desempeño sísmico, etc.) y obtener los resultados de un análisis estructural basado en los datos obtenidos de la recopilación. De esta forma determinaremos su posible intervención estructural.

El objetivo principal de un proyecto de rehabilitación es restaurar y mejorar la capacidad estructural de una edificación (Sugano, 1981) a través de la siguiente forma:

- 1.- Incrementar la resistencia con respecto a las cargas laterales
- 2.- Incrementar la ductilidad
- 3.- Una combinación adecuada de las dos anteriores.

Una combinación de resistencia y ductilidad involucra un balance adecuado entre ambas. Proporcionar un incremento de resistencia es lo más común para edificios de altura media a baja. Incluso si se proporciona ductilidad, se requiere una resistencia adecuada para reducir los desplazamientos inelásticos. Es muy

importante reducir las excentricidades ocasionadas por la distribución irregular de la rigidez en el edificio.

Generalmente, los elementos nuevos que se agregan a la estructura son para incrementar la resistencia, o los elementos de la estructura reforzados con materiales nuevos son para incrementar la ductilidad.

La rehabilitación de un edificio se puede llevar a cabo después de un evento sísmico que haya ocasionado daños, en cuyo caso, el trabajo se efectúa para mejorar el comportamiento estructural de los elementos dañados. También se puede efectuar en estructuras no dañadas como anticipación de futura actividad sísmica. En este caso el aspecto económico juega un papel importante en decidir si se rehabilita una estructura dañada o no.

Uno de los factores claves que rige el desempeño es la ductilidad o la falta de ella en la estructura existente. Generalmente las razones por las que se pierde ductilidad son las siguientes (Ohkubo, 1991):

- Pandeo del refuerzo a compresión
- Falla por cortante
- Falla por adherencia.

Existe un amplio número de técnicas de rehabilitación sísmica disponibles, dependiendo del tipo y condición de la estructura (capacidad resistente insuficiente, baja rigidez, ductilidad inadecuada, etc.). Por lo tanto, la selección del tipo de rehabilitación es un proceso complejo.

La importancia de aplicar y desarrollar métodos adecuados de rehabilitación es el conocer cuál será el comportamiento de las estructuras después que han sido rehabilitadas.

5.2 Definiciones y Terminología

A continuación se presentan algunas definiciones importantes sobre posibles intervenciones estructurales:

5.2.1 Definiciones básicas

Reparar (Repair): Es el conjunto de acciones y procedimientos que hacen que un edificio existente que presenta daños, recupere las características originales de la estructura. Consiste en reemplazar o corregir los materiales, componentes o elementos deteriorados, dañados o defectuosos de una estructura. Es toda operación para recuperar el funcionamiento estructural del elemento o estructura dañada a su desempeño original.

Reforzar (Strengthening): Es el proceso de incrementar la capacidad de la estructura, aumentando elementos o añadiendo nuevos. En el refuerzo de una estructura (con o sin daño) se mejoran las características estructurales sobre las

originales. Es toda operación para incrementar el desempeño estructural del elemento por encima de su desempeño original.

Rehabilitar (Retrofitting): Significa hacer un cambio a la estructura para que cumpla con sus funciones nuevamente. No sólo se refiere al aspecto estructural, sino también a las funciones sociales y económicas para las que fue construida.

Es el proceso de reparación o modificación de una estructura a una condición útil deseada. Es una expresión general utilizada para reparar, reforzar o restaurar.

Reestructurar: Implica un cambio en el sistema estructural, ya sea de una manera parcial o total. La estructura puede o no estar dañada.

Preservar: Es el proceso de mantenimiento de la estructura en sus condiciones actuales y para contrarrestar un deterioro adicional.

Restaurar: Es el proceso de restablecer el aspecto, la forma, y los materiales de una estructura a lo que anteriormente tenía.

Rehabilitación Sísmica: Está definida como una mejora en el funcionamiento sísmico de los elementos estructurales y no estructurales del edificio corrigiendo las deficiencias identificadas en una evaluación sísmica.

5.2.2 Definiciones que contempla la normativa japonesa

(1) Índices para presencia sísmica de edificaciones

Índice sísmico de la estructura I_S : es un índice que representa el comportamiento sísmico de la estructura.

Índice sísmico de elementos no estructurales I_N : es un índice que representa el comportamiento sísmico de los elementos no estructurales, tales como muros exteriores.

Nivel simplificado: es el grado de simplificación en cálculo de los índices I_S e I_N . Dos niveles de simplificación son previstos desde el primero, nivel simple hasta el segundo nivel de simplificación.

(2) Sub índices para el cálculo del índice sísmico de la estructura I_S

Índice sísmico básico de la estructura E_0 : es un índice que representa el comportamiento sísmico básico de un edificio, evaluado como una función del índice de fuerza C, el índice de ductilidad F, y el factor de modificación por cizalladura.

Factor de modificación por cizalladura: es un factor que normaliza el índice de fuerza C de los pisos superiores siendo equivalente al coeficiente de cortante basal en consideración del nivel del piso y la distribución de la fuerza sísmica.

Índice de fuerza acumulada C_r : el índice de fuerza acumulada para los miembros en un piso en relación al ángulo de deriva del piso (índice de ductilidad), lo que

explica la compatibilidad de los miembros y su modificación por el factor de modificación cortante del piso.

Índice de fuerza C: la fuerza lateral o capacidad de carga lateral de un miembro o piso en términos de coeficiente cortante, llamado cortante normalizado por el peso del edificio sostenido por el piso.

Índice de ductilidad F: es un índice que representa la capacidad de deformación de un miembro estructural.

Índice de irregularidad S_D: es un índice que modifica el índice sísmico básico de la estructura E_0 en consideración del desbalance en la distribución de la rigidez y/o irregularidad en el plano estructural y de elevación del edificio.

Índice de tiempo T: es un índice que modifica el índice sísmico básico de la estructura E_0 en consideración a la edad del edificio.

Resistencia del material: La resistencia a la compresión del concreto y el límite elástico de las barras de refuerzo son usadas en el cálculo de la resistencia a la flexión y cortante último de miembros estructurales. El diseño de resistencia específicas puede ser usada para la resistencia a la compresión del concreto, 294 N/mm² para el límite de elasticidad de barras redondas, y sumar 49 N/mm² a la resistencia nominal del límite de elasticidad para barras deformadas, en el caso que el material no sea examinado en el sitio de la inspección.

Deformación última: Limitar la deformación dentro de la cual un miembro estructural puede llevar su fuerza lateral y su carga axial durante un terremoto de forma estable.

Factor de ductilidad: es la relación de la capacidad de deformación a la deformación elástica.

Grupo: es la acción de los miembros estructurales en colectivo con índices de ductilidad similares y organizándolos como uno, para lo cual la suma de sus índices de resistencia del grupo de miembros es definido como índice de resistencia de grupo.

Factor de resistencia efectivo α : relación de la resistencia lateral de un miembro a un nivel de certeza de la deformación del piso a la resistencia lateral calculada basada en la compatibilidad.

Columna: es un miembro vertical con punto de inflexión en su parte deformable. Hay columnas con y sin arriostramiento y columnas cortas.

Columna con arriostre: es un miembro vertical compuesta de una columna y un muro lateral (arriostre) unidos monolíticamente, la cual es considerada como una columna.

Muro con una columna (muro de arriostre con una columna, muro con una columna en el extremo): es un miembro vertical compuesto de una columna y un muro de arriostre unido monolíticamente, excepto por un muro con 2 columnas en sus extremos.

Columna extremadamente corta: Es una columna con h_0/D (claro dividido por el ancho) menor que 2.

Columna con claro alto h_0 : La altura de la parte deformable en una columna sin vigas, en pie y en voladizo.

Columna extremadamente frágil: Una columna extremadamente corta la cual falla por cortante precede la flexión.

Columna flexible: es una columna que falla por flexión precede la falla por corte.

Columna cortante: es una columna que falla por corte precede la falla por flexión.

Columna gobernada por viga flexible (La viga flexible gobierna la columna): Una columna en la que actúa un sismo, la cual es gobernada por vigas en las que la flexión precede la falla por corte.

Columna gobernada por viga de corte (La viga de corte gobierna la columna): es una columna en la que actúa un sismo, la cual es gobernada por vigas en las que la falla por corte precede la flexión.

Muro: es un miembro vertical como las columnas, categorizado como muros con columnas en sus extremos y muros sin columnas.

Muro con (dos) columnas en sus extremos: es un muro con columnas en sus dos extremos, incluyendo aquellos secuenciales en múltiples tramos.

Muro sin columnas (extremos): es un muro sin columnas, incluyendo aquellos localizados fuera de los marcos.

Muro flexible: es un muro en el cual la flexión precede la falla por corte.

Muro de corte: es un muro en el cual la falla por corte precede la flexión.

Muro para edificación: es un muro cuya falla de momento precede a la flexión y falla por corte.

Marco con base suave: es un sistema de múltiples pisos con muros cortantes excepto por un piso o unos pocos, incluyendo el llamado marco pilotis.

Columna de base suave (columna que soporta un muro superior): es una columna localizada en un marco con base suave directamente debajo del muro. Véase la nota de los traductores 2.

Segunda clase de elemento primario: si una columna o elemento de un muro pierde resistencia lateral, esto no es fatal, pero si pierde capacidad de carga por gravedad, esto llevara al colapso de la estructura, a pesar de tener en cuenta la redistribución de los elementos vecinos.

Estado último de la estructura: un estado en términos de deformación de entrepiso o índice de ductilidad en el colapso total o parcial de la estructura, es definido por la pérdida de capacidad de carga gravitacional, lo que lleva al colapso vertical o al decaimiento de la resistencia lateral dando lugar a una respuesta lateral inestable.

(3) Índices para determinar la seguridad sísmica de edificios

Índice de demanda sísmica de la estructura I_{SO} : el nivel estándar del índice de sismicidad requerido para que un edificio sea seguro frente al riesgo de un terremoto en el sitio de la edificación es definida como el producto de E_s , Z , G y U .

Índice de demanda sísmica básica de la estructura E_s : es un sub índice que representa la demanda sísmica básica para un edificio.

Índice de zona Z : es un sub índice que se toma en cuenta para la actividad sísmica esperada y la intensidad sísmica.

Índice de apoyo G : es un subíndice que se toma en cuenta para los efectos del perfil de suelo, condiciones geológicas, y las interacciones suelo-estructura.

Índice de vida útil U : es un subíndice que se toma en cuenta para el uso del edificio.

Índice de resistencia acumulada última C_{TU} : el índice de resistencia acumulada es evaluado como el estado último de un edificio o piso.

(4) Sub índices para evaluación del índice sísmico de elementos no estructurales I_N

Índice de construcción B : es un índice que representa el riesgo de falla de elementos no estructurales que depende de la construcción del edificio, es calculado del índice de conformación f y el índice de registros de daño t .

Índice de conformación f : este índice representa la conformabilidad de los elementos no estructurales basada en la deformabilidad relativa de los elementos no estructurales a la que presentan los elementos estructurales.

Índice de deterioro t : es un índice que representa el deterioro de la deformación de los elementos no estructurales dependiendo de la edad y daños anteriores.

Índice de área w : es un índice que representa el área que ocupan los elementos no estructurales.

Índice de riesgo humano *H*: es un índice que representa el riesgo de lesiones a personas debido a fallas de elementos no estructurales, evaluado por el índice de colocación *e* y el índice de reducción de riesgo *c*.

Índice de colocación *e*: es un índice que representa la posibilidad de presencia humana debajo de los elementos no estructurales que fallan.

Índice de reducción de riesgo *c*: es un índice que representa la reducción de riesgo humano tal como la existencia de vallas ante la falla de elementos no estructurales.

Con estos conceptos alcanzamos mejorar nuestra comprensión del estudio que necesita hacerse en cualquier edificio que requiera reforzarse para ser rehabilitado, estudio que al llevarse a cabo nos ayudará como sociedad a aprovechar los recursos existentes y/o conservar aquellos que sean importantes para la comunidad, podemos mencionar entre ellos; Los Colegios, Universidades, Centros Comerciales, edificios Gubernamentales entre otros.

Con nuestra investigación mostraremos la utilidad que brindan estos estudios, ya que valorarán la vulnerabilidad del edificio en estudio y además se podría vislumbrar la aplicación de una normativa adecuada a las condiciones en nuestro país partiendo de la normativa Japonesa, que es pionera en esta área.

5.3 Daños Estructurales

Daños en las estructuras de concreto después de un sismo

Muchas estructuras localizadas en zonas sísmicas son inadecuadas si se revisan bajo reglamentos actuales de diseño sísmico. Además, sismos recientes han subrayado la importancia de mitigar el riesgo sísmico.

La rehabilitación sísmica de estructuras existentes es uno de los métodos más eficaces para reducir este riesgo. Sin embargo, el desempeño sísmico de la estructura no se puede mejorar rehabilitándola a menos que el ingeniero seleccione una técnica apropiada basada en una evaluación sísmica de la estructura.

Comúnmente, en varias partes del mundo, los edificios que fueron construidos antes de los años 70 poseen deficiencias significativas en su configuración estructural y en su detallado, ya que no existían normas de diseño sísmico en aquella época. Uno de los errores más frecuentes es la discontinuidad del refuerzo longitudinal en vigas y columnas, además de una amplia separación del refuerzo transversal (Moehle, 2000).

Debido a las deficiencias antes mencionadas, se han observado daños y pérdidas como consecuencia de los últimos sismos. Un ejemplo de sismos en los cuales, las estructuras en cuestión han sido afectadas severamente. Es el sismo de Northridge, California, que ocurrió el 17 de enero de 1994 y tuvo una magnitud

6.7 en escala Richter. Este sismo mostró la aceleración más alta nunca antes registrada, dañando cinco tipos de estructuras. Entre ellas estaban algunos ejemplos característicos de estructuras no dúctiles de concreto reforzado (donde el daño incluía fallas en columnas y vigas, agrietamiento por cortante en muros, y fallas en conexiones viga-columna y losa-columna), Muros de carga de mampostería sin reforzar, Muros de carga de mampostería con refuerzo, Marcos de concreto resistente a momentos, Pisos de losa nervada, Losas de vigas-

Comportamiento común en columnas cortas, debido al agrietamiento por cortante diagonal



Daño en columnas no dúctiles



Daño en muros de cortante de concreto

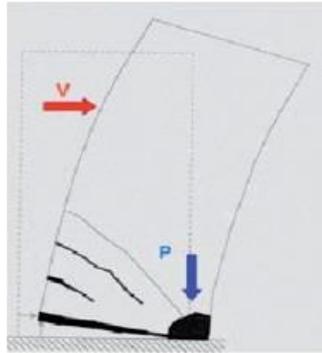


Fig. 3. Falla por flexión.

Falla en uniones viga-columna



5.4 Daños no estructurales

Generalmente, los daños a elementos no estructurales se deben a la unión inadecuada de estos elementos con la estructura, o a una falta de rigidez de la misma.

Los daños no estructurales más comunes son:

- a) Aplastamiento de las uniones entre la estructura y los elementos divisorios
- b) Agrietamiento de los elementos divisorios de mampostería
- c) Vidrios rotos
- d) Desprendimiento de aplanados, recubrimientos y elementos de fachadas
- e) Desprendimiento de plafones, tuberías e instalaciones diversas dañadas.

Daños estructurales y sus causas más comunes

(Modificado de Iglesias et al., 1985)

Elemento estructural	Tipo de daño	Causa más común
Columnas	<ul style="list-style-type: none"> - Grietas inclinadas - Grietas verticales - Desprendimiento del recubrimiento - Aplastamiento del concreto - Pandeo del acero de refuerzo 	<ul style="list-style-type: none"> - Cortante - Flexocompresión - adherencia - Flexocompresión - Flexocompresión - Flexocompresión
Vigas	<ul style="list-style-type: none"> - Grietas inclinadas - Roturas de estribos - Grietas verticales - Rotura del refuerzo - Aplastamiento del concreto 	<ul style="list-style-type: none"> - Cortante o Torsión - Cortante o Torsión - Flexión - Flexión - Flexión
Unión viga-columna	<ul style="list-style-type: none"> - Grietas inclinadas - Falla por adherencia del refuerzo de vigas 	<ul style="list-style-type: none"> - Cortante
Sistemas de piso	<ul style="list-style-type: none"> - Grietas alrededor de columnas en losas o placas planas - Grietas longitudinales 	<ul style="list-style-type: none"> - Penetración - Flexión
Muros de concreto	<ul style="list-style-type: none"> - Grietas inclinadas - Grietas horizontales - Aplastamiento del concreto - Pandeo del acero de refuerzo 	<ul style="list-style-type: none"> - Cortante - Flexocompresión o deslizamiento - Flexocompresión o deslizamiento - Flexocompresión o deslizamiento
Muros de mampostería	<ul style="list-style-type: none"> - Grietas inclinadas - Grietas verticales en las esquinas y en el centro - Grietas horizontales 	<ul style="list-style-type: none"> - Flexión - Volteo - Deslizamiento

VI. HIPOTESIS Y VARIABLES

6.1 Hipótesis General

Actualmente en nuestro país muchos de los edificios existentes no cumplen con los requerimientos mínimos para hacer frente a una eventualidad sísmica, lo cual califica dicha estructura como vulnerable. Siendo así, se hace necesaria una intervención de reacondicionamiento que permita el adecuado comportamiento ante un sismo.

6.2 Hipótesis Específicas

- ✚ La estructura ha sido analizada por el método dinámico de análisis modal, presentando deformaciones, desplazamientos laterales y esfuerzos, que exceden los criterios permisibles del reglamento nacional de construcción.

- ✚ El edificio en estudio se ha evaluado por medio de dos niveles del proceso de reacondicionamiento según la norma japonesa y es calificado como vulnerable, por lo que necesita intervención inmediata para la adecuación en el desempeño sísmico.

- ✚ Debido a las características y el desempeño resultante de la evaluación del edificio en estudio se propone trabajar con uno de los sistemas de reforzamiento, que se mencionan a continuación:
 1. Instalación de Muros de Corte.
 2. Encamisado de Columnas.
 3. Reforzamientos con marcos o riostras de Acero.

- ✚ Se ha seleccionado uno de los sistemas de rehabilitación, ya que es más viable estructuralmente, porque esto ayudará a que el edificio cumpla con los criterios mínimos que contempla la normativa y permitirá que este se considere capaz de desempeñarse de la mejor manera durante las eventualidades sísmicas.

VII. DISEÑO METOLOGICO

7.1 Inspección Preliminar de la edificación

Para que se haga un estudio de evaluación sísmica y propuesta de mejoramiento, es necesario que la edificación sea inspeccionada, a este proceso se le conoce como *Inspección preliminar de la edificación*, y es donde se recolecta toda la información necesaria para luego seguir con el estudio y finalmente conocer el estado de vulnerabilidad presente en la estructura. En dependencia de los resultados del estudio en cuanto a la evaluación sísmica se pretende determinar el requerimiento o no de un reforzamiento, así como el diseño a utilizar para el mismo. Utilizaremos como referencia una edificación existente localizada en la ciudad de Managua, la cual fue destinada a usarse como edificio para salones escolares y tiene mucho tiempo en funcionamiento.

De este edificio hemos obtenido los planos básicos y según la normativa Japonesa se ha hecho una inspección visual o de primer nivel la cual describe lo siguiente:

La inspección del edificio debe ser conducida para revisar las características estructurales del edificio, los cuales son necesarios para calcular el índice sísmico de la estructura I_s . Una apropiada inspección preliminar debe ser llevada a cabo para chequear la aplicabilidad de esta norma para la evaluación sísmica.

En esta inspección los ítems principales serán:

- (1) Resistencia de materiales y dimensiones de secciones transversales para el cálculo de resistencia de los miembros estructurales.*
- (2) Fisuras o grietas en el concreto y deformaciones de la estructura para la evaluación del índice de tiempo.*
- (3) Configuración del edificio para la evaluación del índice de irregularidad.*

7.2 Análisis estructural

Se procederá a efectuar el análisis estructural básico de la edificación usando el método dinámico de análisis modal, con el objetivo de conocer y determinar el comportamiento de la estructura (deformaciones, desplazamientos laterales y fuerzas internas) que resulten de los estados de cargas que incluyen el efecto sísmico y de otras acciones que interactúen en la edificación. Este análisis se realizara con el uso del software **ETABS**.

Criterio de análisis según reglamento nacional de construcción RNC-07

Las estructuras se analizarán bajo la acción de dos componentes horizontales ortogonales no simultáneos del movimiento del terreno (Efectos bidireccionales, inciso f) Arto. 32 RNC-07). Estos se combinarán tomando en cada dirección en que se analice la estructura, el 100% de los efectos del componente que obra en

esa dirección y el 30% de los efectos del que obra perpendicularmente a ella, con los signos que resulten más desfavorables para cada concepto. Las deformaciones y fuerzas internas que resulten del análisis se combinarán entre sí con los efectos de fuerzas gravitacionales y de las otras acciones que correspondan, según los criterios que se establecen en el (Arto.15 RNC-07).

7.3 Evaluación y rehabilitación estructural

La evaluación estructural de la edificación consiste en determinar la capacidad de la estructura existente ante sollicitaciones de cargas a las cuales probablemente será sometida durante el resto de su vida útil.

El objetivo de la rehabilitación será, restaurar y mejorar la capacidad estructural de la edificación proponiendo un sistema de reacondicionamiento que permita a la estructura ser capaz de desempeñar un comportamiento adecuado a la demanda sísmica. Lo que permitirá obtener seguridad ocupacional de la estructura, reducción de daños materiales, y de interrupción de uso en sismos futuros. Para realizar dicha evaluación se construirán hojas de cálculo mediante el software de cómputo **Microsoft Office Excel**.

7.4 Cálculo de Índices

1. Índice sísmico de la estructura (I_s)

Se procederá al cálculo del índice sísmico, el cual se compone de tres sub índices: índice sísmico básico de la estructura, índice de irregularidad e índice de tiempo; cada uno de estos tres se calculara a como lo sugiere la normativa compuestos por cada uno de los parámetros que se ven vinculados hacia la edificación en cuestión y su cálculo deberá ser efectuado para los dos niveles de evaluación propuestos según la presente normativa japonesa de evaluación sísmica.

2. Clasificación de miembros estructurales verticales.

En los dos niveles del proceso de evaluación a estudiar se clasifican los miembros estructurales verticales de acuerdo a los parámetros establecidos en la Norma Japonesa, cada clasificación es tan exhaustiva según lo requiere el nivel del proceso de evaluación.

3. Índices de Resistencia

Los métodos para calcular el índice de resistencia C , para miembros verticales en cada piso de un edificio deben ser de acuerdo a los principios que se han previsto en el primer y segundo nivel del proceso de evaluación.

4. Índice de Ductilidad F

El índice de ductilidad debe ser evaluado considerando los niveles del proceso, el modo de falla y la capacidad de deformación, y la respuesta ante terremotos.

Un valor estándar del índice de ductilidad debe ser definido como índice de ductilidad de un muro de corte, en el que la falla de corte precede otro modo de falla. El índice de ductilidad de otros miembros debe ser determinado como un valor relativo del valor estándar.

5. Índice de Irregularidad S_D

El índice de irregularidad es modificar el índice sísmico básico de la estructura cuantificando los efectos de una forma compleja y la distribución desbalanceada de la rigidez, y desempeño sísmico de una estructura con opinión ingenieril.

Los métodos de cálculo en el primer y segundo nivel se deben seleccionar respectivamente, considerando la simplificación y exactitud del cálculo y el efecto del índice.

6. Índice de tiempo T

El índice de tiempo evalúa los efectos de los defectos estructurales tales como: grietas, deflexión, vejez, etc. El índice de tiempo debe ser calculado basándose en los resultados de cada nivel de inspección respectiva.

7. Índice sísmico de elementos no estructurales (I_N)

Este se definirá con el objetivo de evaluar la seguridad de vidas humanas presentes en la edificación, así como también para determinar la seguridad de las rutas de evacuación contra la caída o el arranque de elemento no estructurales. El índice sísmico de elementos no estructurales I_N se calculará para cada muro en cada piso, para ello nos basaremos en los cálculos que sugiere cada uno de los niveles de evaluación sísmica, ya que estos dos niveles presentan diferencias en sus parámetros de evaluación.

7.5 Valoración o juicio sobre la seguridad sísmica de la edificación

La seguridad sísmica de la edificación se juzgará mediante evaluaciones sísmicas por separado, sobre la estructura y los elementos no estructurales:

- La seguridad sísmica de la estructura será juzgada por la siguiente ecuación:

$$I_s \geq I_{so}$$

Donde:

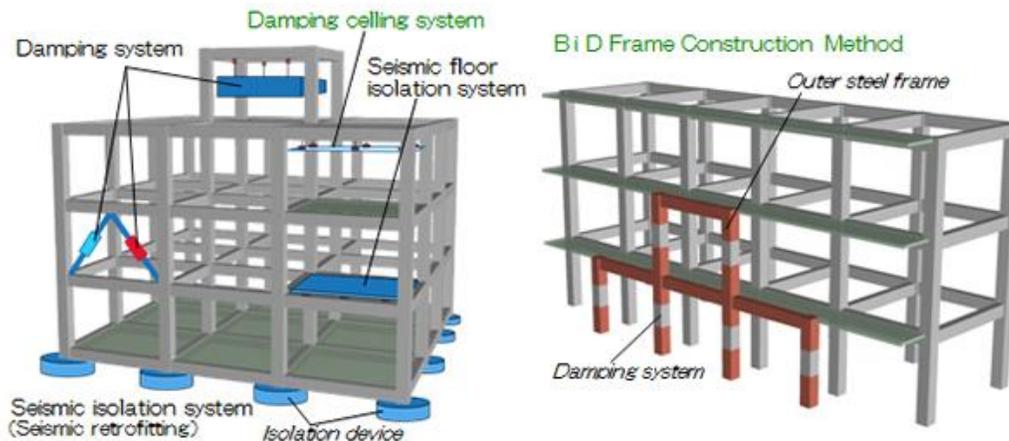
I_s : índice sísmico de la estructura

I_{so} : índice de demanda sísmica de la estructura.

- La seguridad sísmica de los elementos no estructurales se juzgará en base a otros parámetros especificados en la normativa estándar.

Si los índices sísmicos no satisfacen la evaluación, la estructura será catalogada como incapaz de presentar un adecuado desempeño sísmico; de esta manera la edificación demandaría la intervención inmediata de un reforzamiento estructural que permita su mejor adecuación tanto estructural como sísmica.

7.6 Planificación y diseño estructural del reforzamiento



Al planificar la adecuación sísmica, se definirá claramente la táctica sobre satisfacer el rendimiento sísmico de la demanda mejorando la resistencia y/o ductilidad de la estructura. (Como ejemplo en la figura anterior se muestran algunos de los elementos que se pueden reforzar así como sistemas que se han propuesto al planificar la rehabilitación de la estructura). Además, se seleccionaran métodos óptimos de adecuación para satisfacer el rendimiento de la demanda. También se realizara un estudio en la fase de planificación, considerando la función del edificio después de la adecuación.

7.7 Diseño del reforzamiento de marcos y miembros

La presente normativa propone varios métodos de refuerzo para una correcta adecuación sísmica, mismos que tienen su aplicación en dependencia de la intervención que una estructura necesitaría al momento de su rehabilitación:

i. Instalación de muros de corte

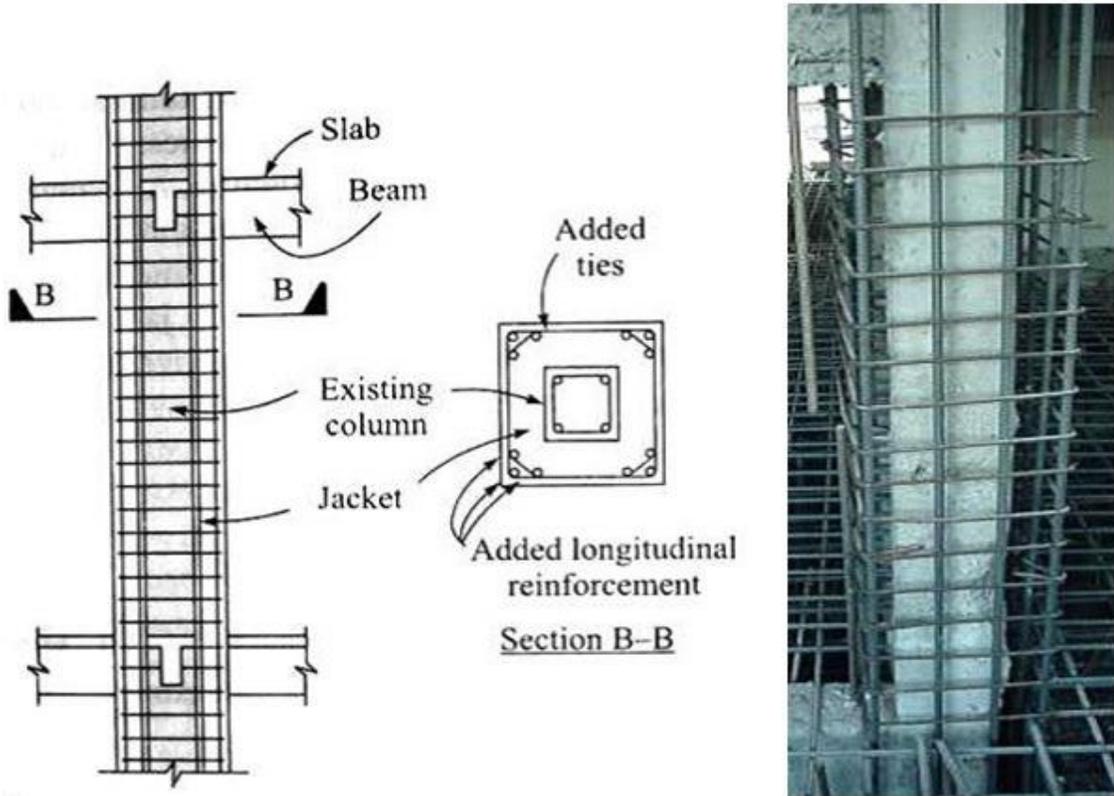
La instalación de paredes cortantes es un método de reforzamiento que es adecuado para aumentar la resistencia de los edificios existentes mediante el relleno de nuevas paredes de cizallamiento en marcos abiertos de edificios existentes con un rendimiento sísmico inadecuado, llenando la apertura de las paredes cortantes existentes o aumentando el espesor de las paredes cortantes existentes.

ii. Instalación de muros de ala

Este método de refuerzo consiste en instalar paneles de pared pequeños que no pueden considerarse como muros cortantes con columnas límite. El objetivo de este método de fortalecimiento es aumentar el rendimiento sísmico de los edificios existentes mediante el cambio de las columnas independientes existentes a las columnas con muro de ala para mejorar su resistencia. También es posible instalar paredes de ala para soportar la carga axial de una columna y eliminar un problema de elementos de primera clase de segunda clase, cuyo fallo conduce al colapso del edificio.

iii. Encamisado de columnas

Los métodos de refuerzo que se indican en esta sección tienen por objeto mejorar el rendimiento sísmico de los edificios aumentando la ductilidad, la capacidad de



carga lateral o la capacidad de carga axial a través del reforzamiento de las columnas existentes. Es necesario definir claramente el objetivo del encamisado y adoptar los métodos de construcción y detalles ya que el tipo de métodos de construcción y detalles varían con el objetivo de reforzamiento que se les dé a las columnas.

iv. Refuerzo con marcos o paneles de acero.

El reforzamiento con secciones de acero es una técnica de mejora sísmica de los marcos existentes mediante refuerzos de acero o paneles de acero. El reforzamiento con secciones de acero se clasifica en dos casos: refuerzo con marcos arriostrados o paneles de acero y refuerzo con marcos no arriostrados. Los detalles de la conexión pueden tener los dos esquemas siguientes:

Conexión directa mediante atornillado, soldadura u otros métodos y conexión indirecta a través de mortero y anclajes entre el marco existente que se desea reforzar y el marco de acero de refortalecimiento. Este reforzamiento, en principio, se aplica a los miembros enmarcados de acero que estén firmemente conectados por el esquema indirecto con los miembros existentes a lo largo de sus cuatro interfaces de la estructura de acero.



v. Fortalecimiento de vigas

Un objetivo principal de este método de reforzamiento es mejorar el índice de ductilidad de las columnas o de las paredes de corte evitando el fallo por cizallamiento y aumentar la ductilidad de las vigas que enmarcan las columnas o paredes de la estructura.

Es deseable que este método de refuerzo se aplique a todas las vigas que tengan características estructurales similares en el edificio en cuestión. Debe observarse, sin embargo, que la ductilidad de vigas de corto alcance con gran cantidad de relación de refuerzo de flexión puede no ser mejorada efectivamente.

vi. Otras técnicas

Este método contempla técnicas básicas para añadir refuerzos, añadir columnas (marcos espaciales), mejorar la distribución de la rigidez, etc. Cabe señalar que estas técnicas de refuerzo tienen como objetivo principal aumentar la resistencia lateral de los edificios ante posibles eventualidades sísmicas.

vii. Reforzamiento de fundaciones

Puede ser deseable que el refuerzo de la cimentación no sea necesario en la adecuación sísmica de edificios. En general, el fortalecimiento de la fundación se debe realizar sólo cuando el esquema de reforzamiento sea simple, práctico, rentable y confiable para la mejora drástica del rendimiento sísmico.

El fortalecimiento de la fundación tendrá como objetivo ayudar a las superestructuras modificadas a contribuir eficazmente a la demanda de rendimiento sísmico global de los edificios.

viii. Procedimiento de diseño para el anclaje post-instalado

Esta disposición se aplica al diseño de los anclajes posteriores a la instalación utilizados en la conexión en caso de adición de muros de corte de hormigón armado, paredes de alas y marcos de acero para el reforzamiento de la estructura existente.

Tipo y método de construcción del anclaje post-instalado

Los tipos de anclajes post-instalados cubiertos en esta disposición son: el anclaje de expansión y el anclaje por adhesión. El material, la forma y el tamaño del material de anclaje post-instalado se deben examinar cuidadosamente antes de su instalación al momento de rehabilitar la edificación.

VIII. CRONOGRAMA DE TRABAJO

N°	Actividad	Meses/Semanas																							
		Octubre	Noviembre				Diciembre				Enero				Febrero				Marzo				Abril		
		4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
1	Revisión de datos de inspección y Planos.	■	■																						
2	Análisis Estructural		■	■	■	■																			
3	Calculo de índices						■	■	■	■															
4	Revisión y discusión de datos										■														
5	Evaluación y selección del sistema para la intervención											■	■												
6	Planificación y diseño de la rehabilitación														■	■	■	■	■						
7	Análisis de la rehabilitación																		■	■	■	■			
8	Conclusiones y recomendaciones del estudio																							■	■

IX. BIBLIOGRAFIA

1. Tesis de Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: Clínica San Miguel, Piura. (Universidad de Piura).
2. Reglamento Nacional de Construcción. (RNC-07)
3. Tesis de Rehabilitación de estructuras de concreto. (Universidad Nacional Autónoma de México).
4. Norma para la evaluación sísmica y rehabilitación sísmica de edificios de concreto reforzado existentes, 2,001. Publicado por: la asociación de prevención contra desastre en Japón. (**Standard for Seismic Evaluation and Seismic Retrofit of Existing Reinforced Concrete Buildings, 2,001. Published by: The Japan Building Disaster Prevention Association**).

ANEXOS