

Análisis y Comparación de Metodologías de Rehabilitación Sísmica de Estructuras Metálicas

Analysis and Comparison of Seismic Rehabilitation Methodologies for Metallic Structure

Betzabeth Suquillo-Ronquillo^{1,2}; Michael Llumiquinga-Suquillo²

¹Universidad de Chile, Departamento de Ingeniería Civil, Santiago de Chile-Chile, bsuquillo@ug.uchile.cl

²SyllCons, Consultoría en Ingeniería y Construcción, Quito-Ecuador, ing.syllcons@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.31243/id.v15.2022.1595>

Resumen

La rehabilitación sísmica de edificios consiste en la evaluación y diseño de sistemas de rehabilitación, para modificar el desempeño sísmico de edificaciones existentes en base al cumplimiento de un objetivo de desempeño sísmico (Guevara et al., 2015). El presente artículo analiza las metodologías de rehabilitación sísmica más relevantes para una estructura metálica tipo industrial. En la actualidad no existe una metodología considerada la más eficiente para todas las estructuras bajo una sollicitación dinámica (Gómez et al., 2008) por lo que este artículo nos permitirá conocer la influencia de diferentes parámetros como costo, tiempo, condición arquitectónica/operacional, material/mano de obra disponible en el sitio y principalmente de su comportamiento estructural para la selección de una metodologías de rehabilitación sísmica, lo cual se realizó mediante el análisis global y local de cada uno de los elementos que conforman una estructura metálica tipo industrial con el fin de comparar y seleccionar la metodología de rehabilitación más óptima para este tipo de sistemas.

Palabras clave: *Estructura metálica, rehabilitación sísmica, demanda/capacidad.*

Abstract

Seismic retrofitting of buildings consists of the evaluation and design of retrofit systems to modify the seismic performance of existing buildings based on meeting a seismic performance target (Guevara et al., 2015). This article analyzes the most relevant seismic retrofit methodologies for an industrial type steel structure. Currently, there is no methodology considered the most efficient for all structures under dynamic stress (Gómez et al., 2008), so this article will allow us to know the influence of different parameters such as cost, time, architectural/operational condition, material/manpower available at the site and mainly its structural behavior for the selection of a seismic rehabilitation methodology, which was performed through the linear and nonlinear analysis of an industrial type steel structure for the selection of the most optimal rehabilitation methodology for this type of systems.

Keywords: *Metallic, industrial building, deficiency, seismic rehabilitation, demand /capacity.*

Introducción

La rehabilitación sísmica de estructuras existentes consiste en aquellos procedimientos de carácter preventivo aplicados en una estructura que bajo la interacción de cargas gravitacionales es funcional, pero su comportamiento ante sollicitaciones dinámicas debe ser analizado de tal manera que se cumplan criterios de seguridad y desempeño. Un análisis de rehabilitación sísmica de acuerdo con Crisafulli (2018) debe ser considerado cuando la estructura no cumple con los requerimientos de diseño sismorresistente de las normas actuales o su vez la estructura tiene varios años de haber sido construida.

El tipo de construcción más usado en Ecuador son las estructuras de concreto (García et al., 2016), pero conforme avanza las investigaciones, diversos materiales para la construcción van tomando trascendencia, como es el caso de las estructuras de acero que en los últimos años han tomado gran importancia en nuestro medio (naves industriales, edificios, cubiertas).

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) como ente encargado ha elaborado la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC 2015) específicamente NEC-SE-RE: Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras (NEC-SE-RE, 2015), cuyos criterios tienen origen en lo establecido en la norma ASCE 41-17, cuyo objetivo busca que gran parte de las estructuras rehabilitadas conforme a los parámetros establecidos en las normas antes mencionadas, bajo efectos del sismo de diseño produzcan niveles de desempeño considerados aceptables, pero la existencia de la NEC-SE-RE no garantiza su fiel cumplimiento de tal manera que se alcance tal desempeño, sino más bien enfatiza la necesidad de realizar una investigación refinada del comportamiento y evaluación de las construcciones, de ser imperioso mediante un análisis no lineal (Loaiza Tacury, 2018).

Para la selección de la estrategia de rehabilitación sísmica en una estructura se consideran varios factores, entre los más representativos tenemos: diagnóstico estructural, costo, condición arquitectónica / operacional, disponibilidad material / mano de obra en el lugar de emplazamiento del proyecto y tiempo de ejecución (Crisafulli, 2018).

La implementación, reducción o restitución de elementos en una estructura modifica el comportamiento estructural de la misma de acuerdo en lo expuesto por Ito y Muri (2016), de tal manera que confirman una mejora significativa en la resistencia y ductilidad luego de la rehabilitación de los elementos intervenidos.

Por tal, las metodologías de rehabilitación sísmica de estructuras existentes se categorizan en: modificación local de componentes, remoción o reducción de irregularidades, rigidizado global de la estructura, reforzamiento global de la estructura y reducción de masa (FEMA 356, 2000).

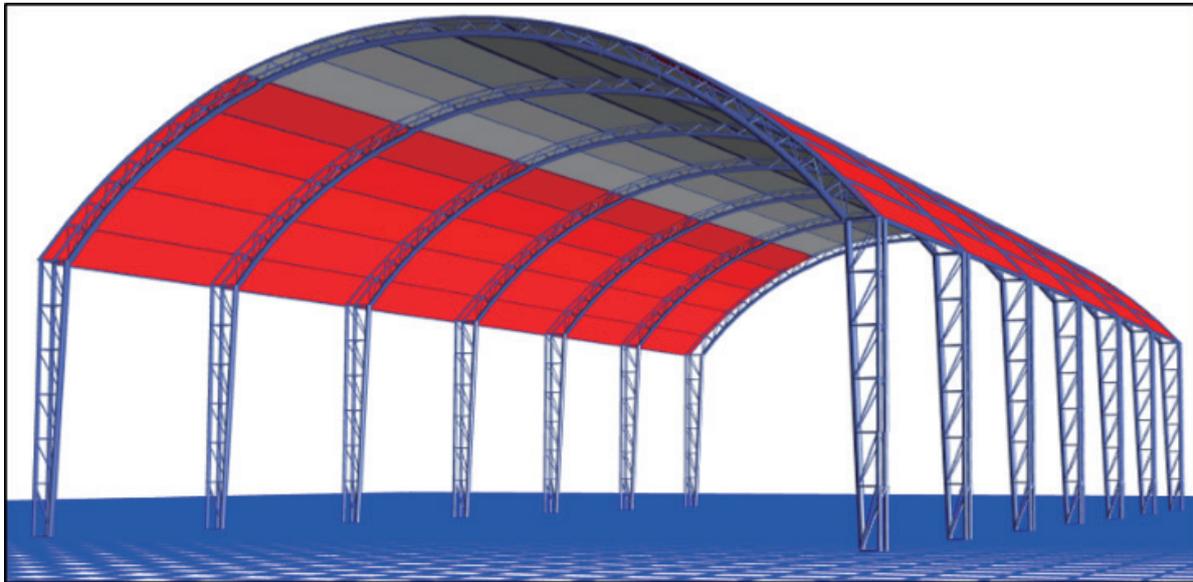
Materiales y Metodología

La estructura empleada para el análisis fue seleccionada debido a su geometría y configuración estructural, siendo considerada como una estructura representativa porque simboliza a la mayor parte de las construcciones de acero tipo industrial construidas en nuestro medio como se muestra en la Figura 1.

El tipo de material utilizado en la estructura es el acero normalizado ASTM A36 y los elementos que forman parte de la estructura sismorresistente cumplen estándares de diseño y resistencia dictados por la

ANSI/AISC 360-16 y ANSI/AISC 341-16 como normas internacionales y la NEC-15 como norma local; de tal manera que presente una adecuada ductilidad y resistencia.

Figura 1. Modelado de la estructura seleccionada para la rehabilitación sísmica



Medidas de rehabilitación sísmica. - La aplicación de una metodología de rehabilitación en una estructura metálica tipo industrial depende de las deficiencias o problemas identificados mediante un análisis del comportamiento estructural de la edificación, clasificándolos en (FEMA 356, 2000):

1. Modificación local de componentes. - Mejora las conexiones de los elementos estructurales o incrementa su resistencia y/o capacidad de deformación, sin alterar la configuración general de la estructura.

Esta metodología de rehabilitación es posible mediante la utilización de:

- Adición de perfiles metálicos en elementos existentes
- Cambio de sección del elemento estructural
- Placas de acero para confinamiento de columnas

2. Refuerzo global de la estructura. - Incrementa la resistencia de todo el sistema estructural cuando la respuesta inelástica global de la estructura se inicia a niveles de resistencia menores que el nivel de diseño seleccionado inicialmente para la evaluación.

Las propuestas de rehabilitación para refuerzo global son:

- Reforzamiento de elementos existentes.- consistiendo en la aplicación de los mismos métodos para el caso de modificación local de componentes estructurales.
- Incorporar nuevos elementos estructurales

- Muros de corte con placas de acero

3. Eliminación o reducción de irregularidades existentes. - Esta estrategia se emplea cuando los procesos de evaluación y análisis indican que la existencia de irregularidades de masa, resistencia o rigidez afectan para una adecuada respuesta de la estructura. La presencia de las mismas suele ocurrir por discontinuidades presentes en la estructura.

Esta metodología se realiza mediante:

- Incorporación de riostras de acero.

4. Rigidización global de la estructura. - Se emplea cuando se requiere incrementar la rigidez lateral de la estructura.

La propuesta de rehabilitación para este método se obtiene por medio de:

- Arriostramiento metálico (pórticos con arriostramiento concéntrico y excéntrico).

5. Reducción de masas. - Esta metodología se emplea cuando se identifica que la estructura soporta grandes cargas (demanda de resistencia), en especial debido a la carga muerta que es soportada directamente por los elementos estructurales.

La propuesta de rehabilitación consiste en:

- Eliminando elementos existentes pesados, tales como: particiones internas, contrapisos, acabados de piedras, equipamiento, entre otros.
- Reemplazo de elementos no estructurales más livianos que los existentes.

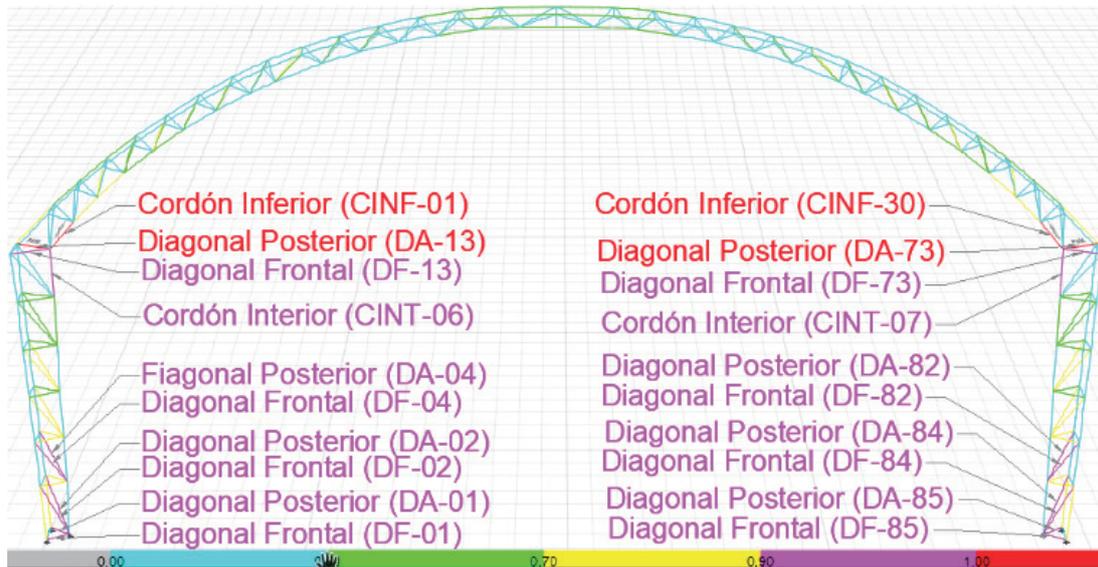
El análisis de las propuestas de rehabilitación se realiza mediante la comparación del comportamiento de la estructura en estado inicial y después de haber sido rehabilitada, además estudia la relación demanda / capacidad, obteniendo de esta forma la propuesta óptima de rehabilitación sísmica para este tipo de estructuras metálicas.

Análisis y Resultados

Análisis Estructura Estado Inicial. - El análisis de la estructura en estado inicial permite conocer el comportamiento de la estructura, así como las patologías, deficiencias o problemas estructurales, incluyendo la relación demanda / capacidad de los elementos.

Los elementos identificados en la Figura 2 presentan una relación demanda / capacidad mayor al 85%, por tanto son propensos a fallar por lo que necesitan ser intervenidos, este comportamiento se presenta en los pórticos internos de la estructura.

Figura 2. Elementos seleccionados para la rehabilitación sísmica



Nota: Pórtico interno tipo de la estructura, con elementos críticos con relación demanda/capacidad superior a 0.85.

Selección Metodología de Rehabilitación. - Mediante el análisis lineal dinámico de la estructura se conoce el comportamiento estructural, por el cual se determina la metodología de rehabilitación sísmica aplicable, como se muestra en la Tabla 1, obteniendo que la metodología de rehabilitación sísmica necesaria en una estructura metálica tipo industrial es a través de la “modificación local de componentes”.

Las propuestas de rehabilitación sísmica de la metodología modificación local de componentes son: colocación de placas de acero, cambio de sección y colocación de diagonales de acero, según el tipo de peligro identificado al estudiar el comportamiento de las secciones anteriormente señaladas como “críticas” o proclives a fallar, tal como se detalla en la Tabla 2, mostrando algunas ventajas de esta metodología como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 1. Comparación de distintas metodologías de rehabilitación sísmica para la estructura en análisis

Metodología de rehabilitación sísmica	Descripción	Solicitaciones del Diagnóstico Estructural	
		Necesita	No Necesita
Modificación local de componentes	Mejora conexiones, resistencia y capacidad de deformación de los elementos	X	
Remoción o reducción de las irregularidades	Reduce discontinuidades en la estructura e irregularidad de masa y rigidez		X
Rigidizado global de la estructura	Reduce desplazamientos laterales de la estructura		X
Reforzamiento global de la estructura	Incrementa resistencia de toda la estructura		X
Reducción de Masa	Disminuye demanda de resistencia y desplazamiento		X

Tabla 2. *Propuestas para la modificación local de componentes*

Tipo de falla a ocurrir	Propuesta de Rehabilitación
Compresión	Placa de acero
Compresión	Diagonal de acero
Tensión o Momento	Cambio de sección

Tabla 3. *Ventajas y características de la metodología de modificación local de componentes*

Procedimiento	Comportamiento
Placas de Acero	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la rigidez de diagonales. - Aumenta la capacidad de soportar las fuerzas de tensión provenientes de riostras concéntricas o excéntricas (Chevron o K) en las vigas. - Fortalece los empalmes de columnas u conexiones.
Diagonales de acero	<ul style="list-style-type: none"> - Eliminan las excentricidades de las conexiones si se colocan adecuadamente. - Soportan los elementos a tensión de las riostras tipo Chevron o K, cuando estos presentan pandeo por compresión.
Cambio de sección	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora la rigidez de diagonales.

El análisis lineal dinámico indicó que en una estructura industrial los elementos que se necesitan rehabilitar se encuentran en zonas denominadas críticas, debido a que existe una mayor concentración de esfuerzos debido a la interacción entre distintos elementos estructurales, como es el caso de la unión cercha-columna y columna-base, como se ilustra en la Figura 2.

En la unión cercha - columna, la concentración de esfuerzos en los elementos se produce debido a la presencia de cargas de compresión, mismas que son capaces de provocar que el tipo de falla en dichos elementos sea por pandeo, mientras que en la parte inferior de las columnas, donde la fuerza que predomina sobre los elementos es la tensión, provocarían que los elementos superen su capacidad a tracción y se rompan.

El comportamiento antes descrito se genera en cada uno de los pórticos que conforman la estructura, en la Tabla 4 se presenta un resumen del comportamiento de los elementos con mayor probabilidad de sufrir daño (Figura 2) y su respectiva propuesta de rehabilitación sísmica, conforme a lo expuesto en la Tabla 2.

Tabla 4. Resumen de rehabilitación sísmica en elementos críticos

Elemento	Comportamiento soportado	Propuesta de rehabilitación
DF-01	Momento	Cambio sección
DA-01	Momento	Cambio sección
DF-02	Tensión	Cambio sección
DA-02	Tensión	Cambio sección
DF-04	Tensión	Cambio sección
DA-04	Tensión	Cambio sección
CINT-06	Compresión	Diagonales
CINF-01	Compresión	Placa de acero
CINF-30	Compresión	Placa de acero
DF-13	Compresión	Placa de acero
DA-13	Compresión	Placa de acero
DF-73	Compresión	Placa de acero
DA-73	Compresión	Placa de acero
CINT-07	Compresión	Diagonales
DF-82	Tensión	Cambio sección
DA-82	Tensión	Cambio sección
DF-84	Tensión	Cambio sección
DA-84	Tensión	Cambio sección
DF-85	Momento	Cambio sección
DA-85	Momento	Cambio sección

Adicional de ello toda propuesta de rehabilitación debe ser analizada en base a parámetros como condición arquitectónica/operacional, materiales y mano de obra disponibles en el lugar, costo y tiempo con el fin de evaluar si son factibles o no las diferentes propuestas, por lo que en la Tabla 5 se presenta dicho análisis para algunos elementos del pórtico más desfavorable considerando los diferentes cambios de perfiles (O 3", e =1,5 mm de espesor) y colocaciones de placas de acero (16x70x1 cm).

Tabla 5. Análisis de parámetros para propuesta de rehabilitación sísmica

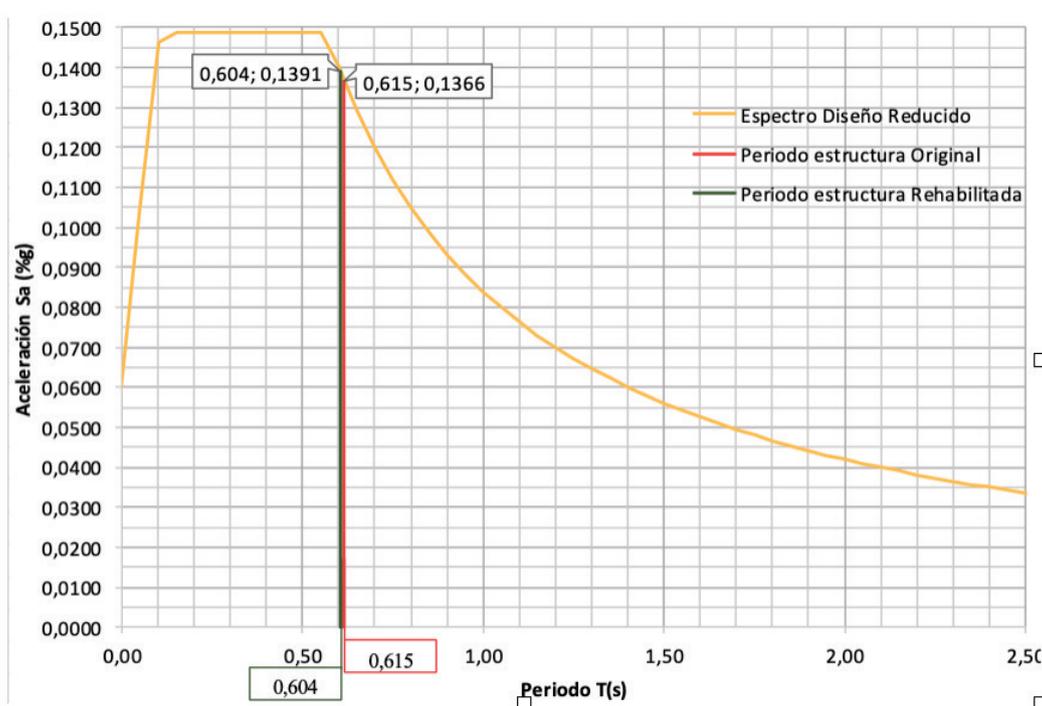
Elemento	Propuesta de rehabilitación	Condición arquitectónica/operacional	Materiales/Mano de Obra	Costo (kg)	Tiempo (h)
DF-01/DA-01	Cambio sección	Restringido el paso	Si	1.91	0.76
DF-02/DA-02	Cambio sección	Restringido el paso	Si	5.43	2.17
DF-04/DA-04	Cambio sección	Restringido el paso	Si	2.57	1.03
CINT-06	Placa de Acero	Libre Ocupación	Si	7.85	2.51
	Diagonal	Libre Ocupación	Si	6.63	2.12
	Cambio de Sección	Restringido del paso	Si	21.66	8.67
CINF-01	Placa de Acero	Libre Ocupación	Si	8.79	2.81
	Diagonal	Libre Ocupación	Si	36.61	11.72
DF-84/DA-84	Cambio de Sección	Restringido del paso	Si	15.16	6.07
	Cambio sección	Restringido el paso	Si	5.43	2.17

Comparación Estructura Inicial vs Rehabilitada

• **Periodo de vibración.-** El periodo fundamental de la estructura rehabilitada varía en 0,011 segundos en relación con la estructura inicial debido a la modificación local de sus componentes.

Mediante el cambio de perfiles e implementación de nuevos elementos se logra rigidizar la estructura, teniendo en cuenta que una de las características de la modificación local de elementos es que no se altera el comportamiento global de la estructura, tan solo lo hace en los elementos intervenidos, esto se evidencia claramente con los resultados obtenidos, generando una reducción relativamente pequeña en el periodo de vibración para la estructura rehabilitada.

Figura 3. Periodos de vibración para estructura inicial vs estructura rehabilitada



• **Desplazamiento.-** La metodología de rehabilitación sísmica que influye en el comportamiento de los desplazamientos es la rigidización global de la estructura, mediante la colocación de arriostramientos metálicos, tal y como se lo detalla en el numeral 4 de la subsección de medidas de rehabilitación sísmica del presente artículo.

A partir de los desplazamientos se calcula las derivas inelásticas, estas últimas representan el desplazamiento relativo entre dos puntos consecutivos de la estructura en función de su elevación.

Se identifica que el máximo desplazamiento de la estructura en el sentido X en estado inicial es 0,5171 cm, mientras que cuando se aplica la rehabilitación sísmica de modificación local de elementos expuestos a lo largo del artículo es 0,5145 cm.

La deriva máxima inelástica de la estructura inicial en sentido X es 0,0043 m/m, cuando se aplica la

rehabilitación sísmica la deriva es 0,0044 m/m.

En el sentido Y se obtiene un desplazamiento inicial igual a 1,455 cm y cuando se aplica la metodología de rehabilitación el desplazamiento disminuye a 1,435 cm.

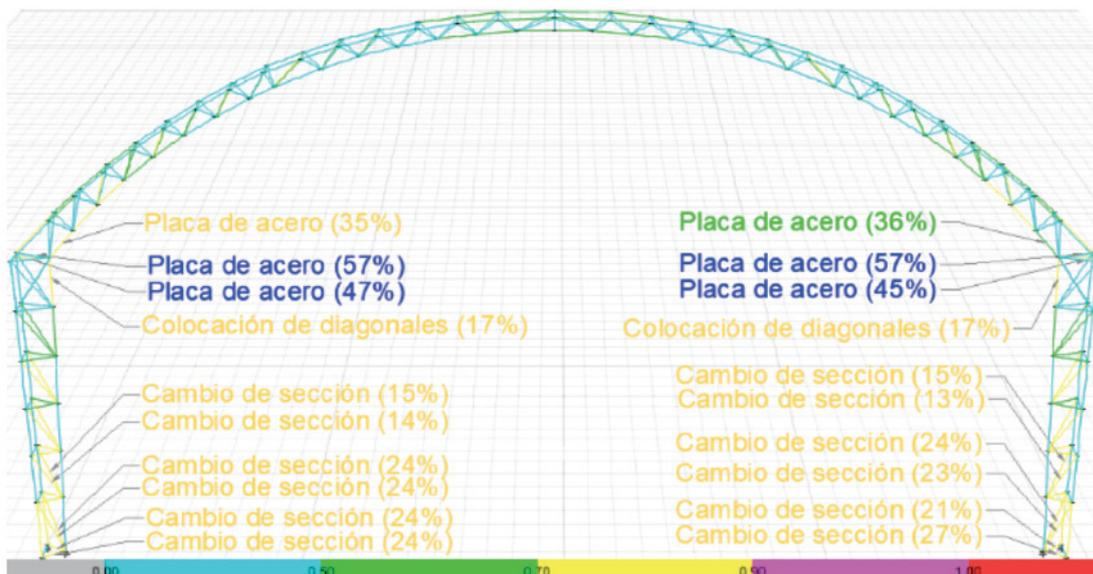
Inicialmente la deriva máxima inelástica de piso en sentido Y es 0,0169 m/m y cuando se aplica la rehabilitación se obtiene un valor de 0,0169 m/m.

Se observa que el sistema sismoresistente principal de la estructura está en el sentido X, obteniendo las derivas más pequeñas en este sentido, mientras que en el sentido Y la máxima deriva obtenida es inferior al 0,02 m/m, valor que indica la norma NEC-SE-DS como la deriva máxima para una estructura de este tipo, por ende la estructura en cuestión no presenta inconvenientes en cuanto a dicho parámetro de evaluación.

Mediante el análisis de estos resultados, se puede verificar que las metodologías de rehabilitación sísmica empleadas (modificación local de componentes), están correctamente aplicadas, ya que cumplen satisfactoriamente con el comportamiento esperado conforme a lo expuesto en la teoría de la subsección de Medidas de rehabilitación sísmica.

- **Relación demanda/capacidad de elementos.-** En la Figura 4 se evidencia la reducción de la relación demanda/capacidad al aplicar las distintas propuestas de rehabilitación sísmica mediante la modificación local de componentes, enunciadas en la Tabla 3.

Figura 4. Reducción de relación demanda/capacidad de la estructura rehabilitada



Nota: Pórtico interno tipo de la estructura, con elementos rehabilitados con incremento en su relación demanda/capacidad.

La implementación de los métodos de rehabilitación sísmica en los elementos reduce la relación demanda/capacidad, denotando que la utilización de placa de acero incrementa hasta un 57% la resistencia del elemento, la colocación de diagonales redujo la demanda/capacidad un 17%, mientras que el cambio de sección permitió un aumento del 24% la relación demanda/capacidad de los distintos elementos.

Figura 5. Variación razón demanda/capacidad de estructura inicial-estructura rehabilitada

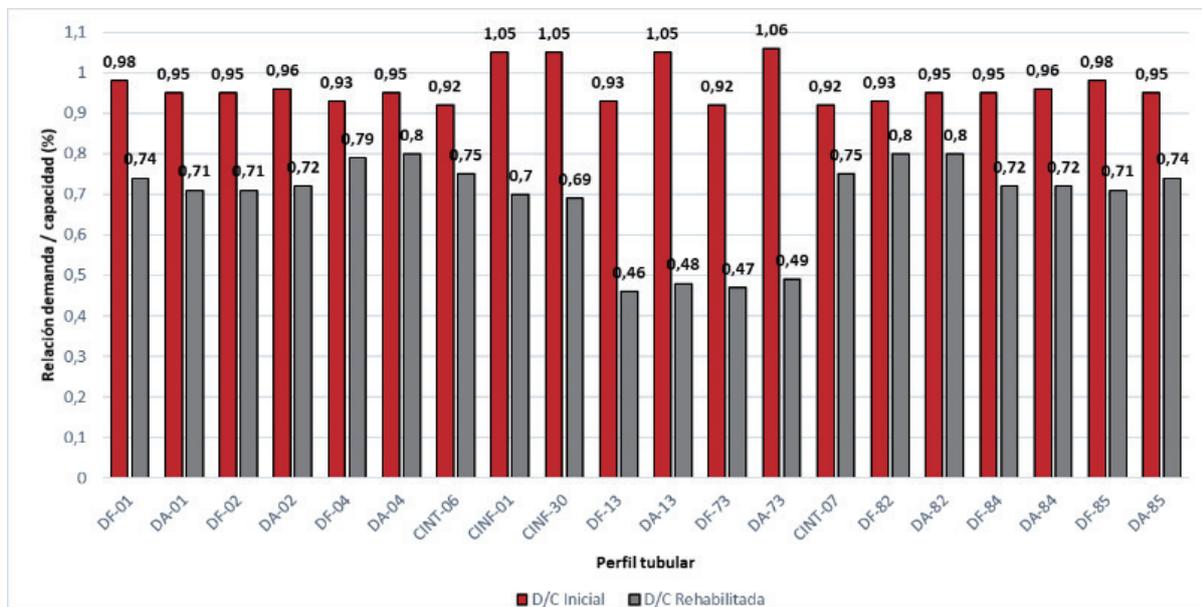
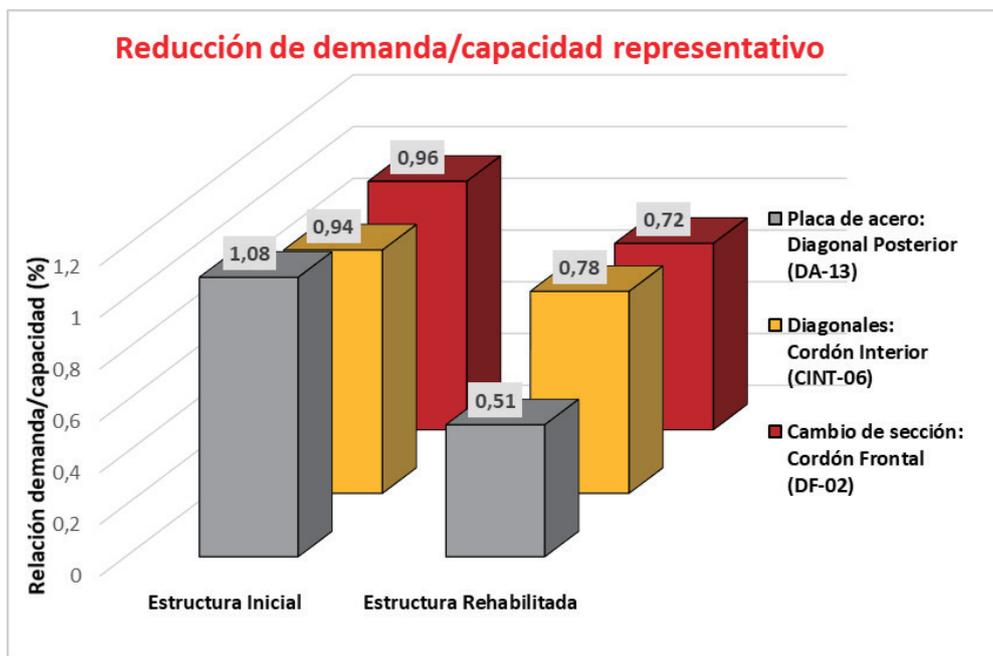


Figura 6. Variación representativa demanda/capacidad para elementos tipo



• **Costo de aplicación de rehabilitación sísmica.-** El presupuesto de ejecución para la rehabilitación sísmica de la estructura es de 1.129 dólares con 93 centavos estadounidenses (\$ 1.129,93), como se detalla en la Tabla 6 y el tiempo estimado de duración para los trabajos es de 15 días.

Estos valores se obtuvieron realizando un análisis de precios unitarios, la remuneración de la mano de obra y jornada laboral se apegan a lo dispuesto por las leyes ecuatorianas, de igual manera el precio de los materiales se ajustan a la oferta del mercado a la fecha de la realización del presente artículo.

Tabla 6. Presupuesto referencial para aplicación de rehabilitación sísmica

"ANÁLISIS Y COMPRACIÓN DE METOLOGÍAS DE REHABILITACIÓN SÍSMICA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS"					
PRESUPUESTO DE REHABILITACIÓN SÍSMICA					
TABLA DE DESCRIPCIÓN DE RUBROS, UNIDADES, CANTIDADES Y PRECIOS					
RUBRO	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	P. TOTAL
PERFILES DE ACERO					
01	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN PERFILES DE ACERO	kg	189,59	2,73	517,01
02	REMOCIÓN Y COLOCACIÓN PERFILES DE ACERO	kg	99,03	4,94	489,02
03	LIMPIEZA DE OBRA	m ²	705,96	0,18	123,90
TOTAL:					1.129,93
SON: MIL CIENTO VEINTINUEVO, 93/100 DÓLARES ESTADOUNIDENSES					
TIEMPO ESTIMADO: 15 DÍAS					

Como se puede observar en la Tabla 6, el precio unitario del Rubro 01 es menor que el del Rubro 02, mientras la cantidad de ejecución en obra del Rubro 02 es menor respecto al Rubro 01, generando que el precio total del Rubro 01 represente la mayor parte del presupuesto de rehabilitación.

Este fenómeno es debido a que el **Rubro 01: Suministro y colocación de perfiles de acero** posee menor costo por Kg de ejecución, pero contiene un mayor peso de acero, esto ocurre porque este rubro hace referencia a la colocación de diagonales y placas de acero que, aunque son pocas las intervenciones de este tipo, son más costosas ya que se requiere un espesor considerable para que las placas resistan los esfuerzos de pandeo debido a la fuerza de compresión y esfuerzos cortantes.

En contra parte el **Rubro 02: Remoción y colocación de perfiles de acero**, comprende únicamente la propuesta de rehabilitación por cambio de sección, siendo este tipo de rehabilitación la que más veces se aplica; posee una menor magnitud, debido a que la gran resistencia del acero a la tracción, permite que se requiera un menor volumen para lograr la rehabilitación solicitada.

Conclusiones

Se analizó las metodologías de rehabilitación sísmica expuestas en las normas NEC-SE-RE 2015 y ASCE/SEI 41-17 para estructuras metálicas existentes tipo industrial, determinando que en este tipo de estructuras las metodologías aplicables son la modificación local de componentes, remoción o reducción de irregularidades, rigidizamiento global de la estructura, reforzamiento global de la estructura y reducción de masa, cada una aplicable de acuerdo a las deficiencias identificadas en la etapa de evaluación.

Se observó que, en este tipo de estructuras, el principal modo de daño es por la falla local de elementos, identificando que los tipos de fallas más frecuente es debida a la compresión, tracción y momento que experimentan los perfiles, por tanto, la metodología de rehabilitación sísmica óptima es la modificación local de componentes.

Se determinó que las propuestas de rehabilitación por medio de la metodología de modificación local de componentes aplicables son: la implementación de placas de acero o diagonales cuando la falla es por compresión, mientras que cuando sea por tracción o momento es aconsejable realizar un cambio de sección.

Se concluyó que las propuestas de rehabilitación sísmicas aplicadas son las más óptimas de acuerdo a los daños identificados, ya que los perfiles considerados como críticos tuvieron una reducción promedio de 0,27

en la relación demanda /capacidad, siendo la colocación de placa metálica la que mayor beneficio produce, pero en grandes áreas es la más costosa.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación inició gracias al estudio realizado por el estudiante Guerrero Flores Héctor Octavio, cuyos resultados fueron de gran aporte para este artículo. Agradeciendo su especial contribución y deseándole muchos éxitos profesionales y personales.

Bibliografía

- Aguiar, R., García, L., Menéndez, E., Zevallos, M., y Palacios, J. (2016). Análisis y reforzamiento de una estructura afectada por el terremoto del 16 de abril del 2016. *Riemat*. 1(1), 1–16.
- A.S.C.E. (2017). ASCE / SEI 41 – 17: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers, Virginia, U.S.A.
- A.I.S.C. (2016). ANSI / AISC 341-16: Seismic provisions for structural steel buildings. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, IL.
- A.I.S.C. (2016). ANSI / AISC 360-16: Specification for structural steel buildings. American Institute of Steel Construction Inc., Chicago, IL.
- Crisafulli, F. J. (2018). Diseño sismorresistente de construcciones de acero. Mendoza, Argentina: Alacero.
- F.E.M.A. (2000). FEMA 356: Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., U.S.A.
- Gómez D., Marulanda J. & Thomson P. (2008). Control Systems for Dynamic loading protection of Civil Structures. *DYNA*. Vol.75, pp.77-89.
- Guerrero D.P. (2015). Evaluación técnica económica del diseño por desempeño de edificios con estructura de acero utilizando diversos tipos de arriostramientos laterales. Escuela Politécnica Nacional., pp.17,81,82. Quito-Ecuador
- Guerrero H. (2020). Análisis de metodologías de rehabilitación sísmica de estructuras metálicas con aplicación en una edificación de tipo industrial ubicada en el cantón Ambato. Universidad Técnica de Ambato. pp.202. Ambato-Ecuador
- Ito, T., & Mori, K. (2016). Repair Method of Damaged Steel Framed Structures and Ultimate Seismic State of Repaired Steel Frames. *J. Civ. Environ. Eng.*, 3(2), 1 – 8. <http://dx.doi.org/10.4172/2165-784X.S3-002>.
- Loaiza Tacury, J. (2018). Estudio de los métodos de rehabilitación usados en edificios afectados por el sismo del 16 de abril de 2016 en el Ecuador. Universidad Católica De Santiago de Guayaquil.
- NEC-SE-DS (2015), Norma Ecuatoriana de la Construcción: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente 2015. Miduvi-Camicon. Quito, Ecuador.
- NEC-SE-RE (2015), Norma Ecuatoriana de la Construcción: Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras 2015. Miduvi-Camicon. Quito, Ecuador.
- Santamaría Freire E.J., Pico Barrionuevo F.P. (2015). La calidad de vida del propietario de la empresa familiar, caso empresas de Ambato-Tungurahua. *Sotavento M.B.A.*, vol.25, pp.66-73.
- Vinnakota S. (2006). Estructuras de acero LRFD: Comportamiento. Primera Ed. México D.F.-México.