

¿QUÉ PODRIAMOS APRENDER DEL SISMO DE ECUADOR DE ABRIL DE 2016?

Lessons from the April 2016 Ecuador Earthquake.

Zulma S. Pardo V.¹

¹Gerente ZJ Ingenieros Estructurales Ltda. Profesora cátedra Pontificia Universidad Javeriana., Bogotá, Colombia

RESUMEN

El pasado 16 de abril de 2016, en la Manabí (Ecuador), se presentó un sismo de magnitud 7.8 en la escala de Richter, que produjo graves daños en las ciudades de Manta, Portoviejo y Pedernales.

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, envió a la autora como delegada para determinar qué aspectos deberían ser motivo de socialización para mejoras en las provisiones sísmicas colombianas.

Este artículo se centra en aspectos sobre el comportamiento de estructuras metálicas observados en la ciudad de Manta, provincia de Manabí (Ecuador). La denominada zona cero de Manta se cimienta sobre una zona ganada al mar mediante rellenos con arenas y fue la más afectada durante el sismo. Se presentan tres estructuras metálicas de configuraciones y usos diferentes, dos ubicadas en la zona turística y una en la zona cero, dos de las cuales no tienen afectaciones severas y una que aunque tuvo daños severos en elementos no estructurales su sistema principal permaneció sano.

De acuerdo a sus sistemas estructurales y la Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC-2015), se hace una comparación frente a la NSR-10 y se establecen aspectos que se deben considerar en futuras investigaciones en Colombia. Se hacen recomendaciones de cambios a la NSR-10, para laminados en caliente y lámina delgada.

Se presentan los resultados de un programa experimental realizado con la cartilla de evaluación postsismo desarrollada por AIS, considerando varios daños encontrados en Ecuador, estableciendo hacia donde se debe enfocar la actualización de la misma de acuerdo a la experiencia vivida por ese país y los resultados obtenidos en la prueba que aquí se presenta.

Palabras clave: AISC 360-10, AISI S100-12, NSR-10, estructuras metálicas, ingeniería sísmica, cartilla post-sismo AIS.

ABSTRACT

The last April 16th 2016, an earthquake in Manabí (Ecuador) occurred. This event had 7.8 of magnitude in the Richter scale and several and dangerous damages presented in the cities Manta, Portoviejo and Pedernales.

The Colombian Earthquake Engineering Association, sent the author and entrusted to determine what aspects would have than to be important for the development the future versions of Colombian specifications.

This paper tries behavior aspects for steel structures that the author observed in the city of Manta, Manabí province (Ecuador). The zero zone of Manta has your foundations in sand fills, the habitants have refilled sea's areas and built your commercial locals. The zone is the more affected in this earthquake. Three steel structures with configurations and uses different are presented. Two are in the touristic zone and one in the zero zone. Two structures experimented not too many damages and the third had several damage in nonstructural members, however in the main structure the damage were not too many.

The structural systems by NEC-2015 and by NSR-10, are compared. Some proposals for future researches in Colombia are presented. Recommendations for changes to NSR-10 in thin sheet and structural steel are proposed.

An experimental test using the post-earthquake primer, developed by AIS (Colombian Earthquake Engineering Association) is presented and your results. This test was done with five cases of Ecuador's earthquake. Aspects that the new primer post-earthquake has to consider are presented and recommendations for the new development.

Keywords: AISC 360-10, AISI S100-12, NSR-10, Steel structures, earthquake engineering, post-earthquake primer.

1 INTRODUCCIÓN

Una comisión de Ingenieros estructurales colombianos conformada por un delegado de la ACIES (Asociación de Ingeniería Estructural), de la SCI (Sociedad Colombiana de Ingenieros), de ASCE (Capítulo Colombia del American Society Civil Engineers) y de AIS (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica), se desplazó al vecino país de Ecuador para aprender de lo acaecido, en el sismo de abril de 2016. El presente documento expone las conclusiones de la representante por AIS, frente a lo observado en el aspecto específico de las estructuras metálicas visitadas.

La intención de este artículo es reflexionar si será necesario evaluar la aplicación de algunos requisitos para edificios metálicos en nuestro país, puesto que las estructuras sometidas a un sismo de 7.8 en la escala de Richter, tuvieron un adecuado comportamiento, sin tener requisitos tan estrictos como algunas veces se exige en Colombia.

El sismo de Ecuador fue de carácter superficial a 20km y se originó frente a Manabí.

2 CONTEXTO

2.1 NEC (Norma Ecuatoriana de construcciones)

En Ecuador está vigente la Norma Ecuatoriana de Construcciones (NEC) de 2015, en ella la deriva permisible es el 2% de acuerdo al artículo 4.2.2. para sistemas en lámina delgada se acepta un coeficiente de modificación de respuesta de 10.

El tomo dedicado a diseño de estructuras de acero de esta norma se basa en el AISC 360-10, AISC 341-05, AISC 358-10

2.2 NSR-10. (Norma Sismo Resistente Colombiana de 2010)

El título F para laminados en caliente se fundamenta en AISC360-10, AISC 358-05, AISC 341-05 y limita la deriva de las estructuras al 1%. Los coeficientes de modificación de respuesta para los sistemas metálicos oscilan entre 5 y 7. Para laminados en caliente se basa en AISI S100-07.

3 ANÁLISIS ESTRUCTURAS

3.1 Estructura 1. Un hotel.

Se trata de un hotel ubicado frente a la playa en la ciudad de Manta, el cual consta de 22 pisos, tiene 59.5m de altura y dos sótanos. Se abrió al público en mayo de 2015, cuenta con 40 habitaciones y 92 apartamentos. El costo de construcción se estimó en 20 millones de dólares.

El sistema estructural empleado consta de columnas en sección compuesta tubulares pañetadas para dar la sensación que son de concreto. Las vigas principales y secundarias están conformadas por secciones de alma llena armadas.

Llama la atención que vigas principales y vigas secundarias están soldadas con cordones interrumpidos. La adherencia del revestimiento de acabados de las columnas pende de algunas varillas de refuerzo soldadas a la carga de la sección tubular.

Visitando el sector de los sótanos se observó (Fig 1.), nótese las soldadura interrumpidas, las conexiones son soldadas alma patín, los cortes de las vigas armadas no coinciden dentro de la misma "i". No hay conexiones con tornillos.



Figura 1: Sótano de un hotel en Manta.



Figura 2: Conexión Columna viga a nivel de sótano

En la Fig 2, se puede observar la conexión entre vigas principales y columnas en el sótano, totalmente soldadas y en perfecto estado. En la Fig 3, se presencia la pérdida del revestimiento de las columnas en los pisos superiores y la falla de elementos no estructurales construidos con muros bloques de concreto. Las varillas soldadas al tubular constituyen los detalles para anclaje del revestimiento que como se observa eficientemente, NO trabaja.



Figura 3: Columna niveles superiores pérdida revestimientos.

3.2 Estructura 2. Un edificio con apartamentos de veraneo.

Se trata de un condominio de apartamentos para veraneo, frente al mar en Manta. El edificio posee 8 pisos y un semisótano, el sistema principal está conformado por pórticos de concreto reforzado y viguetería “incorporada” a las vigas principales del edificio que son muy esbeltas. La viguetería NO tiene la misma dirección siempre, alterna en algunos paños del edificio. El edificio se construyó entre 2011 y 2014. Entró en operación en 2015. El costo por metro cuadrado en el sector y de este tipo de edificio para la época era de 1000 dólares.

La Fig 4., presenta el sistema de viguetería con ausencia de riostras con evidencia de pandeo flexo torsional.



Figura 4: Conexión viguetas en lámina delgada a pórticos de concreto

En la Fig 5, se presenta un detalle de la conexión de las viguetas al sistema principal de concreto. Nótese el agujero alargado en el sitio de apoyo, la vigueta es sencilla y se encuentra en perfecto estado No tiene pandeo local.

En la Fig 6, se presenta otro detalle del mismo edificio donde no existen agujeros alargados en los apoyos y si existen traslape de perfiles C rigidizados de aproximadamente 700mm, el estado de estas viguetas también es bueno. No existe pandeo local. En los dos casos el Steel deck está soportado sobre las viguetas.



Figura 5: Conexión viguetas en lámina delgada a pórticos de concreto



Figura 6: Conexión viguetas en lámina delgada a pórticos de concreto

3.3 Estructura 3. Local comercial.

Se trata de un local comercial de 3 pisos en acero estructural con perfiles tubulares rellenos y vigas en perfiles de lámina llena. (Fig 7).

En la Fig 8, se observa el sistema estructural que carece de tornillos nuevamente y es todo soldado con perfiles de acería. Es una práctica común en el sitio revestir las columnas, se supone por durabilidad, por estar sometida al ambiente salino del sitio.



Figura 7: Conexión viguetas en lámina delgada a pórticos de concreto



Figura 8: Conexión viguetas en lámina delgada a pórticos de concreto

4 DISCUSIÓN

4.1 Sobre las medidas tomadas por las autoridades ecuatorianas.

De acuerdo a los formatos que poseían cada una de las estructuras presentadas, evaluadas por los inspectores post-sismo la estructura 1, corresponde a un estado “amarillo”, que tiene daños y deben ser arreglados, pero no representa peligro global de colapso. Se debe evacuar la zona de los daños y reparar antes de entrar en operación nuevamente. La estructura 2 fue evaluada como estado “rojo”, es decir, colapso estructural y se ordena su demolición inmediata por representar un peligro para la ciudadanía. La estructura 3, se catalogó como estado “verde”, daños mínimos, y que puede seguir operando normalmente.

A juicio de la autora, ninguna de las estructuras debía ser demolida, la más afectada de estas tres estructuras es la número 2, pero sus daños corresponden a elementos no estructurales que se pueden reparar sin demoler la edificación completa.

El presente artículo hace parte de las memorias del VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica organizado por la Universidad del Norte y la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Área Metropolitana de Barranquilla, Mayo de 2017.

Como estas evaluaciones se encontraron muchas más en los sitios visitados, por esta razón, se realizaron una serie de pruebas en Colombia, con los formatos de evaluación post-sismo presentados por AIS a la oficina de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, para establecer con estructuras debidamente documentadas en este sismo, si la misma problemática se podía presentar en Colombia con la evaluación postsismo. Se detectó un problema en la determinación de qué estructura está en colapso estructural y debe ser demolida y cuál no.

4.2 *Sobre lo encontrado y nuestra NSR-10*

Se observaron elementos soldados de forma discontinua, que se comportaron adecuadamente en el sismo, por lo tanto, debería considerarse en programas experimentales futuros el evaluar hasta qué punto es necesario soldadura continua de penetración completa como en muchos casos se especifica en Colombia para elementos principales metálicos en los edificios.

El detalle presentado en la (Fig 5), tuvo un comportamiento adecuado en el sismo, se pueden establecer analogías con el trabajo realizado por (Uzzaman, 2012), donde se manifiesta que para secciones en perfiles de lámina delgada ubicados en los apoyos es benéfico emplear agujeros. Por lo tanto, se podría explorar en Colombia, la elaboración de este tipo de perfiles para sistemas estructurales en lámina delgada.

Las estructuras presentadas, ninguna posee conexiones precalificadas como se conocen a la luz del AISC358-16, y el desempeño fue adecuado, para un sismo de gran magnitud si la justificación del uso de las mismas es este. ¿No sería conveniente replantear hasta donde debe ser exigible en Colombia, el uso indispensable de conexiones precalificadas en nuestros edificios ubicados en zonas de riesgo sísmico?

4.3 *Programa experimental propuesto y desarrollado*

Teniendo en cuenta el principal problema detectado en la visita, la determinación por parte de los inspectores de si una edificación debía ser demolida, evacuada o estaba en colapso estructural, se propuso un programa experimental para indagar, ¿qué pasaría si la evaluación la realizaran profesionales Colombianos, haciendo uso del formato de evaluación post-sismo, diseñado por AIS hace unos años?. Para tal fin un grupo de voluntarios conformado por estudiantes de postgrado de la Pontificia Universidad Javeriana conformado por 9 Ingenieros civiles y 6 arquitectos que actualmente adelantan sus estudios de postgrado en Estructuras o en Tecnología de construcción de edificaciones, procedieron a evaluar 5 estructuras con fallas diferentes, sistemas estructurales distintos encontrados en el sismo de Ecuador. Los evaluadores debían estudiar la cartilla diseñada por AIS para tal fin, que se les suministró una semana antes de la realización de la prueba. Para diligenciar los formatos no tenían límite de tiempo y al final de los mismos debían calificar la estructura con una de las tarjetas que se colocan en la fachada de cada edificación a saber:

Verde: Daños menores, no debe ser evacuada y los daños no requieren reparación inmediata.

Amarilla: Cerramiento de la zona comprometida, la edificación es habitable excepto en el primer sector hasta que este se repare.

Naranja: Riesgo de colapso. Evacuación necesaria.

Roja: Colapso, evacuación inmediata.

Las estructuras evaluadas se presentan en la (Fig 9)

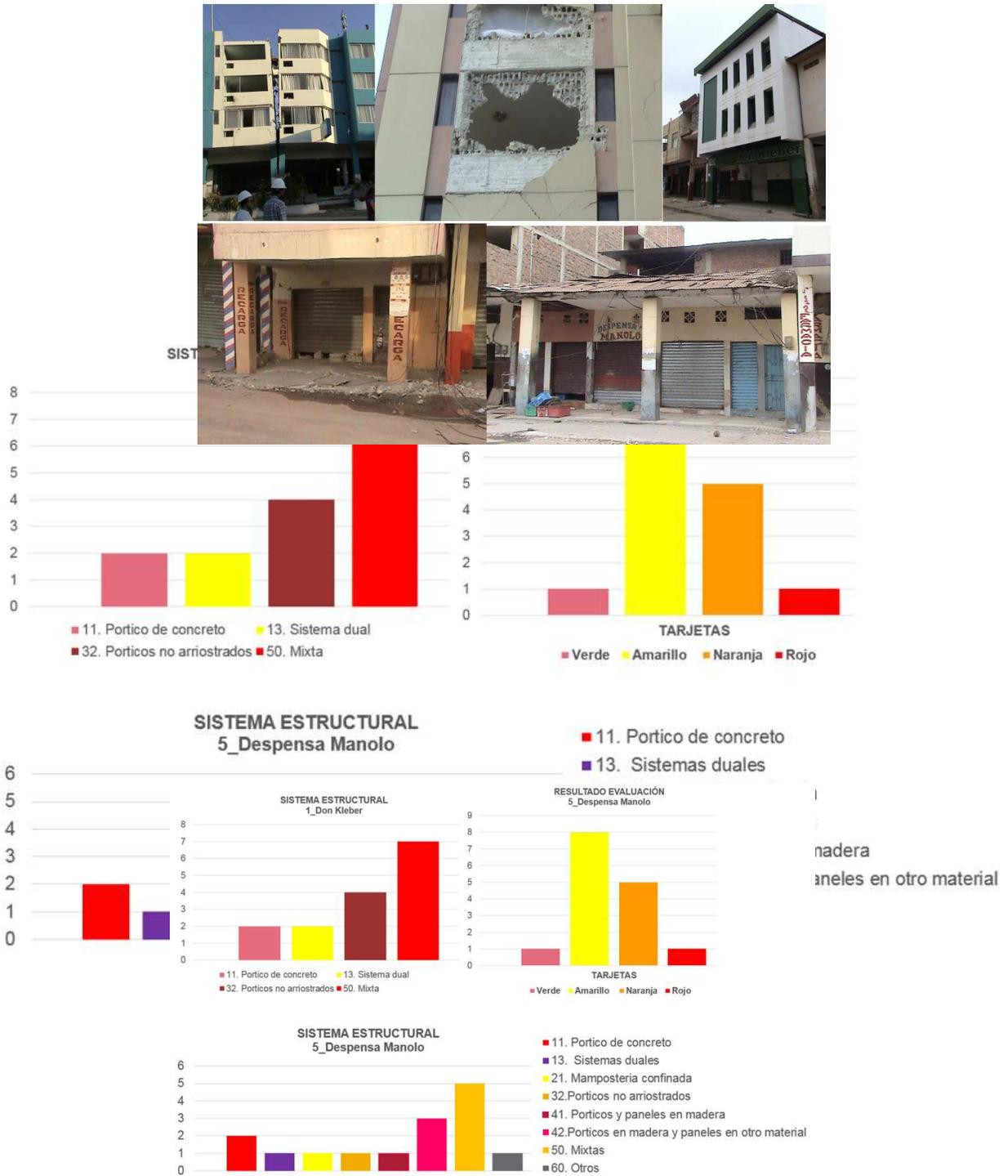


Figura 10: Caracterización tipología edificación.

La identificación del daño de la edificación fue un problema mayor que enfrentaron los participantes, como se observa en la (Fig 11), no existe convergencia de los resultados, lo cual es, muy grave si se trata de establecer en una catástrofe el demoler o no o el evacuar o no.



Figura 11: Calificación del daño en la edificación.

Al final de la evaluación post-sismo, el participante debe decidir qué color de tarjeta coloca en la fachada de la edificación evaluada, como se puede observar en la (Fig 12), la evaluación no converge, excepto para el caso 1, sin embargo para esta edificación la tipología no converge en la evaluación.

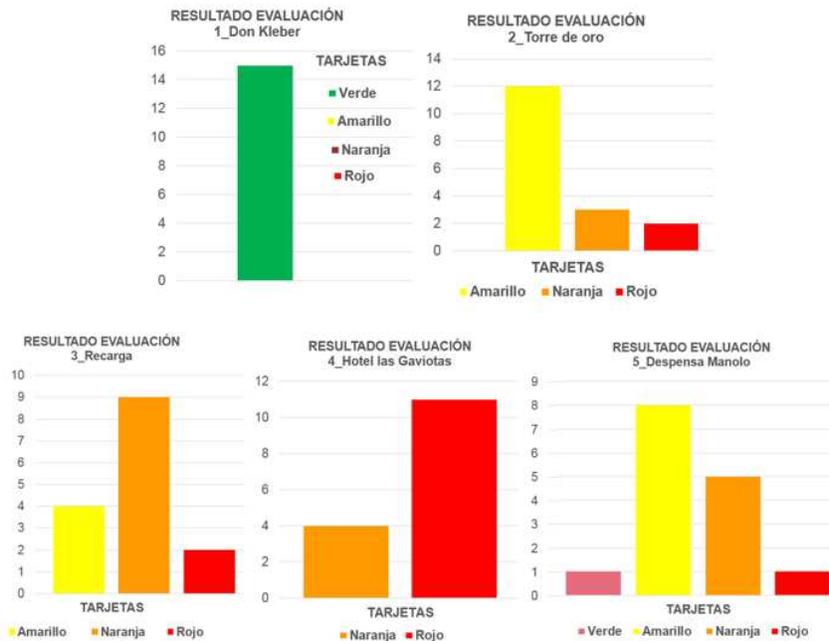


Figura 12: Tarjeta seleccionada. Evaluación final de la edificación.

CONCLUSIONES

Las estructuras totalmente soldadas conformadas por columnas tubulares rellenas y vigas en alma llena tuvieron un comportamiento adecuado frente al sismo de Ecuador de Abril de 2016.

El sistema de conexión de canales con agujero alargado en los apoyos como vigueta se comportó adecuadamente, sería interesante investigar si este sistema se puede emplear en estructuras en Colombia. Se considera que la presencia de la ranura obedece a condiciones de control del arrugamiento del alma en el apoyo y actúa como disipador.

Las vigas principales armadas con soldaduras interrumpidas alma-patín tuvieron un buen desempeño durante este evento sísmico. Se recomienda adelantar investigaciones en Colombia para verificar su comportamiento y si se puede recomendar para su uso en sistemas principales de los edificios.

Las viguetas en canal rigidizado, deben tener arriostramientos máximo cada 3.00m, para controlar el pandeo lateral torsional, que puede observarse en la Fig. 4.

Los revestimientos de las columnas tubulares, deben tener un adecuado detallaje para evitar que los mismos colapsen como en el caso del hotel presentado en este trabajo.

No es recomendable emplear una deriva del 2% como en el Ecuador, porque se evidenciaron demasiados daños en elementos no estructurales. Es mejor el 1% que considera la NSR-10.

Es necesario reforzar en las Universidades Colombianas la identificación de las diferentes tipologías de sistemas estructurales habituales en nuestro país, para que los profesionales los puedan identificar correctamente.

Es indispensable actualizar la cartilla de inspección postsismo de AIS, realizando pruebas con profesionales, de tal forma que se puede garantizar cualquier profesional la puede entender fácilmente y puede realizar una inspección post-sismo adecuada en evento de este tipo.

Se recomienda, trabajar en las Universidades con documentos como la cartilla actual de inspección post-sismo, para que los futuros profesionales o los que están en formación, puedan hacer una evaluación de una edificación cuando ocurra un evento sísmico adecuada y que permita a los diferentes organismos encargados de la emergencia tomar las decisiones adecuadas.

AGRADECIMIENTOS

A la Junta Directiva de AIS, quién envió a la autora a la zona del sismo para evaluar qué podríamos aprender de lo acaecido.

A los estudiantes de la maestría en Ingeniería Civil, énfasis estructuras y los de la Especialización en Tecnología de la Construcción de Edificaciones de la Pontificia Universidad Javeriana, Sede Bogotá, que en este artículo se denominaron participantes y que donaron su trabajo evaluando las edificaciones que se les plantearon para caracterizar el problema aquí tratado.

REFERENCIAS

AIS. 2002. Guía Técnica para inspección de edificaciones después de un sismo. Manual de Campo.

NEC. 2015. Estructuras de acero. MIDUVI. Ecuador.

NEC. 2015. Peligro sísmico. Diseño Sismo Resistente. MIDUVI. Ecuador.

NSR. 2010. Título F. Estructuras metálicas. Decreto 926 de Marzo 19 de 2010 de Colombia.

Uzzaman, A., Lim, J., Nash, D., Rhodes, J., Young, B. The effects of web holes on web crippling strength of cold formed steel channels under end two flange loading condition. 21th International Specialty Conference on Cold formed steel structures. Pp 297- 311.