

Comportamiento estructural del sistema prefabricado Gran Panel Soviético a partir de las modificaciones realizadas por los habitantes ante sismos de gran magnitud

Grisel Morejón-Blanco* ⁽¹⁾, Yelena Berenguer-Heredia ⁽¹⁾, Kenia Leyva-Chang ⁽¹⁾, Darío Candebat-Sánchez ⁽¹⁾ y Alexeis Artímez-Numas ⁽¹⁾

(1) Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Calle 17 No.61 e/4 y 6, Vista Alegre, Santiago de Cuba, Cuba. E-mail: grisel@cenais.cu, yelena@cenais.cu, kenia@cenais.cu, dario@cenais.cu, alexeis@cenais.cu

Recibido: octubre 23, 2013

Aceptado: noviembre 1, 2013

Resumen

En el trabajo se presenta la evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural del Sistema Prefabricado Gran Panel Soviético a partir de analizar las modificaciones realizadas por los habitantes y las consecuencias sobre la estructura del período de explotación. Para lograr el objetivo propuesto se realizaron inspecciones técnicas a fin de determinar el estado técnico actual de las edificaciones y las modificaciones realizadas por los propietarios, aspectos que fueron tenidos en cuenta en la elaboración de los modelos estructurales con el programa SAP2000. Los modelos realizados presentan adecuada rigidez, en todos excepto el que presenta las condiciones más desfavorables (menor resistencia de los materiales y la pérdida del 8% de los paneles) las juntas para garantizar la continuidad vertical y la junta vertical entre paneles resisten las solicitaciones actuantes.

Palabras clave: sistema prefabricado Gran Panel Soviético, vulnerabilidad sísmica estructural

Structural performance of precast system Gran Panel Soviético from the modifications made by the residents to earthquakes of great magnitude

Abstract

The paper presents evaluation of structural seismic vulnerability of system precast Gran Panel Soviético from analyzes the modifications made by the residents and the consequences on the structure of the period of exploitation. To achieve the proposed objective technical inspections were carried out to determine the current technical condition of the buildings and the modifications made by the owners, aspects which were taken into account in the preparation of the structural models with SAP2000 program. Made models have adequate stiffness, all except that presents the most unfavourable conditions (lower strength of materials and the loss of 8% of the panels) joints to ensure that vertical and the vertical joint between panels resist the acting loads.

Key words: system precast Gran Panel Soviético, structural seismic vulnerability

1. Introducción

Los desastres de origen natural en los últimos 40 años, han causado más de 4 millones de muertos, más de 50 millones de heridos, alrededor de dos billones de personas se han quedado sin viviendas y las pérdidas económicas han pasado el billón de dólares. Se estima que el 50 % de esas pérdidas económicas han sido causadas por desastres de origen geológico, generalmente sismos.

Nuestro país por su ubicación geográfica, condiciones geólogo - tectónicas, sismológicas, climatológicas, y geomorfológicas, se encuentra sometido a diferentes tipos de peligros naturales como ciclones, inundaciones,

sequías, deslizamientos y terremotos. En particular la región oriental de Cuba es la de mayor peligrosidad y vulnerabilidad sísmica debido a su cercanía a la zona de contacto entre las placas de Norteamérica y el Caribe.

A partir del triunfo de la Revolución Cubana la esfera de la construcción sufrió cambios radicales encaminados a satisfacer las necesidades vitales de vivienda de la población. Con este objetivo se estudiaron sistemas prefabricados que dieran respuesta a esta problemática a partir del crecimiento vertical permitiendo un mayor aprovechamiento de las áreas existentes. Es así como se adopta el Sistema Prefabricado Gran Panel Soviético (GPS), diseñado y muy utilizado en la antigua Unión Soviética con el mismo propósito.

En la ciudad de Santiago de Cuba existen varios centros urbanos y repartos construidos con este sistema (más de 866 edificios) que ha demostrado cumplir con las especificaciones establecidas para zonas de peligro sísmico elevado, pero que han sufrido modificaciones estructurales importantes realizadas por los habitantes en aras de lograr mayor confort en sus viviendas. Sumado a esto es necesario destacar el deterioro del estado técnico como consecuencia de la falta de mantenimiento de estas edificaciones unido a la edad de las mismas, como se observa a continuación (tomado de la Dirección Provincial de la Vivienda).

- Distrito José Martí: 11 855 apartamentos (98% están valorados en estado técnico de regular a malo).
- Distrito Abel Santamaría Cuadrado: 6 492 apartamentos (70% en estado regular a malo).
- Distrito Antonio Maceo: 1 328 apartamentos (57% valorados entre regular y malo).

2. Materiales y métodos

Para evaluar la vulnerabilidad estructural ante las acciones sísmicas del sistema, teniendo en cuenta las modificaciones realizadas por los habitantes y los deterioros observados, primeramente se realizó una evaluación estructural sin estas modificaciones y deterioros, con el objetivo de posteriormente llegar a conclusiones de la vulnerabilidad estructural del sistema con los años de explotación que presenta.

Se realizaron análisis dinámicos espaciales de cada una de las estructura, con ayuda del SAP2000 (Computer and Structures, 1999), el método de cálculo utilizado fue el de Análisis Modal Simplificado como método del Espectro de Respuesta, utilizando como fórmula de superposición la CQC (Combinación Cuadrática Completa), resolviendo el problema de los valores propios por el método de los vectores de Ritz, considerándose en el análisis los modos representativos en los modelos analizados.

Teniendo en cuenta que este sistema esta conformado por paneles prefabricados en ambas direcciones, la modelación de los elementos se realiza mediante el método de los elementos finitos. Los paneles se consideraron empotrados ya que las juntas garantizan la continuidad de los mismos. Se le asignaron al modelo las masas que se generan en cada uno de los nudos, tomando en consideración que la masa es la relación que existe entre el peso y la aceleración de la gravedad. Los entrepisos se consideraron rígidos asignando un diafragma en cada nivel y se modelaron como elementos finitos. Se realizaron un total de 15 modelos, teniendo en cuenta las afectaciones principales en relación a la calidad de los materiales estructurales y a las modificaciones realizadas.

3. Resultados y discusión

En el año 2005 el Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas desarrolló un proyecto de investigación “Estudio de los sistemas prefabricados SAE, GPS, IMS y Girón destinados a centros educacionales y policlínicos en la ciudad de Santiago de Cuba”, encaminado a evaluar la seguridad estructural de los principales sistemas constructivos prefabricados existentes en la ciudad de Santiago de Cuba según los proyectos técnicos recopilados para este fin (Márquez, P.I, et al. 2005).

No obstante este proyecto arrojó la necesidad de realizar estudios más específicos en el sistema GPS debido a que ha sufrido modificaciones y deterioros durante el tiempo de vida útil que atentan contra la seguridad sísmica de estas edificaciones, además en el mismo solo se chequeó un edificio de cuatro niveles, los cuales son los que menos abundan en la ciudad. Por lo que en este proyecto nos proponemos realizar primeramente una estimación de la vulnerabilidad estructural de un edificio GPS de cinco niveles, ampliamente difundidos en la ciudad, para posteriormente evaluar el mismo con los principales deterioros y modificaciones encontrados en la inspección técnica realizada.

La primera manifestación de introducción de tecnologías de avanzada para la construcción de viviendas fue en 1964, a raíz de una donación por parte de la antigua Unión Soviética de una planta completa tipo 1-464, que se construyeron fundamentalmente en la ciudad de Santiago de Cuba. Estos edificios son de 20, 40, y 60 apartamentos con o sin balcones de dos y tres entradas y tienen cuatro y cinco niveles (ver **Fig. 1**).



Fig. 1. Variantes de edificios Gran Panel Soviético. (a) 4 niveles, (b) 5 niveles, (c) 4 niveles con balcones y (d) 5 niveles con balcones.

La estructura portante de estos sistemas está compuesta por muros de cargas en los dos sentidos de la edificación, sobre los mismos descansan las losas de entrepiso y cubierta que transmiten las cargas gravitacionales hasta llegar al cimiento.

Con el fin de dotar estas estructuras de resistencia frente a la acción sísmica, los muros de carga son unidos mediante juntas rígidas capaces de absorber los efectos del cortante producidos por esta acción, se dota a la estructura de continuidad vertical ya que se colocan los paneles desde el cimiento hasta la cubierta y en planta no se permiten discontinuidades, en las zonas de las terrazas se colocan paneles de pórticos. Los entrepisos y cubiertas se unen mediante juntas a los paneles formando un disco rígido capaz de resistir el cortante sísmico, transmitiéndolo a los elementos de rigidización vertical.

Aunque los elementos estructurales principales de la estructura son prefabricados, se le confiere un alto nivel de ductilidad, debido a que los elementos disipadores de la energía serán los paneles que conforman el sistema. Es necesario señalar que los mismos aportan una gran rigidez, no obstante permiten un comportamiento dúctil. Prueba de lo anteriormente expresado es el desempeño de este tipo de edificación en sismos pasados que aunque no presenta las mismas características en cuanto a número de niveles y configuración en planta si presenta el mismo sistema estructural, por tanto su comportamiento es similar, independientemente de las características del evento sísmico.

El Sistema posee un alto grado de hiperestaticidad, dado por la continuidad existente entre los elementos estructurales, las juntas y el disco rígido que se produce en la cubierta y los entrepisos, garantizando de esta forma los requerimientos básicos para la supervivencia de la edificación, esto permite la posibilidad de que los elementos del sistema puedan absorber y disipar energía después que se ha producido la falla de otros, aumentando significativamente el nivel de seguridad de la edificación. Esto implica un comportamiento dúctil en los paneles ya que se desarrollan grietas diagonales en los mismos después que el acero ha alcanzado su límite de fluencia.

En el proyecto del sistema Gran Panel Soviético modificado, se hicieron cambios en los elementos resistentes de paneles exteriores e interiores, losas y pretilas, no variando la concepción estructural de la planta de la edificación ya que los elementos se mantuvieron en las mismas posiciones del proyecto original, además las juntas y resistencia de los materiales son los mismos del proyecto típico. En la modificación de los paneles se hicieron aberturas y se recalculó el refuerzo.

En el caso del uso de las losas en voladizos, estas no soportaran cargas de muros ni entrepisos de hormigón, solamente pueden cerrarse los mismos con barandas, carpintería u otro material ligero que no aumente la carga actuante de manera que no sobrepase la carga de diseño. En estas losas es importante la colocación del mortero de asiento sobre el panel de tránsito, de manera que la losa apoye en toda esa superficie ya que esta no es la zona de apoyo de dicha losa.

Para evaluar la vulnerabilidad estructural ante las acciones sísmicas del sistema, teniendo en cuenta las modificaciones realizadas por los habitantes y los deterioros observados, primeramente se realizó una evaluación estructural sin estas modificaciones y deterioros, con el objetivo de posteriormente llegar a conclusiones de la vulnerabilidad estructural del sistema con los años de explotación que presenta, en lo adelante lo llamaremos Modelo 1 (Ver Fig. 2).

La modelación se realizó para un perfil de suelo S2, según NC-46:1999, considerados como depósitos estables de suelo no cohesivos o arcillas duras cuando su profundidad hasta la base rocosa excede los 60 metros y los estratos superiores están compuestos por arenas, gravas o arcillas duras. La aceleración horizontal máxima del terreno expresada como una fracción de la gravedad igual a 0.30g y un coeficiente de reducción por ductilidad ($R_d = 4$), estructuras de grandes paneles.

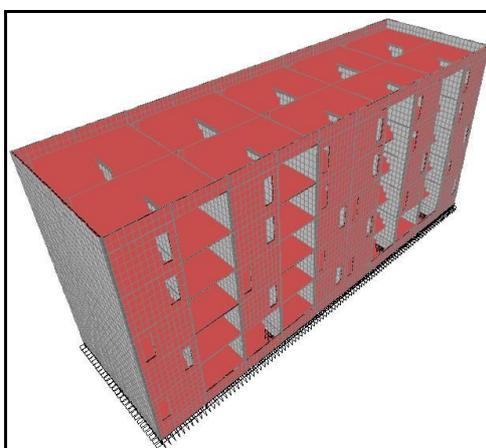


Fig. 2. Modelo en 3D. Gran Panel Soviético de 5 niveles. Modelo 1.

Con el objetivo de calibrar el modelo de cálculo se utilizaron mediciones instrumentales obtenidas por el CENSAIS en estos edificios (Oliva, R., et al. 2000) para determinar el periodo fundamental de vibración de los edificios, en la **Tabla I** se muestran los valores de periodos del suelo obtenidos en los sitios de ubicación de las edificaciones. El rango de valores en que se puede encontrar el periodo de estas edificaciones esta entre 0.16 y 0.23 segundos. Así mismo en la **Tabla II** se muestran los resultados de las mediciones instrumentales para cada una de las variantes de edificios construidos con el sistema GPS

Tabla I. Periodo de vibración fundamental del suelo de cimentación en los sitios de ubicación de las edificaciones. Tomado de Oliva, R., et al. 2000.

Área	Longitudinal	Transversal
Versalles	0.47	0.40
Ateneo	0.30	0.29
Antonio Maceo	0.45	0.30
Garzón	0.34	0.28
San Jerónimo y Reloj	0.37	0.26
Pastorita	0.25	0.24
José Martí Micro 9	0.06	0.07
Abel Santamaría Micro 3	0.25	0.26

Tabla II. Periodo de vibración fundamental de los edificios multifamiliares del sistema GPS de la ciudad de Santiago de Cuba. Tomado de Oliva, R., et al. 2000.

No.	Area	Niveles	T
1	Micro 3 B-24 Abel Santamaría	5	0.23
2	Versalles Arriba	5	0.17
3	Versalles 6	5	0.19
4	Versalles 12	5	0.20
5	Ateneo	5	0.19
6	Maceo 41	5	0.22
7	Micro 9 348	5	0.16
8	B-2 Maceo	5	0.19
9	U-98-99 B Micro 9 José Martí	5	0.20
10	U-168-169 Micro 9 José Martí	5	0.22
11	E-42 Micro 3 Abel Santamaría	5	0.20
12	E-46 Micro 3 Abel Santamaría	5	0.18
13	E-24 Micro 3 Abel Santamaría	5	0.23
14	30 de Noviembre C-25	5	0.20

En la **Tabla III** se muestran los valores de períodos obtenidos de la modelación del edificio, el período obtenido del modelo en el primer modo de oscilación (0.17 s) se encuentra dentro del rango obtenido de las mediciones instrumentales realizadas, por lo que el modelo se ajusta a los valores reales obtenidos por las mediciones instrumentales.

Tabla III. Periodos obtenidos del análisis realizado con el programa SAP2000. Modelo 1

Modos de Oscilación	Periodos (s)
1	0.172
2	0.106
3	0.087
4	0.074
5	0.074
6	0.074

Se chequearon los desplazamientos topes en las dos direcciones de la estructura (Ver **Tabla IV**), como se puede apreciar los desplazamientos no sobrepasan los desplazamientos permisibles en ninguna de las direcciones de la estructura.

Tabla IV. Desplazamientos topes. Modelo 1.

Desplazamiento tope (m). Dirección transversal	Desplazamiento tope (m). Dirección longitudinal.	Desplazamiento permisible límite (m)
0.001	0.002	H/600 = 0.024

Es necesario señalar que de este sistema apenas se posee información lo cual trae como consecuencia que se desconozcan sus detalles constructivos, por tanto aunque se obtuvieron las tensiones actuantes en los paneles que conforman la estructura de la edificación no fue posible compararlas con las admisibles por no contar con información suficiente para ello. No obstante se chequearon las juntas, a continuación se muestran estos chequeos.

- Chequeo de las **juntas verticales entre paneles**: De los cálculos realizados se obtiene que $\tau_{act} = 2452.07.00$ kN/m² (panel más cargado en el sentido transversal) es menor que $\tau_r = 7046.40$ kN/m², por lo que la junta diseñada para tomar el cortante entre paneles resiste el cortante actuante ya que su capacidad de resistencia es superior a la solicitación a que está sometido el panel más cargado.
- Chequeo de las **juntas entre paneles para la continuidad vertical**: De los cálculos realizados se obtiene que la $F_{actuante} = 83.68$ kN (panel más cargado) es menor que la $F_{resistente} = 516.00$ kN, por lo que la junta de continuidad vertical tiene la cantidad de acero suficiente para tomar las tracciones.

- Chequeo de las **juntas entre losas**: De los cálculos realizados se obtiene que el $V_{actuante} = 679.02$ kN (cortante en el entrepiso) es menor que el $V_{resistente} = 5400.00$ kN, por lo que la junta horizontal absorbe el cortante actuante en el entrepiso.

Partiendo de los cálculos realizados se puede concluir que el modelo del sistema GPS sin tener en cuenta las modificaciones realizadas por los habitantes y el deterioro del estado técnico tiene rigidez y resistencia suficiente para soportar el sismo de cálculo (sismo con aceleración máxima esperada en la zona de ubicación de la edificación 300.0 cm/seg^2).

La durabilidad de los elementos de hormigón armado, está dado a menudo, por la velocidad con que el hormigón se degrada como resultado de las reacciones químicas. Excluyendo los procesos relacionados directamente con la oxidación de las armaduras, existen dos factores que inciden en la alteración de la pasta de cemento hidratado y que tienen efecto importante en los procesos de corrosión, estos factores son:

- Carbonatación del hormigón, donde el dióxido de carbono penetra desde la superficie hacia el interior del hormigón, provocando que la carbonatación siga este mismo recorrido. La humedad relativa ambiental, es un factor adicional que incide en el proceso, pues se ha observado que la carbonatación se ve favorecida entre 50 y 80% de humedad relativa ambiental.
- Difusión de cloruros, estos iones penetran a través de los poros hacia el interior del hormigón transportándose por iones disueltos en el cemento, agua, áridos, aditivos o adiciones o desde el medio ambiente por difusión. Este proceso puede ocurrir con los poros total o parcialmente llenos de agua. Como resultado del proceso de difusión, la concentración de cloruros decrece desde la superficie hacia el interior del hormigón. Es necesario destacar que la corrosión que produce la difusión de los cloruros es más grave que la que produce la carbonatación, ya que la profundidad del ataque es mayor.

Para determinar los principales deterioros que presentan los edificios construidos con el sistema GPS en la ciudad de Santiago de Cuba se realizaron inspecciones técnicas a los tres centros urbanos donde se concentra la mayor cantidad de estas edificaciones, la muestra representa alrededor del 40% del total de las edificaciones construidas con este sistema, lo cual nos permite observar las lesiones más frecuentes producidas por diferentes factores, que de una forma u otra intervienen en la seguridad sísmica de la edificación (ver **Fig. 3**). Entre las lesiones típicas más graves registradas tenemos:

- Corrosión de las armaduras de las losas de entrepiso y cubierta y paneles, perdiendo sección en algunos casos, provocando el desconchado del hormigón en paneles y losas de entrepisos y cubierta.
- Fisuras por retracción.
- Humedad por penetración a través de fisuras, juntas, roturas en la cubierta o por carpintería exterior en los niveles 1 – 4, observándose en todos los elementos del edificio.
- Humedad producida por filtraciones de la cubierta debido a la deficiente impermeabilización ya sea por una pendiente inadecuada, falta de mantenimiento o baja calidad de los materiales en el último nivel del edificio.
- Humedad provocada por roturas de instalaciones hidrosanitarias en mal estado en todos los niveles del edificio.
- Humedad por absorción lateral en las fachadas de los edificios debido a errores de diseño del sistema de evacuación de la cubierta que hace que las gárgolas estén mal dimensionadas y el agua en estos puntos corra sobre la superficie vertical de la fachada.
- Fisura producida por la corrosión de las armaduras en el hormigón endurecido.
- Disgregación del hormigón, provocando el desprendimiento de sus pedazos.
- Otras lesiones que no afectan en gran medida la vulnerabilidad estructural son: corrosión del acero en huellas de escaleras, barandas de escaleras oxidadas, partiduras y desgaste de pisos, desajuste y deterioro de la carpintería, pintura desconchada, instalaciones hidrosanitarias tupidas, corroídas y oxidadas.

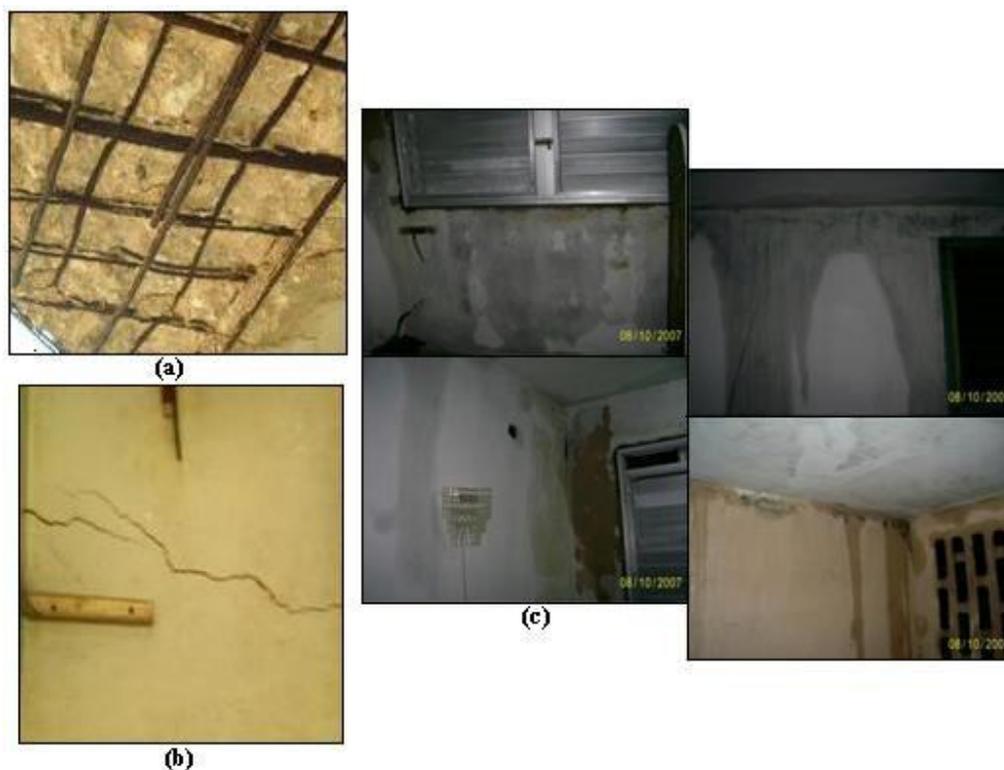


Fig. 3. Deterioros encontrados en los edificios GPS. (a) corrosión y pérdida de sección de las armaduras de refuerzo en losas, (b) fisuras en paneles y (c) manchas de humedad.

Mediante la realización de ensayos de laboratorio se puede determinar el grado de deterioro de la mezcla árido-pasta, así como de la armadura de acero, detectando sustancias y componentes químicos, que provocan los deterioros registrados en las edificaciones. Díaz Cónsul, A. (2005) realizó ensayos de laboratorio a una muestra de edificios GPS de cuatro niveles en un sector del Distrito José Martí, a continuación se muestran los principales resultados de estos ensayos.

- La ocurrencia de carbonatación del hormigón está presente en la mayor parte de las muestras analizadas, también en el mayor número de elementos estructurales, predominando en las losas de entrepisos y cubierta.
- La presencia de iones de cloruros en los paneles está dado fundamentalmente en las áreas húmedas de baño-cocina-patio que poseen flujo de aguas albañales, en estos paneles se aprecia corrosión del acero.

Al igual que para determinar el estado técnico de los edificios construidos con el sistema GPS se realizaron inspecciones técnicas, a continuación se detallan las principales modificaciones realizadas por los habitantes de estas edificaciones durante su período de vida útil que atentan contra la seguridad estructural de las mismas (ver **Fig. 4**).

- Cierre de vanos de puertas, ventanas y paneles de celosías de balcones en fachadas y patios, incrementando el peso del edificio y la rigidez del mismo.
- Presencia de tanques de agua dentro de los apartamentos, anclados a las fachadas y sobre las cubiertas aumentando el peso en el edificio.
- Cierre de balcones cambiando la forma de trabajo del edificio.
- Apertura de vanos en paredes de carga, disminuyendo la rigidez y resistencia del panel y por ende la del edificio.
- Demolición de paneles de carga interiores cambiando la forma de trabajo del edificio y disminuyendo su resistencia y rigidez.
- Construcción de paneles divisorios incrementando el peso en el edificio.

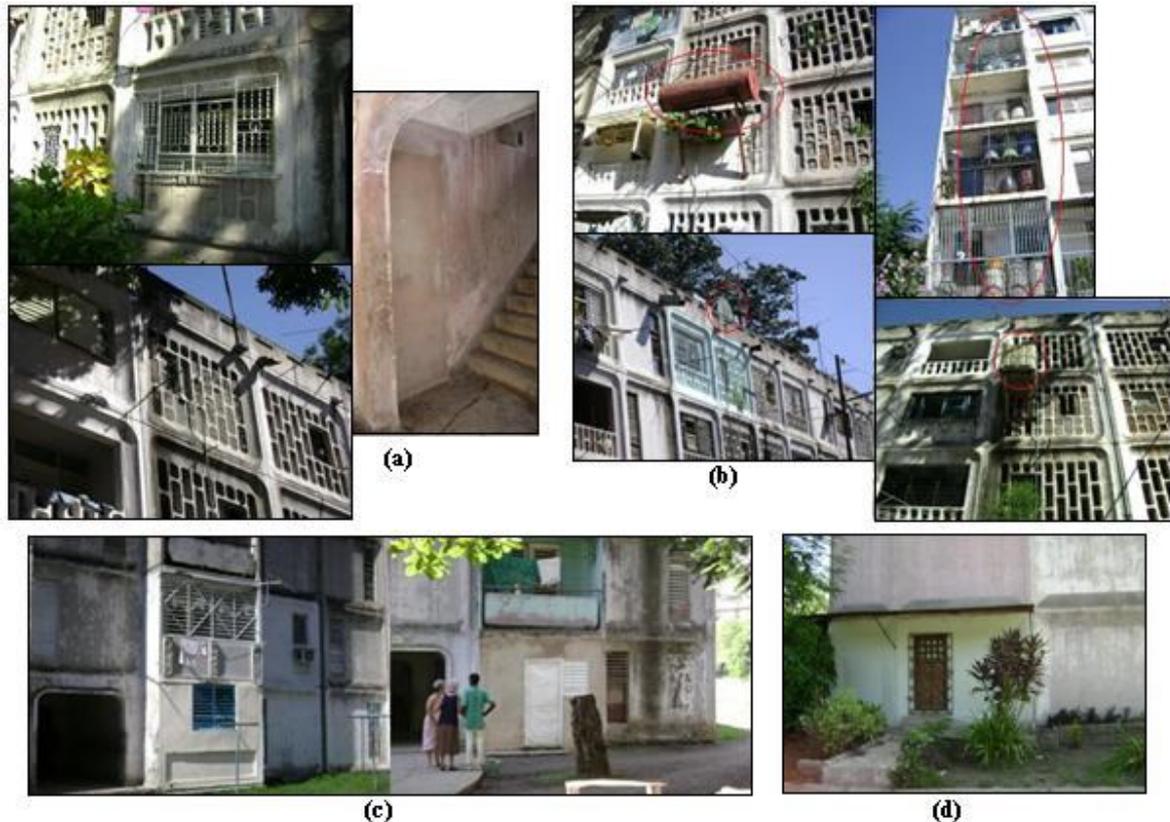


Fig. 4. Modificaciones realizadas a los edificios GPS. (a) cierre de vanos y celosías, (b) tanques de agua en los edificios, (c) cierre de balcones y (d) apertura de vanos en paneles exteriores

Para evaluar la vulnerabilidad del sistema GPS teniendo en cuenta las modificaciones realizadas por los habitantes y deterioros de los edificios durante su tiempo de vida útil se corrieron modelos estructurales teniendo en cuenta estos problemas que atentan contra el buen desempeño de las edificaciones en caso de sismos de gran magnitud, los modelos considerados se detallan a continuación.

- **Modelo 2:** Se consideró sólo una disminución de resistencia de 25 a 15 MPa, de todos los paneles de la estructura, teniendo en cuenta el deterioro existente en ellos.
- **Modelo 3:** Se consideró sólo una disminución de resistencia de 25 a 10 MPa, de todos los paneles de la estructura, teniendo en cuenta el deterioro existente en ellos.
- **Modelo 4:** Se consideró una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 250 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en estas juntas.
- **Modelo 5:** Se consideró una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 200 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en estas juntas.
- **Modelo 6:** Se consideró una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 150 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en estas juntas.
- **Modelo 7:** Se consideró una disminución de resistencia de 25 a 15 MPa, de todos los paneles de la estructura y una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 250 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en la edificación en sentido general.
- **Modelo 8:** Se consideró una disminución de resistencia de 25 a 15 MPa, de todos los paneles de la estructura y una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 200 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en la edificación en sentido general.
- **Modelo 9:** Se consideró una disminución de resistencia de 25 a 15 MPa, de todos los paneles de la estructura y una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 150 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en la edificación en sentido general.

- **Modelo 10:** Se consideró una disminución de resistencia de 25 a 10 MPa, de todos los paneles de la estructura y una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 250 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en la edificación en sentido general.
- **Modelo 11:** Se consideró una disminución de resistencia de 25 a 10 MPa, de todos los paneles de la estructura y una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 200 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en la edificación en sentido general.
- **Modelo 12:** Se consideró una disminución de resistencia de 25 a 10 MPa, de todos los paneles de la estructura y una disminución de la resistencia del acero de refuerzo de todas las juntas de 300 a 150 MPa, teniendo en cuenta el deterioro existente en la edificación en sentido general.
- **Modelo 13:** Se consideró la pérdida del 4.84 % de los paneles (3 paneles), debido a las modificaciones realizadas por los habitantes, las resistencias del hormigón y el acero son las de proyecto.
- **Modelo 14:** Se consideró la pérdida del 8.00 % de los paneles (5 paneles), debido a las modificaciones realizadas por los habitantes, las resistencias del hormigón y el acero son las de proyecto.
- **Modelo 15:** Se consideró la combinación pésima, la pérdida del 8.00 % de los paneles (5 paneles), debido a las modificaciones realizadas por los habitantes, la resistencia del hormigón de 10 MPa y la del acero de 150 MPa.

Se realizaron un total de 15 modelos, teniendo en cuenta las afectaciones principales en relación a la calidad de los materiales estructurales y a las modificaciones realizadas, los resultados de los chequeos de cada modelo se detallan en las **Tablas V y VI**.

Tabla V. Chequeo de rigidez. Modelos 2 – 15.

Modelo	Desplazamiento tope (m) Dirección transversal	Desplazamiento tope (m) Dirección longitudinal	Rigidez
2	0.001	0.003	Adecuada
3	0.001	0.003	Adecuada
4	0.001	0.002	Adecuada
5	0.001	0.002	Adecuada
6	0.001	0.002	Adecuada
7	0.001	0.003	Adecuada
8	0.001	0.003	Adecuada
9	0.001	0.003	Adecuada
10	0.001	0.003	Adecuada
11	0.001	0.003	Adecuada
12	0.001	0.003	Adecuada
13	0.001	0.002	Adecuada
14	0.001	0.002	Adecuada
15	0.001	0.003	Adecuada

Como puede apreciarse en la tabla V, todos los modelos presentan adecuada rigidez, a pesar de que algunos modelos presentan menos paneles por los cambios que le han realizado los habitantes, este comportamiento es debido fundamentalmente a la rigidez que aportan las losas de entrepiso y cubierta.

En la tabla VI se observa que en todos los modelos, excepto el modelo que presenta las condiciones más desfavorables (menor resistencia de los materiales y la pérdida del 8% de los paneles) las juntas para garantizar la continuidad vertical y la junta vertical entre paneles resisten las solicitaciones actuantes.

Tabla VI. Chequeo de resistencia. Modelos 2 – 15.

Modelo	Junta continuidad vertical			Junta vertical entre paneles		
	F _{act} (kN)	F _{res} (kN)	Chequeo	ζ _{act} (kN/m ²)	ζ _{res} (kN/m ²)	chequeo
2	90.91	516.00	Cumple	2309.62	5470.00	Cumple
3	91.08	516.00	Cumple	2258.55	4658.00	Cumple
4	83.68	430.00	Cumple	2452.07	6517.31	Cumple
5	83.68	344.00	Cumple	2452.07	5970.88	Cumple
6	83.68	258.00	Cumple	2452.07	5416.13	Cumple
7	90.91	430.00	Cumple	2309.62	4938.77	Cumple
8	90.91	344.00	Cumple	2309.62	4406.20	Cumple
9	90.91	258.00	Cumple	2309.62	3867.19	Cumple
10	91.08	430.00	Cumple	2258.55	4132.34	Cumple
11	91.08	344.00	Cumple	2258.55	3608.51	Cumple
12	91.08	258.00	Cumple	2258.55	3079.43	Cumple
13	85.19	430.00	Cumple	5803.00	6517.31	Cumple
14	86.08	430.00	Cumple	5799.66	6517.31	Cumple
15	93.67	258.00	Cumple	5693.59	3079.43	No cumple

De los resultados anteriores se concluye que el Sistema Gran Panel Soviético resiste el sismo que se espera en la zona (sismo con aceleración máxima esperado en la zona de ubicación de la edificación 300.0 cm/seg²), aún con los deterioros debido al tiempo de explotación y a las modificaciones realizadas por los habitantes.

Conclusiones

El Sistema GPS se comporta de forma adecuada ante acciones provocadas por sismos de gran intensidad, amparado esto en el comportamiento que han tenido estas edificaciones en sismos pasados. Como ejemplo podemos mencionar el terremoto de Armenia (1988) donde estas edificaciones apenas sufrieron daños. Este sistema se caracteriza por ser un sistema dúctil y con un alto grado de hiperestaticidad.

Según el cálculo realizado al modelo del sistema GPS de un edificio de cinco niveles, sin tener en cuenta las modificaciones realizadas por los habitantes y el deterioro del estado técnico resiste el sismo de cálculo (sismo con aceleración máxima de 300.0 cm/seg²) debido a:

- Del chequeo de rigidez realizado se concluye que la estructura tiene la rigidez suficiente para resistir el sismo de cálculo debido a que los desplazamientos topes en las dos direcciones de la estructura son menores que los permisibles.
- Las juntas que garantizan la continuidad vertical entre paneles, las juntas verticales entre paneles y las juntas entre losas resisten las sollicitaciones generadas por el sismo de cálculo.

En las inspecciones técnicas realizadas a los centros urbanos donde existen edificios GPS se detectaron deterioros que atentan contra la seguridad sísmica estructural de estas edificaciones entre los que tenemos:

- Corrosión de las armaduras de las losas de entepiso y cubierta y paneles, perdiendo sección en algunos casos.
- Humedad por penetración a través de fisuras, juntas, roturas en la cubierta o por carpintería exterior en los niveles 1 – 4.
- Humedad producida por filtraciones de la cubierta debido a la deficiente impermeabilización.
- Humedad provocada por roturas de instalaciones hidrosanitarias en mal estado en todos los niveles del edificio.
- Humedad por absorción lateral en las fachadas de los edificios debido a errores de diseño.
- Fisura producida por la corrosión de las armaduras en el hormigón endurecido.
- Disgregación del hormigón, provocando el desprendimiento de sus pedazos.

Se detectaron además, modificaciones realizadas por los habitantes durante el periodo de vida útil de estas edificaciones que atentan contra la seguridad sísmica estructural de los edificios entre las que tenemos:

- Cierre de vanos de puertas, ventanas y paneles de celosías de balcones en fachadas y patios, incrementando el peso y la rigidez del edificio.
- Presencia de tanques de agua dentro de los apartamentos, anclados a las fachadas y sobre las cubiertas aumentando el peso en el edificio.
- Cierre de balcones cambiando la forma de trabajo del edificio.

- Apertura de vanos en paredes de carga, disminuyendo la rigidez y resistencia del panel y por ende la del edificio.
- Demolición de paneles de carga interiores cargando la forma de trabajo del edificio y disminuyendo su resistencia y rigidez.
- Construcción de paneles divisorios incrementando el peso en el edificio.

Los modelos realizados del Sistema Gran Panel Soviético teniendo en cuenta los deterioros debido al tiempo de explotación y a las modificaciones realizadas por los habitantes resiste el sismo que se espera en la zona (sismo con aceleración máxima esperado en la zona de ubicación de la edificación 300.0 cm/seg²), los principales resultados de estos modelos son:

- Todos los modelos realizados teniendo en cuenta la disminución de la resistencia de los materiales y las modificaciones realizadas por los habitantes presentan adecuada rigidez, a pesar de que algunos modelos presentan menos paneles por los cambios que le han realizado los habitantes, este comportamiento es debido fundamentalmente a la rigidez que aportan las losas de entrepiso y cubierta.
- Estos modelos, excepto el modelo que presenta las condiciones más desfavorables (menor resistencia de los materiales y la pérdida del 8% de los paneles) las juntas para garantizar la continuidad vertical y la junta vertical entre paneles resisten las solicitaciones actuantes.

Referencias

- Colectivo de autores (1980): EMPROY 15: Apuntes sobre sistema de grandes paneles.
- Colectivo de Autores: Informes de Laboratorio Técnico de la Planta de Producción de Elementos Prefabricados del Sistema GPS en Santiago de Cuba. Archivo del Departamento Técnico de la Planta. Años: 1966, 1967, 1968.
- Comité Estatal de Construcción (1976). Folleto. *Caracterización de los sistemas constructivos de viviendas*.
- Comité Estatal de Normalización (1999): NC 46: 1999: Construcciones sismorresistentes. Requisitos básicos para el diseño y construcción, La Habana.
- Computer and Structures, Inc. University of California (1999). Structural Analysis Program SAP (2000).
- Díaz, A.; González, H. (1996): Durability of Building and components of Different Constructions Systems in Cuba. *Proceedings of the 7th International Conference on the Durability of Buildings Materials and Components. Stockholm. Sweden*.
- Díaz, A. (2005): Deterioro de la imagen de un conjunto habitacional en la periferia de la ciudad. *Memorias del Evento Internacional Ciudad, Imagen y Memoria*.
- Dimitrijevic, R. (2004): Precast Prestressed concrete frame structures with concrete shear walls". World Housing *Encyclopedia Report*. Servia and Montenegro. EERI.
- Instituto Central de Investigaciones Científicas para elaboración de proyectos experimentales sobre viviendas (Mosú 1964): Álbum v. Los artículos prefabricados.
- Márquez, P.I, Morejón, G., Vázquez, J. C., Avich, B. y Berenguer, Y. (2005): Proyecto Territorial: "Estudio de los sistemas prefabricados SAE, GPS y Girón destinados a centros educacionales y policlínicos en la ciudad de Santiago de Cuba.
- Maspons, R. (1987): *Prefabricación*. Editorial ISPJAE, Ciudad de la Habana.
- Medina, L. et al. (1986) *Sistemas constructivos utilizados en Cuba*. Tomo 1. EIMAV. Ministerio de Educación Superior.
- Medina Torri F. (1996) *Cargas de edificaciones y obras de Ingeniería*. Editorial Félix Varela.
- Pérez, A.; Núñez, N. (1998): Estudio de Patologías en Edificios del Sistema Gran Panel Soviético.
- Petrovic, B.; Dimitrijevic, R.: Behavior of Prestressed Joint under Cyclic Load, International Symposium of Fundamental Theory of Reinforced and Prestressed Concrete, Nanjing 1986, pp 704-711.
- R. Oliva, I. Vega, G. Morejón y E. Hernández, P. I. Márquez (2000): Aspectos Generales para la Caracterización de la Vulnerabilidad Sísmica de los Sistemas Constructivos Dedicados a Viviendas en Santiago de Cuba. *Revista Peligro Sísmico y Mitigación en Cuba*. ISBN 959-02-0244-6
- Sesigur, H.; Celik, O.; Cili, F. (2003): Seismic retrofitting of RC framed buildings by vertical steel bracing: case studies after last Turkey earthquakes. Istanbul Technical University, Faculty of Architecture, Division of Theory of Structures, Taskisla, Taksim, 80191, Istanbul, Turkey.

Datos de autores:

Ing. Grisel Morejón Blanco
Ingeniero Civil. Investigador Agregado. Profesor Auxiliar Universidad de Oriente.
Vicedirectora Científico del CENAIIS.

Ing. Yelena Berenguer-Heredia.
Ingeniero Civil. Aspirante a Investigador. Profesor Instructor Universidad de Oriente. Grupo
de Ingeniería Sísmica CENAIIS.

MsC. Kenia Mercedes Leyva-Chang.
Ingeniero Civil. Especialista para la Ciencia, la Tecnología y el Medio Ambiente. Profesor
Auxiliar Universidad de Oriente. Grupo de Ingeniería Sísmica CENAIIS

MsC. Darío Candebat-Sánchez.
Ingeniero Civil. Investigador Auxiliar. Profesor Asistente de la Universidad de Oriente. Jefe
del Grupo de Ingeniería Sísmica CENAIIS.

Alexeis Artímez-Numas.
Técnico. Grupo de Ingeniería Sísmica CENAIIS.