



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Morejón-Blanco, Grisel; Leyva-Chang, Kenia Mercedes; Candebat-Sánchez, Darío

**Atlas de tipologías representativas en la ciudad Santiago
de Cuba con fines de gestión de riesgo sísmico**

Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 1, 2021, Enero-Marzo, pp. 25-45

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba

Santiago de Cuba, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181368034003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Atlas de tipologías representativas en la ciudad Santiago de Cuba con fines de gestión de riesgo sísmico

Atlas of representative typologies in the city of Santiago de Cuba for the purposes of seismic risk management

Autores:

Grisel Morejón-Blanco, grisel@cenais.cu¹

Kenia Mercedes Leyva-Chang, kenia@cenais.cu¹

Darío Candebat-Sánchez, dario@cenais.cu¹

Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). Santiago de
Cuba, Cuba.

RESUMEN

La ciudad de Santiago de Cuba está ubicada en la zona de mayor peligrosidad y riesgo sísmico de la isla de Cuba, debido a su cercanía a la principal zona sismogeneradora de la región. Fundada en 1515, se caracteriza por poseer una gran cantidad de tipologías constructivas y mezcla de estilos arquitectónicos, de muchos de las cuales se desconoce su desempeño sísmico. En el trabajo se presentó una caracterización, en función de los tipos de materiales de pared, tipos de techo y piso y del sistema de resistencia de carga lateral; de 23 tipologías constructivas representativas de la ciudad. Este resultado permite el análisis del comportamiento de las estructuras con fines de gestión de riesgo sísmico y planificación urbana.

Palabras clave: *tipologías constructivas, riesgo sísmico, planificación urbana.*

ABSTRACT

Santiago de Cuba city is placed in the most hazard and seismic risk region on the Cuba Island, due to its proximity to the main earthquake fault in the area. The city was founded in 1515 and it is characterized by a large number of construction typologies and a mixture of architectural styles, many of which its seismic performance is unknown. A complete characterization, supported in wall materials, roof and floor types and type of structural system of 23 representative construction typologies of the city, is presented. This result will contribute to the seismic risk management and urban planning.

Keywords: *construction typologies, seismic risk, urban planning.*

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Santiago de Cuba tiene 1 016 600 habitantes y posee una extensión territorial de 6 156,4 km², lo que representa el 5,6 % de la superficie del país. Se caracteriza por poseer una gran cantidad de tipologías constructivas y mezcla de estilos arquitectónicos. Ha sido severamente dañada por terremotos y, por tanto, ha experimentado varios ciclos de reconstrucción. Según Chuy (2003), el último terremoto fuerte, ocurrido el 3 de febrero de 1932, afectó el 80 % del total de las edificaciones de la ciudad y provocó pérdidas económicas de aproximadamente 15 millones de pesos cubanos (valor en 1932). Este sismo causó la muerte de 14 personas y provocó 200 heridos. La extensión de los daños condujo a la reconstrucción de la mitad del parque inmobiliario de la ciudad.

La urbe, fundada en 1515, ha ido creciendo al fondo de su bahía y está rodeada en tierra firme por la Sierra Maestra. Sus edificaciones presentan características estructurales y arquitectónicas, técnicas constructivas, materiales y edades diversas en dependencia del período en que fueron construidas.

En el centro histórico urbano de la ciudad se encuentran, en mayor medida, las edificaciones de mampostería sin reforzar, con sus techos de tejas de barro, sustituidas a menudo por tejas de asbesto corrugadas o pedazos de zinc. La mayoría de estas edificaciones no se han conservado adecuadamente. Por otra parte, los edificios más modernos se construyeron de hormigón armado o prefabricado. En los primeros años de la etapa revolucionaria se levantaron fundamentalmente edificios multifamiliares de 4 niveles con sistema tradicional, a los que se les fueron incorporando componentes prefabricados de hormigón, losas de hormigón ligero o losas prefabricadas de hormigón nervadas o macizadas. En 1965 se implementa el sistema Gran Panel Soviético y en 1967 el sistema del Instituto de Materiales de Serbia (IMS), con los cuales se logra mayor calidad y velocidad de ejecución. A comienzos del siglo XXI se ejecutaron nuevos sistemas constructivos, dentro de los cuales se señalan el Forsa, Vhicoa, Polimat, Titan Steel, Cometal y Petrocasas.

Ante tal diversidad de tipos estructurales, el objetivo de este trabajo fue presentar una caracterización detallada de las tipologías existentes en la ciudad para la gestión integral del riesgo de desastres ante sismos de gran intensidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El esquema de clasificación de las edificaciones se llevó a cabo sobre la base de la experiencia adquirida y el levantamiento realizado en la ciudad por los investigadores del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais). Esto incluye todas las tipologías representativas del fondo habitacional que están presentes en la ciudad de Santiago de Cuba.

Para la clasificación y caracterización de las tipologías se utilizan los criterios siguientes: período de construcción, usos, número de pisos típicos, configuración en planta, sistema resistente a cargas laterales, sistema resistente a cargas gravitatorias, tipo de cimentación, tipos de materiales de pared, tipos de techo y tipos de piso.

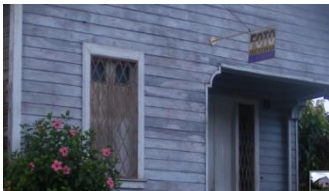
Se realizó un levantamiento para determinar el tipo de ocupación de las edificaciones y se estimaron las propiedades mecánicas y detalles estructurales de cada sistema, según su fecha de construcción, y a partir de la consulta de manuales técnicos (Gran Panel Soviético, Girón, E-14, IMS, Forsa, Vhicoa, Polimat, Titan Steel, Cometal y Petrocasas). Para caracterizar el sistema prefabricado Girón se consultan, además, investigaciones precedentes sobre el comportamiento sísmico del sistema (Meslem *et al*, 2015).

De cada tipología se determinaron los costos unitarios de construcción (según entrevistas a operarios y proyectistas de la ciudad) y el número típico de habitantes. Asimismo, se evaluó si existían patrones de daños observados en terremotos pasados y se describieron las deficiencias sísmicas del sistema estructural y las deficiencias sísmicas de la cimentación.

Finalmente, se realizó una clasificación de la clase de vulnerabilidad según la escala de evaluación de intensidades de European Macroseismic Scale (EMS) (Grünthal, 1998) y se evaluó el nivel de vulnerabilidad estructural.

RESULTADOS

En la tabla 1 se muestran las características generales de los diferentes materiales de pared utilizados en la construcción de las edificaciones. Esta caracterización incluye las dimensiones de las piezas que conforman los muros, así como su peso específico.

Tabla 1. Características generales de los diferentes materiales de pared	
<u>Ladrillos de arcilla:</u> Dimensiones: 25 cm x 12 cm x 7 cm Peso: 1.900 kg / m³ Se utiliza para los edificios URM y muros de relleno de edificios de pórticos. 	<u>Paneles de hormigón armado prefabricado:</u> Espesor: variable, por ejemplo, 12-15 cm Dimensiones: variable Peso: 2.500 kg / m³. 
<u>Bloques huecos de hormigón:</u> Dimensiones: 40 cm x 20 cm x 10 a 20 cm Peso: 1.250 kg / m³ Mezcla de cemento, arena, grava y agua. 	<u>Paneles sándwich:</u> Paneles de tres capas: núcleo de baja densidad (para el propósito de aislamiento) y dos capas delgadas (por lo general hecha de metal). 
<u>Listones de madera / paneles:</u> Grosor: 25.10 cm Peso: 500-1150 kg / m³ Nombre indígena: Pinotea cubana, cedro 	<u>Paredes de hormigón colado <i>in situ</i>:</u> Grosor: 15.10 cm Peso: 2.400 kg / m³ Acero de refuerzo: de malla electrosoldada 

Fuente: autores

En la tabla 2 se relacionan los tipos de techo que predominan en la ciudad y se contabiliza la cantidad de edificaciones por cada tipo.

Tabla 2. Tipos de techo predominantes en la ciudad de Santiago de Cuba					
Placa o losa de hormigón	Madera y tejas	Madera y papel embreado	Plancha de fibrocemento	Plancha metálica	Otros
90829 (56 %)	10750 (7 %)	2309 (1 %)	35495 (22 %)	19091 (12 %)	2422 (2 %)

Fuente: autores

La calidad de las propiedades mecánicas y detalles estructurales de los edificios y viviendas se estimaron a partir de encuestas realizadas (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades mecánicas y detalles estructurales estimados				
Tipo edificación	Edificios (antes 1999)	Edificios (después 1999)	Casas antiguas	Casas nuevas
Número de pisos	4 a 18	4 – 5	1 – 3	1 – 3
Resistencia hormigón	20 MPa	15 MPa	20 MPa	10 MPa – 15 MPa
Resistencia del acero	240 MPa	300 MPa	240 MPa	300 MPa
Sección transversal columnas	30x70 – 30x40 20x40 – 20x20	Prefabricadas: 30x70 <i>In situ</i> : 30x40	20x20 – 30x30	20x20 – 30x30
Refuerzo columnas	1920–1940: 4φ25 s/ ref. transversal 1950–1999: 4φ25 c/ref. transversal	Prefabricada: 10φ25–12φ25 <i>In situ</i> : 4φ16 mínimo	4φ16 desde 1950	3φ12 – 4φ12
Sección transversal vigas	20x30 – 30x40	30x50	20x20 – 30x30	20x20 – 30x30
Refuerzo vigas	4φ12 – 4φ16	4φ12	4φ12 – 4φ16	4φ12 – 4φ16

Fuente: autores

En la tabla 4 se muestra la distribución de edificaciones según su ocupación.

Tabla 4. Distribución de las edificaciones por tipo de ocupación			
Tipo de ocupación	Índice	Cantidad edificaciones	Por ciento
Residencial	RES	81874	93,70
Comercial	COM	1344	1,50
Industrial	IND	2394	2,70
Educacional	EDU	1431	1,60
Salud	SAL	316	0,40
Religiosas	REL	18	0,02
Totales		87377	100,00

Fuente: autores

En la tabla 5 se describen las tipologías de edificaciones representativas donde se muestran las combinaciones de material de pared y tipos de techo descritos anteriormente, así como sistemas de soporte de cargas verticales y laterales, mediante el esquema de clasificación proporcionado por HAZUS–MH (Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Mitigation Division, 2003). Otros elementos para esta caracterización se obtienen de la clasificación realizada por Morejón *et al.* (2016) y Lang *et al.* (2015).

Tabla 5. Descripción de las tipologías existentes en la ciudad Santiago de Cuba		
Tipología	C1L, C1M	C3L, C3M
Imágenes		
Descripción corta	Pórticos dúctiles de hormigón armado	Pórticos no dúctiles de hormigón armado
Período de construcción	2008 hasta la actualidad	Antes de 1985 hasta la actualidad
Usos	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☐ EDU	☒ RES ☒ COM ☒ HOS ☒ IND ☐ AGR ☐ REL ☒ GOV ☒ EDU
No. pisos típicos	1-3 (C1L: baja altura) 4-5 (C1M: altura media)	1-3 (C3L: baja altura) 4-5 (C3M: altura media)
Forma en planta	Rectangular	Rectangular, cuadrado, L, H, O o C
Sistema resistente a cargas laterales	Pórticos resistentes a momentos	Pórticos resistentes a momentos
Sistema resistente a cargas gravitatorias	Losas macizas de hormigón armado, transfiriendo las	Losas macizas de hormigón armado, transfiriendo las cargas

	cargas gravitatorias a las vigas y columnas y zapatas	gravitatorias a las vigas y columnas y zapatas
Tipo de cimentación	Cimentación aislada superficial	Cimentación aislada superficial
Tipo de sistema de piso / techo	Losas planas fundidas <i>in situ</i>	Losas planas fundidas <i>in situ</i> / láminas de zinc o tejas corrugadas de asbesto
Tipo de paredes	Bloques huecos de hormigón o ladrillos rectangulares de arcilla	Bloques huecos de hormigón o ladrillos rectangulares de arcilla
¿Este tipo de construcción se aborda en los códigos?	☒ sí ☐ no	☒ sí ☐ no
Si es así, ¿qué código?	NC 46: 1999, NC 46: 2017	NC 53-114: 84, NC 46: 1999, NC 46: 2017
Costo unitario de construcción: (\$ / m ²)	22 080.00 CUP/m ²	C3L: 8 280.00 CUP/m ² C3M: 11040.00 CUP/m ²
¿Número típico de habitantes?	Día: <5 (C1L) >20 (C1M) Noche: 5-10 (C1L) >20 (C1M)	Día: <5 (C1L) >20 (C1M) Noche: 5-10 (C1L) >20 (C1M)
Patrones de daños observados en terremotos pasados	Ninguno	En terremotos moderados: grietas finas en las paredes, principalmente a partir de las esquinas de las aberturas y grietas finas verticales en las esquinas de las paredes
Deficiencia sísmica: sistema estructural	Sin deficiencias conocidas	Las vigas y columnas no están conectadas rígidamente para proporcionar una acción de marco resistente a momentos. La mayoría presentan un comportamiento de columna débil y viga fuerte. A menudo el refuerzo se empalma en la misma sección, produciendo concentración de tensión. Secciones transversales insuficientes y grandes espaciamientos de cercos en columnas. Irregularidades y cambios de rigidez lateral en elevación.
Deficiencia sísmica: cimentación	Sin deficiencias conocidas	Los cimientos no están conectados correctamente entre sí con vigas de cimentación.

		Cuando existen estas vigas, no están diseñadas para resistir momentos debidos a fuerzas sísmicas.
Escala de calificación de vulnerabilidad sísmica (según MSK / EMS-98):	☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E ☐ F	☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E ☐ F
Vulnerabilidad:	Baja vulnerabilidad	Vulnerabilidad media a alta
Tipología	URM	RML
Imágenes		
Descripción corta	Paredes de mampostería de ladrillo no reforzado	Edificaciones con columnas y vigas de hormigón armado de dimensiones y cuantías menores que las indicadas para absorber el 100 % de la carga sísmica. Se adopta como albañilería confinada
Período de construcción	Antes de 1985 hasta 1990	Antes de 1985 hasta la actualidad
Usos	☒ RES ☒ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☒ EDU	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☒ REL ☐ GOV ☐ EDU
No. pisos típicos	1-2	1-2
Forma en planta	Rectangular, cuadrado, L, H, O o C	Rectangular, cuadrado, L, H, O o C
Sistema resistente a cargas laterales	Muros de mampostería no reforzada; las paredes tienen una resistencia muy baja a las fuerzas fuera del plano; en la mayoría de los casos no existe una conexión adecuada entre el techo y las paredes	Mampostería de ladrillo / bloque confinada con columnas y vigas de hormigón de secciones pequeñas. Los muros aportan rigidez a la estructura y controlan la deriva lateral, las columnas y vigas proporcionan confinamiento y ductilidad
Sistema resistente a cargas gravitatorias	Las cargas del techo se transfieren a las paredes y a cimientos, generalmente no hay conexión adecuada entre paredes	Los pisos y techos transmiten las cargas de gravedad a las paredes estructurales
Tipo de cimentación	Cimentación corrida	Cimentación corrida
Tipo de sistema de piso / techo	N/A / Tablones o vigas de madera que soportan tejas de	Losas planas fundidas <i>in situ</i> / láminas de zinc o tejas

	arcilla o zinc	corrugadas de asbesto
Tipo de paredes	Paredes de ladrillos de arcilla o bloques rectangulares de hormigón	Paredes de ladrillos de arcilla o bloques rectangulares de hormigón
¿Este tipo de construcción se aborda en los códigos?	☐ sí ☒ no	☒ sí ☐ no
Si es así, ¿qué código?		NC 53-114: 84, NC 46: 1999, NC 46: 2017
Costo unitario de construcción: (\$ / m ²)	3 312.00 CUP/m ²	5 520.00 CUP/m ²
¿Número típico de habitantes?	Día: <5, Noche: 5-10	Día: <5, Noche: 5-10
Patrones de daños observados en terremotos pasados	Grietas grandes en las paredes durante terremotos moderados	Grietas finas en las paredes, principalmente en las esquinas de las paredes
Deficiencia sísmica: sistema estructural	Conexiones de muros inadecuadas para crear una resistencia suficiente a la acción del terremoto. El ancho total de las aberturas de puertas y ventanas en las paredes es más de la mitad de la distancia entre las paredes transversales adyacentes. El diafragma del techo no se considera rígido y no se espera que la estructura del techo mantenga su integridad	Densidad y espesores de paredes inadecuados; el ancho total de las aberturas de puertas y ventanas en las paredes es más de la mitad de la distancia entre las paredes transversales adyacentes; los edificios son irregulares, tanto en planta como en elevación
Deficiencia sísmica: cimentación	Los muros de carga verticales no están unidos a los cimientos	Los cimientos no están conectados correctamente entre sí con vigas de cimentación. Cuando existen estas vigas, no están diseñadas para resistir momentos debidos a fuerzas sísmicas
Escala de calificación de vulnerabilidad sísmica (según MSK / EMS-98):	☐ A ☒ B ☐ C ☐ D ☐ E ☐ F	☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E ☐ F
Vulnerabilidad:	Alta vulnerabilidad	Vulnerabilidad media a alta
Tipología	GPS5-4, GPS2, GPSM	E-14

Imágenes		
Descripción corta	Sistema de grandes paneles de pórticos de hormigón prefabricado	Pórticos no dúctiles de hormigón armado con paredes de relleno
Período de construcción	GPS5-4, GPS2: Desde 1965 hasta 1980 GPSM: Después 2000 hasta 2012	Desde 1975 hasta 1985
Usos	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☐ EDU	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☐ EDU
No. pisos típicos	GPS5-4: 4–5, GPS2: 2 GPSM: 3–4	4–5
Forma en planta	Rectangular	Rectangular
Sistema resistente a cargas laterales	Paneles prefabricados de cortante; todas las losas de pared y piso se combinan entre sí, creando así una estructura rígida mediante un sistema especial de juntas	Pórticos de hormigón armado; en la dirección transversal la rigidez es proporcionada por muros de relleno de bloques huecos de 0,20 m de espesor (mampostería confinada)
Sistema resistente a cargas gravitatorias	Paneles prefabricados, que transfieren las cargas de gravedad a las losas prefabricadas de cimentación	Losas que transfieren las cargas de gravedad a las vigas y columnas y finalmente a las zapatas
Tipo de cimentación	Cimentación corrida superficial, debajo de los paneles socalos que proporcionan rigidez al sistema	Cimentación corrida debajo de las vigas
Tipo de sistema de piso / techo	Losas prefabricadas de hormigón armado	Losas prefabricadas de hormigón armado o fundidas <i>in situ</i>
Tipo de paredes	Paredes prefabricadas de hormigón armado	Paredes de relleno de bloques huecos de hormigón
¿Este tipo de construcción se aborda en los códigos?	☒ sí ☐ no	☒ sí ☐ no
Si es así, ¿qué código?	NC 53-114: 84, NC 46: 1999	NC 53-114: 84
Costo unitario de construcción: (\$ / m ²)	2 208,00 CUP/m ²	552,00 CUP/m ²

¿Número típico de habitantes?	>20	>20
Patrones de daños observados en terremotos pasados para este tipo de construcción	Sin reportes de daños, tampoco de otros países donde se utiliza este sistema	Grietas finas en las paredes de relleno, principalmente a partir de las esquinas de las aberturas; grietas finas verticales en las esquinas de las paredes y daños en los elementos estructurales
Deficiencia sísmica: sistema estructural	Las juntas se realizan mediante la soldadura de barras adicionales	Diferencia de rigidez de una dirección con respecto a la otra, más del 25 %. Secciones y cuantías de acero insuficientes en las columnas y vigas. Comportamiento columnas débil – viga fuerte. Baja ductilidad y cambios de rigidez lateral a la altura del edificio
Deficiencia sísmica: cimentación	Sin deficiencias conocidas	Sin deficiencias conocidas
Escala de calificación de vulnerabilidad sísmica (según MSK / EMS-98):	☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E ☐ F	☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E ☐ F
Vulnerabilidad:	Baja vulnerabilidad, se considera uno de los tipos de construcción más resistentes a los terremotos en Cuba	Vulnerabilidad media a alta

Tipología	G, GP, SAE	IMS5, IMS8, IMS12, IMS18
Imágenes		
Descripción corta	Girón y Sistema Abierto de Esqueleto: Pórticos de hormigón armado prefabricados	Sistema dual de pórticos y muros de hormigón armado
Período de construcción	G, GP: desde 1970 hasta 1990 SAE: desde 1990 hasta 2000	1985–1990
Usos	☐ RES ☒ COM ☒ HOS ☒ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☒ EDU	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☐ EDU
No. pisos típicos	1-5	5 (IMS5), 8 (IMS8), 12 (IMS12), 18 (IMS18)

Tipología	G, GP, SAE	IMS5, IMS8, IMS12, IMS18
Forma en planta	Rectangular, L, U	Rectangular, H
Sistema resistente a cargas laterales	Pórticos de hormigón armado prefabricados en una sola dirección con paredes de hormigón armado prefabricadas en una o dos direcciones	Pórticos y muros de corte de hormigón armado de 15 cm de espesor los cuales soportan más del 50% de la carga lateral
Sistema resistente a cargas gravitatorias	Losas prefabricadas de hormigón prefabricado, que transfirieren las cargas de gravedad a las vigas y pilares y finalmente a las zapatas	Losas prefabricadas de RC, transfiriendo las cargas de gravedad a las vigas y columnas y finalmente a las zapatas
Tipo de cimentación	Cimentación aislada superficial formada por platos, vasos, pedestales y zapatas	Cimentación aislada superficial para edificios de 5 pisos, a veces fundida <i>in situ</i> ; para edificios de 8, 12 y 18 pisos se utiliza cimentación corrida
Tipo de sistema de piso / techo	Losas prefabricadas que se apoyan en vigas de hormigón; la continuidad de las losas se establece mediante hormigón fundido <i>in situ</i>	Losas prefabricadas postesadas; las vigas se forman de las juntas entre los elementos horizontales formando el diafragma rígido
Tipo de paredes	Paredes de relleno de bloques huecos de hormigón	Paredes de relleno de bloques huecos de hormigón
¿Este tipo de construcción se aborda en los códigos?	☒ sí ☐ no	☒ sí ☐ no
Si es así, ¿qué código?	NC 53-114: 84, NC 46: 1999	Yugoslavo, basado en el Eurocódigo
Costo unitario de construcción: (\$ / m ²)	662.40 CUP/m ²	IMS5 e IMS8: 2 760.00 CUP/m ² IMS12 e IMS: 102 672.00 CUP/m ²
¿Número típico de habitantes?	>20	>20
Patrones de daños observados en terremotos pasados	Grietas finas en las paredes de relleno, finas fisuras en las juntas estructurales en terremotos moderados	Sin reportes de daños (tampoco de la ex Yugoslavia u otros países donde existe el sistema constructivo)
Deficiencia sísmica: sistema estructural	Comportamiento no dúctil; la junta columna-columna no garantiza la correcta transmisión de cargas sísmicas; mecanismo columna	Las columnas diseñadas para resistir solo cargas axiales; las juntas de las columnas en zonas de mayor momento; los detalles de acero no cumplen

Tipología	G, GP, SAE	IMS5, IMS8, IMS12, IMS18
	débil -viga fuerte; irregularidades en planta y elevación, cambios de rigidez lateral en la altura del edificio (pisos blandos)	con los requisitos para áreas de alto riesgo sísmico; estudios en el IMS18 concluyen que pueden ocurrir fallas por carga axial con flexión de muros de cortante
Deficiencia sísmica: cimentación	La forma en que se construye la cimentación no permite la construcción de vigas sísmicas	Sin deficiencias conocidas
Escala de calificación de vulnerabilidad sísmica (según MSK / EMS-98):	☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E ☐ F	☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E ☐ F
Vulnerabilidad:	Alta vulnerabilidad	Vulnerabilidad media
Tipología	SN	COM
Imágenes		
Descripción corta	Sandino: Pórticos de hormigón prefabricados	Cometal: Pórticos de acero
Período de construcción	Desde 1970 hasta 1980	Entre 1999 y 2010
Usos	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☒ EDU	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☐ EDU
No. Pisos típicos	1-2	2-3
Forma en planta	Rectangular	Rectangular
Sistema resistente a cargas laterales	Sistema dual prefabricado; el sistema estructural comprende columnas cuadrados con sección transversal de 0.11x0.11 m; paneles de pared de hormigón prefabricados que proporcionan rigidez a la estructura y controlan la deriva lateral, vigas fundidas <i>in situ</i>	Pórticos ligeros de acero con paredes de relleno de paneles sándwich
Sistema resistente a cargas gravitatorias	Losas prefabricadas transfiriendo las cargas de gravedad a las vigas y columnas y finalmente a las zapatas	El sistema de piso transfiere las cargas de gravedad a las vigas y columnas y finalmente a las zapatas
Tipo de cimentación	Cimentación superficial, a	Cimentación corrida

Tipología	G, GP, SAE	IMS5, IMS8, IMS12, IMS18
	través de vasos hasta las columnas y zapatas apoyadas en estos, generalmente prefabricados	
Tipo de sistema de piso / techo	Losas de hormigón armado / láminas de zinc, tejas de arcilla o tejas corrugadas de asbesto	Armaduras y losas de acero
Tipo de paredes	Paneles prefabricados de hormigón armado	Paneles sándwich
¿Este tipo de construcción se aborda en los códigos?	☒ sí ☐ no	☒ sí ☐ no
Si es así, ¿qué código?	NC 53-114: 84	NC 46:1999
Costo unitario de construcción: (\$ / m ²)	441,60 CUP/m ²	552,00 CUP/m ²
¿Número típico de habitantes?	Día: <5, Noche: 5-10	>20
Patrones de daños observados en terremotos pasados para este tipo de construcción	Grietas finas en muros, principalmente a partir de esquinas de aberturas, grietas finas verticales en esquinas de muros y daños en elementos estructurales	Ninguno
Deficiencia sísmica: sistema estructural	Las juntas panel-panel y paneles-columnas son mecánicas y se sellan con mortero baja ductilidad, conexiones de elementos estructurales inadecuadas	Las juntas entre los paneles y la cimentación son atornillados, lo que debilita el sistema
Deficiencia sísmica: cimentación	Sin deficiencias conocidas	Sin deficiencias conocidas
Escala de calificación de vulnerabilidad sísmica (según MSK / EMS-98):	☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E ☐ F	☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E ☐ F
Vulnerabilidad:	Vulnerabilidad media a alta	Vulnerabilidad media a alta

Tipología	PT	TS
-----------	----	----

Imágenes		
Descripción corta	Petrocasas, marcos de acero	Titan Steel, armadura de acero galvanizado
Período de construcción	2007	2013 hasta la actualidad
Usos	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☒ EDU	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☐ EDU
No. Pisos típicos	1-2	2-3
Forma en planta	Cuadrada	Rectangular
Sistema resistente a cargas laterales	Sistema dual con marcos de acero y paredes de láminas de PVC que se rellenan con hormigón fluido y proporcionan la resistencia lateral	Paredes de celosía de acero galvanizado cubiertas por paneles sándwich
Sistema resistente a cargas gravitatorias	El sistema de piso transfiere las cargas de gravedad a las vigas y columnas y finalmente a las zapatas	El sistema de piso transfiere las cargas de gravedad a las paredes y luego al cimiento
Tipo de cimentación	Cimentación corrida	Cimentación corrida
Tipo de sistema de piso / techo	Losas de hormigón armado fundidas <i>in situ</i> / cubierta de tejas de acero	Losas de hormigón armado fundidas <i>in situ</i> con piezas de acero como encofrado / cubierta de tejas de zinc
Tipo de paredes	Paredes de láminas de PVC rellenas con hormigón fluido	Paneles sándwich
¿Este tipo de construcción se aborda en los códigos?	☒ sí ☐ no	☐ sí ☒ no
Si es así, ¿qué código?	NC 46:1999	
Costo unitario de construcción: (\$ / m ²)	1104,00 CUP/m ²	1104,00 CUP/m ²
¿Número típico de habitantes?	Día: <5, Noche: 5-10	>20
Patrones de daños	Ninguno	Ninguno

observados en terremotos pasados para este tipo de construcción		
Deficiencia sísmica: sistema estructural	Columnas de acero de pequeñas secciones transversales y grandes luces. Soldadura en la base de las columnas. Muchas juntas en las paredes.	Las uniones columnas-vigas son soldadas
Deficiencia sísmica: cimentación	Sin deficiencias conocidas	Sin deficiencias conocidas
Escala de calificación de vulnerabilidad sísmica (según MSK / EMS-98):	☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E ☐ F	☐ A ☐ B ☐ C ☒ D ☐ E ☐ F
Vulnerabilidad:	Vulnerabilidad media	Vulnerabilidad media

Tipología	FS	VH
Imágenes		
Descripción corta	FORSA, sistema de muros de hormigón armado	VHICOA, pórticos arriostrados de acero
Período de construcción	2013 hasta la actualidad	2013 hasta la actualidad
Usos	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☒ EDU	☒ RES ☐ COM ☐ HOS ☐ IND ☐ AGR ☐ REL ☐ GOV ☐ EDU
No. Pisos típicos	4-5	5
Forma en planta	Rectangular	Rectangular
Sistema resistente a cargas laterales	Paredes de corte y losas monolíticas de hormigón armado fundidas <i>in situ</i>	Pórticos arriostrados de acero que proporcionan la rigidez y resistencia al sistema
Sistema resistente a cargas gravitatorias	Losas de hormigón armado, transfiriendo las cargas de gravedad a los muros y finalmente a la cimentación	El sistema de piso transfiere las cargas de gravedad a las vigas y columnas y finalmente a las zapatas
Tipo de cimentación	Cimentación corrida, vigas de cimentación debajo de todos los muros de cortante y losa de cimentación	Cimentación aislada superficial
Tipo de sistema de piso / techo	Losas de hormigón armado fundidas <i>in situ</i>	Losas de hormigón armado fundidas <i>in situ</i>

Tipo de paredes	Muros de hormigón armado fundidos in situ	Paredes de relleno de bloques de hormigón
¿Este tipo de construcción se aborda en los códigos?	☒ sí ☐ no	☒ sí ☐ no
Si es así, ¿qué código?	NC 46:1999, NC 46:2017	NC 46:1999, NC 46:2017
Costo unitario de construcción: (\$ / m ²)	1380,00 CUP/m ²	3101,69 CUP/m ²
¿Número típico de habitantes?	>20	>20
Patrones de daños observados en terremotos pasados para este tipo de construcción	Grietas finas en paredes luego de terremotos moderados por defectos de construcción	Ninguno
Deficiencia sísmica: sistema estructural	Sin deficiencias conocidas	Sin deficiencias conocidas
Deficiencia sísmica: cimentación	Sin deficiencias conocidas	Sin deficiencias conocidas
Escala de calificación de vulnerabilidad sísmica (según MSK / EMS-98):	☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E ☐ F	☐ A ☐ B ☐ C ☐ D ☒ E ☐ F
Vulnerabilidad:	Vulnerabilidad baja	Vulnerabilidad baja

Fuente: autores

DISCUSIÓN

La consideración de la fecha de diseño y construcción de cada tipología estructural caracterizada permite establecer si esta es tratada en los códigos de diseño e identificar, de manera preliminar, los aspectos que inciden directamente en su comportamiento estructural.

La identificación adecuada de los sistemas resistentes a cargas laterales y gravitatorias y de las principales deficiencias del sistema estructural y la cimentación, evaluadas a partir de lo indicado en NC-46 (Cuba. Oficina Nacional de Normalización, 2017), permite al especialista encargado del estudio de las edificaciones priorizar el análisis y, por tanto, disminuir el tiempo y costo de los estudios de gestión de riesgo de desastres.

Por otra parte, la observación de patrones de daños preexistentes por la ocurrencia de sismos permite establecer posibles respuestas de los elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones. Estos patrones indican, en primer lugar, los niveles de aceleración que son significativos para la tipología estructural y, además, las posibles medidas a adoptar para evitar daños ante acciones sísmicas más fuertes.

Igualmente es importante la estimación del costo unitario de construcción, a partir del cual se garantiza la consideración en el análisis del riesgo sísmico del componente económico y, en consecuencia, se asegura una evaluación integral del mismo. Esto constituye una novedad en relación con análisis anteriores realizados en Cuba.

En el análisis de las tipologías no se incluyen las edificaciones precarias, ya que son edificaciones construidas sin planificación por personas de bajos ingresos, las cuales presentan variedad de materiales estructurales (adobe, zinc, madera, mampostería) y pobre calidad de construcción. Estas edificaciones se encuentran en mayor grado en las zonas periféricas de la ciudad.

Desde el punto de vista administrativo la ciudad está dividida en cuatro distritos urbanos. En estos distritos actualmente viven de forma permanente alrededor de 399 860 personas en un total de 87 377 edificaciones (tabla 6).

Tabla 6. Consejos populares, circunscripciones y número de edificaciones por distritos			
Distrito	Consejos Populares	Circunscripciones	Edificaciones
Distrito 1 José Martí	7	84	26 864
Distrito 2 26 de Julio	3	33	14 572
Distrito 3 Antonio Maceo	6	64	26 310
Distrito 4 Abel Santamaría	6	55	19 631

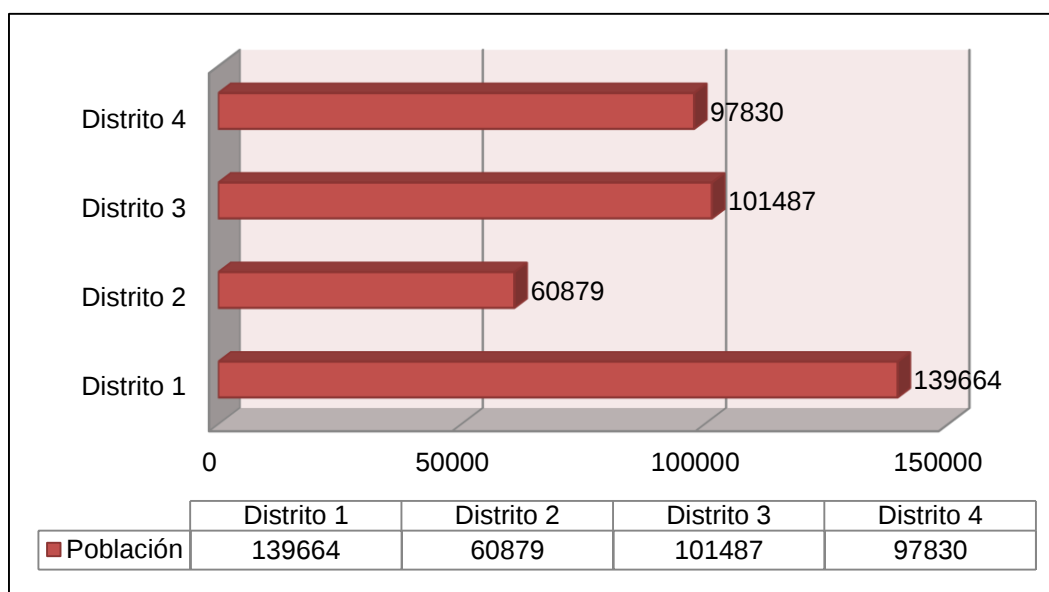
Fuente: autores

En el centro histórico urbano (Distrito 2) predominan las edificaciones de mampostería sin reforzar (50,32 % del total de las edificaciones del distrito). En los otros tres distritos predominan las edificaciones de pórticos no dúctiles de hormigón armado de baja altura (47,02 % del total de las edificaciones de la

ciudad), aunque también tienen un porcentaje representativo las edificaciones de mampostería sin reforzar (20,80 % del total de las edificaciones de la ciudad). En el distrito 1 existe un porcentaje significativo de edificaciones precarias (28,31 % del total de las edificaciones del distrito). Solo el 4,17 % de las edificaciones de la ciudad corresponden a edificaciones prefabricadas o semiprefabricadas, distribuidas principalmente en los distritos 1 y 4.

En la figura 1 se muestra la distribución de la población en cada uno de los distritos de la ciudad, en ella se observa que el Distrito 1 es el más poblado (34,93 % del total de la población de la ciudad) y el menos poblado es el Distrito 2 (15,23 % del total de la población de la ciudad).

Figura 1. Distribución de la población por distritos de la ciudad de Santiago de Cuba



Fuente: autores

CONCLUSIONES

1. En el trabajo se presenta un atlas de las 23 tipologías constructivas representativas existentes en la ciudad de Santiago de Cuba, lo cual facilita futuros estudios de vulnerabilidad para la gestión de riesgo sísmico y planificación urbana.

2. La caracterización de las tipologías se realiza sobre la base de la descripción estructural, códigos de diseño, patrones de daños observados en terremotos pasados para este tipo de construcción, deficiencia sísmica del sistema estructural y la cimentación, clasificación del sistema según la escala EMS-98 y una estimación cualitativa de la vulnerabilidad.
3. Específicamente la observación de patrones de daños preexistentes por la ocurrencia de sismos permite establecer posibles respuestas de los elementos estructurales y no estructurales de las edificaciones.
4. La caracterización tipológica incluye además la estimación del costo unitario de construcción, a partir del cual se garantiza la consideración en el análisis del riesgo sísmico del componente económico y, por tanto, se asegura una evaluación integral del mismo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cuba. Oficina Nacional de Normalización. (2017). *Norma Cubana NC 46: 2017: Construcciones sismorresistentes. Requisitos Básicos para el Diseño y Construcción*. La Habana: autor. <https://es.scribd.com/document/373479452/118-NC-46-Construcciones-Sismorresistentes>

Chuy-Rodríguez, T.J. (2003). Macrosísmica de Cuba: su aplicación en los estimados de peligrosidad sísmica. *Minería y Geología*, 19(1-2), 43-50. <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/230>

Department of Homeland Security, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Mitigation Division. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology, Earthquake Model, HAZUS[®]MR4* (Technical Manual). Washington, D.C: author. http://www.civil.ist.utl.pt/~mlopes/conteudos/DamageStates/hazus_mr4_earthquake_tech_manual.pdf

Grünthal, G. (ed.) (1998). European Macroseismic Scale 1998 (EMS 98). En *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15 (pp. 1-101), Luxembourg. <http://lib.riskreductionafrica.org/bitstream/handle/123456789/1193/1281.European%20Macroseismic%20Scale%201998.pdf?sequence=1>

Lang Dominik, H., Meslem, A., Candebat, D., Berenguer, Y., Morejón, G., Villalón, M. y Leyva, K. (2015). *Building stock and classification for the city of Santiago de Cuba (Cuba)*. NORSAR Report.

Morejón Blanco, G., Leyva Chang, K., Candebat Sanchez, D., Rivera Alvarez, Z., Berenguer Heredia, Y., Villalon Semanat, M., Lang, D.H., & Meslem, A. (2016). *World Housing Encyclopedia –WHE. A Resource on construction in Earthquake Regions* (Reportes 183-198). <https://db.world-housing.net/list/>

Meslem, A., Adne, S., Erduran, E., Candebat, D y Berenguer, H. (2015). Evaluación del riesgo sísmico del mayor hospital en Santiago de Cuba, Cuba (Fondos del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas (Cenais) y de Norwegian Seismic Array (NORSAR)). Santiago de Cuba, Cuba.

Recibido: 10 de junio de 2020

Aprobado: 2 de octubre de 2020