



Ciencia en su PC

ISSN: 1027-2887

manuela@megacen.ciges.inf.cu

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago
de Cuba

Cuba

Leyva-Chang, Kenia Mercedes; Morejón-Blanco, Grisel; Candebat-Sanchez, Dario
CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA
EDIFICACIONES SIN INFORMACIÓN ESTRUCTURAL EN CUBA
Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 1, 2018, Enero-Marzo 2019, pp. 86-95
Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba
Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181358269011>

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

UAEM  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

**CONSTRUCCIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD PARA EDIFICACIONES
SIN INFORMACIÓN ESTRUCTURAL EN CUBA
CONSTRUCTION OF FRAGILITY CURVES FOR BUILDINGS WITHOUT
STRUCTURAL INFORMATION IN CUBA**

Autores:

Kenia Mercedes Leyva-Chang, kenia@cenais.cu¹

Grisel Morejón-Blanco, grisel@cenais.cu¹

Dario Candebat-Sánchez, dario@cenais.cu¹

¹Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas. Santiago de Cuba, Cuba.

RESUMEN

Se detalla primeramente un estudio de las tipologías representativas del fondo habitacional de la ciudad de Santiago de Cuba a través de un procedimiento de clasificación. Además, se muestra, mediante una metodología, la representación bilineal de la curva de capacidad y las curvas de fragilidad para cada una de las tipologías representativas del fondo habitacional de la ciudad de Santiago de Cuba, cuando no se cuenta con información estructural y teniendo en cuenta las normas sismorresistentes cubanas y la forma de construcción en Cuba. Estas curvas son una primera aproximación para la estimación de daños por terremotos en la ciudad de Santiago de Cuba mediante curvas de fragilidad.

Palabras clave: curva de capacidad, curvas de fragilidad, representación bilineal.

ABSTRACT

A study of representative types of housing in the city of Santiago de Cuba through a classification procedure is detailed first. At work the bilinear representation of the capacity curve and the fragility curves for each of the representative types of housing in the city of Santiago de Cuba, applying a methodology arise when you do not have structural information and taking into account Cuban earthquake resistance standards and the form of construction of Cuba. These curves are a first approximation to estimate earthquake damage in the city of Santiago de Cuba by fragility curves.

Key words: capacity curve, fragility curves, bilinear representation.

INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales se presentan como respuesta a determinados procesos que tienen lugar en el planeta Tierra. Estos se manifiestan de diferentes formas: ciclones, huracanes, maremotos, terremotos o sismos. Estos últimos son considerados los fenómenos geológicos más devastadores que existen, ya que son impredecibles. Los de gran intensidad provocan la destrucción de edificios y obras ingenieriles, algunos tienen un carácter catastrófico y están acompañados de la destrucción de grandes ciudades, con innumerables pérdidas materiales y humanas.

Las experiencias obtenidas en terremotos recientes han evidenciado el mal comportamiento de las edificaciones ante estos eventos y la necesidad de reforzar aquellas estructuras con poca o ninguna capacidad de respuesta sismorresistente. En las figuras 1–3 se muestran algunas edificaciones, destinadas a viviendas, dañadas durante la ocurrencia de sismos fuertes ocurridos en el mundo.



1)



2)



3)

Figuras 1 - 3. Viviendas destruidas durante sismos fuertes. 1) Haití, 2010. 2) Chile, 2010. 3) Nepal, 2015

Fuente: Tomado de El país

El territorio cubano, teniendo en cuenta su ubicación en relación con los límites de las placas de Norteamérica y el Caribe, presenta un nivel de peligrosidad sísmica determinado por la proximidad a este límite; específicamente la región suroriental del país es la de mayor peligrosidad sísmica (Chuy, 2001).

Teniendo en cuenta que Santiago de Cuba se encuentra en la región suroriental de Cuba, zona sometida a una amenaza sísmica significativa, y que esta ciudad, fundada en 1515, agrupa edificaciones de vivienda de gran valor patrimonial y arquitectónico, se hace necesaria la estimación de la vulnerabilidad y riesgo sísmico de las viviendas existentes.

Aunque la mayoría de las edificaciones antiguas son edificios de mampostería sin reforzar, de baja altura, existe además una gran cantidad de edificaciones de hormigón armado, de baja y moderada altura, con pórticos resistentes a momentos y, en menor medida, edificios de mampostería confinada de baja altura. Igualmente, se observan algunas edificaciones con pórticos de madera, de acero y otras con pórticos de hormigón prefabricado y tímpanos de hormigón.

En análisis e investigaciones precedentes, realizados en la ciudad de Santiago de Cuba, se ha demostrado la alta vulnerabilidad que poseen las edificaciones destinadas a viviendas ante la presencia de estos fenómenos.

Estos resultados están fundamentados en la existencia de gran cantidad de construcciones realizadas en períodos de poca o ninguna experiencia en el diseño sismorresistente, así como en los problemas que evidencian muchas de estas edificaciones, caracterizadas por un estado técnico entre regular y malo. Otro aspecto significativo lo constituye la construcción actual de viviendas por esfuerzos propios, donde no se respetan los requisitos que garantizan un comportamiento adecuado ante acciones sísmicas.

La ciudad de Santiago de Cuba se caracteriza por una gran cantidad de tipologías constructivas y mezcla de estilos arquitectónicos. La ciudad fue severamente dañada por un fuerte terremoto en 1932; por tanto, ha experimentado varios ciclos de reconstrucción. El terremoto del 3 de febrero de 1932 causó 14 muertos y 200 heridos, afectó el 80 % del total de las edificaciones de la ciudad y causó pérdidas económicas de aproximadamente 15 millones de pesos cubanos. El 10 % de las edificaciones sufrieron destrucción total, mientras que otro 40 % fue dañado seriamente. En otras

palabras, la extensión de los daños condujo a la reconstrucción de la mitad del parque inmobiliario de Santiago de Cuba.

En el centro de la ciudad (casco histórico) predominan las edificaciones de mampostería no reforzada, de ladrillos de arcilla y techos de tejas de arcilla, a menudo remplazados por tejas de asbesto corrugado o zinc. La mayoría de estas edificaciones presenta un estado técnico evaluado de regular a malo, por lo que no tienen un buen comportamiento estructural. El mayor número de los edificios más modernos son de pórticos de hormigón armado, muros o pórticos de hormigón prefabricado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para estas edificaciones, al no contar con información estructural suficiente para realizar un modelo matemático, se obtiene su capacidad por métodos aproximados, con el empleo de metodologías aproximadas de cálculo que permiten obtener los valores de fuerza cortante y los desplazamientos de fluencia y último, con los que se confecciona la curva de capacidad de la estructura (Coronel y López, 2011).

Curva de capacidad

Las curvas de capacidad representan la relación entre la fuerza cortante (V) en la base de un edificio y el desplazamiento (U) en el tope del mismo.

Se buscan los dos puntos notables de la curva de capacidad (fluencia y último).

$$V_y = \Omega_y C_s W_{norma}$$

Donde:

V_y : Cortante de fluencia.

Ω_y es el factor de sobrerresistencia que escala la fuerza de diseño a la fuerza asociada con la fluencia.

C_s : Coeficiente sísmico, obtenido de las normas sísmicas.

W_{norma} : Peso sísmico del edificio, definido en la norma respectiva por la suma de la carga permanente (CP) y un porcentaje de la carga temporal (CV).

A efectos de normalizar la fuerza Vy en cada norma por el mismo valor del peso, se define el factor de corrección del peso (f_w).

$$f_w = \frac{W_{norma}}{W}$$

$$W = CP + 0,5CV$$

$$W_{norma} = CP + \alpha_n CV$$

Donde W es el peso sísmico asociado a la norma COVENIN (2001) y α_n es una fracción de la carga variable considerada en cada código. Para simplificar los cálculos se estima que $CV = 0,25(CP + CV)$ en todas las normas, sustituyendo

W y W_{norma} en la ecuación de (f_w) se obtiene:

$$f_w = 1,1429(0,75 + 0,25\alpha_n)$$

Para determinar el cortante en la base de fluencia se tiene que: $\frac{V_Y}{W} = \Omega_Y C_S f_w$

Para la capacidad última se incorpora el factor de sobrerresistencia última (Ω_u).

$$\frac{V_u}{W} = \Omega_u \frac{V_Y}{W}$$

Donde V_u es el cortante último.

El desplazamiento en el tope de la edificación en el punto de la fluencia se puede obtener con la siguiente ecuación:

$$U_Y = \frac{\alpha_1}{\beta_1} \frac{V_Y}{W} g \left(\frac{T_e}{2\pi} \right)^2$$

Donde: α_1 es el factor de participación en el modo fundamental.

T_e : Período efectivo de la estructura, se consideró un incremento del 30 % para edificios construidos antes de 1982.

β_1 : Fracción de la masa participativa.

$$U_u = \lambda \mu U_Y$$

λ : Coeficiente que permite llevar el desplazamiento hasta el estado último o de daño completo, según FEMA (2009).

μ : Factor de capacidad dúctil global.

Espectro de capacidad: para obtener la curva de capacidad en ordenadas espectrales se usan las ecuaciones siguientes, las cuales han sido definidas anteriormente:

$$S_a = \frac{V/W}{\alpha_1} \quad S_d = \frac{\Delta_{techo}}{PF_1 \times \phi_{1,techo}}$$

Curva de fragilidad

El diseño para determinados niveles de desempeño requiere la conexión entre determinados límites estructurales y su probabilidad de ocurrencia. Una de las formas más utilizadas para representar el funcionamiento de las estructuras son las curvas de fragilidad. Las construcciones de estas curvas requieren de un entendimiento completo de los mecanismos de respuesta del sistema estructural para diferentes niveles de la demanda sísmica. Son funciones logarítmicas que representan la probabilidad de alcanzar o exceder estados de daños. Estas curvas pueden ser obtenidas a partir de observaciones después de ocurrido un sismo o mediante métodos matemáticos.

Para construir estas curvas es necesario definir medidas objetivas que indiquen cuándo el daño de una estructura pasa de un estado a otro, estas medidas son conocidas como umbrales de daños.

En este método cada curva está caracterizada por los valores medios y de desviación estándar logarítmica normal (β) de la demanda sísmica del suelo. Para daños estructurales, dado el desplazamiento espectral S_d , la probabilidad de alcanzar o exceder el estado de daño (d_S) es:

$$P\left[\frac{d_S}{S_d}\right] = \phi\left[\frac{1}{\beta_{dS}} \ln\left(\frac{S_d}{\overline{S_{d,dS}}}\right)\right]$$

Donde:

$\bar{S}_{d,ds}$: Valor medio de desplazamiento espectral para el cual la edificación alcanza el estado de daño límite (ds).

β_{ds} : Logaritmo natural de la desviación estándar del desplazamiento espectral para el estado de daño (ds). Se emplean los valores de β_{ds} , ajustados a los cambios del código sísmico en Cuba.

ϕ : Función de la distribución normal estándar acumulativa.

Se suponen cuatro estados de daño diferentes del estado de daño nulo (no daño): ligero, moderado, severo y completo. Los umbrales de daño o valores medios de la distribución de probabilidad de las curvas de fragilidad se determinan a partir de los parámetros S_{dy} (desplazamiento en el punto de fluencia) y S_{du} (desplazamiento en el punto último), definidos en la representación bilineal de la curva de capacidad. Los umbrales de los estados de daño se presentan a continuación:

Daño Ligero (DL): $\bar{S}_{D1} = 0.7 S_{dy}$

Daño Moderado (DM): $\bar{S}_{D2} = S_{dy}$

Daño Severo (DS): $\bar{S}_{D3} = S_{dy} + 0.25(S_{du} - S_{dy})$

Daño Completo (DC): $\bar{S}_{D4} = S_{du}$

Desde las curvas de fragilidad es posible obtener la posibilidad de ocurrencia de cada estado de daño y construir matrices de probabilidad de daño. Estas se obtienen a partir del punto de desempeño, con el empleo de las curvas de fragilidad correspondientes. Para esto es necesario entrar en las curvas de fragilidad con el parámetro que representa la respuesta estructural (en este caso el desplazamiento espectral), y obtener las probabilidades correspondientes a cada estado de daño.

RESULTADOS

El estudio de la ciudad de Santiago de Cuba requiere de un análisis de las diferentes tipologías constructivas existentes. Las edificaciones de la ciudad presentan características estructurales y arquitectónicas, técnicas constructivas, materiales y edades diversas en dependencia del período en que fueron construidas. En la ciudad se definen tres grandes períodos constructivos, el colonial, el republicano y el revolucionario.

La estimación del riesgo sísmico antes de que se produzca un desastre es de vital importancia en ciudades ubicadas en zonas sísmicas; estas estimaciones permiten adoptar medidas preventivas antes de la ocurrencia de sismos de gran magnitud y de esta forma minimizar sus efectos.

En el trabajo se muestra la representación bilineal de la curva de capacidad y las curvas de fragilidad para cada una de las tipologías representativas del fondo habitacional de la ciudad de Santiago de Cuba, a partir de una metodología que tiene en cuenta la falta de información estructural, las normas sismorresistentes cubanas y la forma de construcción en Cuba.

Estas curvas son una primera aproximación para la estimación de daños por terremotos en la ciudad de Santiago de Cuba mediante curvas de fragilidad.

La metodología puede generalizarse a otras regiones de nuestro país.

A modo de ejemplo, en la fig. 4 se muestra la representación bilineal de la curva de capacidad y las curvas de fragilidad para viviendas de baja altura de porticos de hormigón armado de baja altura, construidas antes de 1999. Estas edificaciones son bastante frecuentes en el fondo habitacional de la ciudad de Santiago de Cuba. Del mismo modo se obtuvo el resto de las curvas para las restantes tipologías.

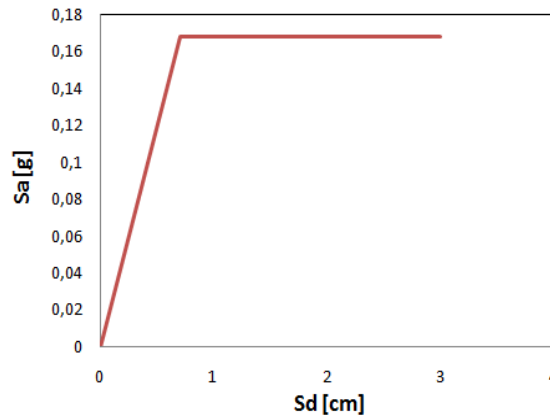


Figura 4 a) Curva de capacidad

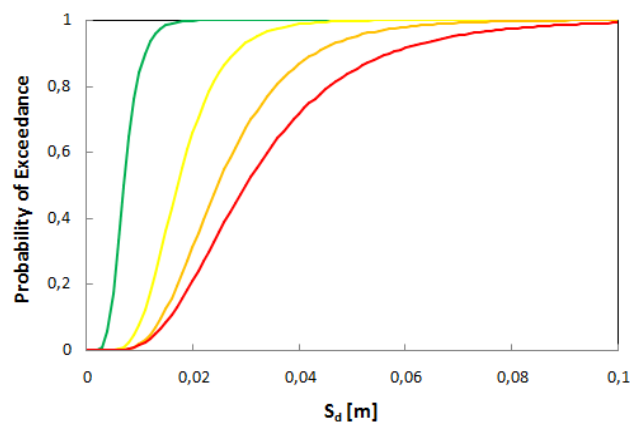


Figura.4 b) Curvas de fragilidad

Fig. 4. Curvas de fragilidad y capacidad de edificaciones de pórticos de hormigón armado de baja altura, construidas antes de 1999.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chuy, T, J. (2001). Macrosísmica de Cuba y su aplicación en los estimados de Peligrosidad Sísmica. *Geología y Minería*, XVII(4).

Comisión de Normas de Estructuras para edificaciones (COVENIN) (2001). *Norma venezolana de Edificaciones Sismorresistentes*. Caracas, Venezuela: autor

Coronel, G; López, O. (2011). *Metodología para la construcción de las curvas de capacidad y fragilidad*.

Federal Emergency Management Agency (FEMA) & National Institute of Building Sciences (NIBS). (2009). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology; Earthquake Model, HAZUS-MH MR4, Technical Manual*. Washington D.C.: author.

El país (4 de abril de 2015). Recuperado de <http://elpais.com/elpais/2015/04/27>

Recibido: junio de 2017

Aprobado: noviembre de 2017