

DAÑOS OBSERVADOS EN PUERTO PLATA, REPÚBLICA DOMINICANA, CAUSADOS POR EL TERREMOTO DEL 22 DE SEPTIEMBRE DE 2003

Ricardo R. López Rodríguez¹ y José A. Martínez Cruzado¹

Resumen: El lunes 22 de septiembre de 2003, poco después de medianoche, un terremoto de magnitud 6.5 sacudió la ciudad costera de Puerto Plata en la República Dominicana dejando a oscuras a la ciudadanía, derribando varias estructuras y averiando muchas otras. Sorprendentemente sólo una persona falleció como consecuencia directa del movimiento telúrico. La misma semana los autores coordinaron un viaje de reconocimiento de tres días para visitar las zonas afectadas por el sismo. El reporte que continúa presenta brevemente los hallazgos que hubo durante dicha visita. Estos hallazgos no incluyen análisis posteriores.

DAMAGES OBSERVED IN PUERTO PLATA, DOMINICAN REPUBLIC, DUE TO THE SEPTEMBER 22, 2003 EARTHQUAKE

Abstract: On Monday, September 22, 2003, just after midnight, an earthquake of magnitude 6.5 shook the coastal city of Puerto Plata, in the Dominican Republic. The event caused a widespread blackout, demolishing several structures and damaging many others. Surprisingly (and fortunately), there was only one human casualty as a direct consequence of the ground motion. The same week that the earthquake occurred, the authors of this report organized a three-day reconnaissance trip to visit the zones affected by the ground shaking. The following report briefly describes the most important findings observed during the trip. These findings do not include analysis of the damaged buildings.

INTRODUCCIÓN

El 22 de septiembre de 2003 la Ciudad de Puerto Plata despertó abruptamente a las 12:45 de la mañana por el ruido y el movimiento de un terremoto magnitud 6.5 (USGS) localizado muy cerca de la ciudad. El movimiento causó daños mayores a por lo menos una docena de estructuras y daños moderados y menores a más de 100 estructuras y residencias. En ciudades vecinas los daños fueron moderados, de acuerdo a informes de prensa. Este artículo recoge las observaciones de los autores, los cuales viajaron a Puerto Plata 2 días después del terremoto y estuvieron en la ciudad del 24 al 26 de septiembre.

SISMICIDAD

La zona norte de República Dominicana está considerada como la más sísmica del país. La falla Septentrional cruza de este a oeste del país aproximadamente por la ciudad de Santiago, 40 kilómetros al sur de Puerto Plata. El movimiento más importante previo a este año tuvo una magnitud de 8.1 y ocurrió el 4 de agosto de 1946. Generó un maremoto que inundó varios poblados en las costas de toda la bahía escocesa. Anterior a éste, un terremoto causó 6 mil muertes en el norte de la República Dominicana y Haití el 7 de mayo de 1842 el cual tuvo una intensidad de XI.

El sismo del 22 de septiembre de 2003 tuvo una magnitud de 6.5 de acuerdo al USGS. Originalmente se localizó su epicentro a 10 km de profundidad y a 10km de distancia al sur de Puerto Plata. Posteriormente el USGS revisó la localización a la latitud 18.847, longitud 70.666 dentro del océano pero, mucho más cerca de Puerto Plata. La Figura 1 muestra la localización de Puerto Plata en la isla de La Española, con algunas de las fallas principales.

CONSTRUCCIÓN Y REGLAMENTOS

La mayoría de las construcciones en Puerto Plata son de pórticos de hormigón armado y de bloques de concreto reforzado y sin reforzar. Desde 1979 el Reglamento sísmico del país exige diseño para aceleraciones de suelo superiores

¹ Catedrático, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, Mayagüez, PR 00681

a 0.2g. Aunque las fuerzas de diseño están de acuerdo con otros códigos modernos, al día de hoy no hay requisito legal de proveer ductilidad a las estructuras, a pesar de que las fuerzas del código suponen que las estructuras tengan suficiente capacidad de deformación para resistir las cargas inelásticamente. El país está en proceso de poner al día todos sus reglamentos estructurales.

Puerto Plata tiene un reglamento especial que prohíbe construcción de estructuras mayores de 3 plantas en la ciudad. La razón es para mantener el ambiente de pueblo pequeño que se considera más atractivo a los turistas, los cuales son la mayor fuente de ingresos de esta ciudad de aproximadamente 90,000 habitantes.

ESTRUCTURAS OBSERVADAS

La mayoría de las estructuras observadas que sufrieron daños fueron escuelas. También se observaron daños en 4 edificios comerciales y un motel. La prensa reportó daños en unas 60 residencias, pero estas no se estudiaron en detalle. Las residencias observadas aparentan ser construcciones informales.

Escuela La Reforma

La escuela consta de varios edificios de una y dos plantas separados por juntas de construcción (fig. 2). Uno de los edificios colapsó perdiendo el primer piso por completo, según se muestra en la figura 3. También un techo de otro edificio de la misma escuela colapsó. El otro edificio de 2 plantas está en malas condiciones. El edificio muestra varias peculiaridades. Se pudo observar que los pasillos tienen doble losa de piso, de forma tal que el techo del pasillo exterior está más bajo que el techo de los salones. El techo de los salones es también el piso de la segunda planta y se extiende al pasillo, por lo que el pasillo tiene doble techo (fig. 4). La conexión entre las columnas del pasillo y la viga es evidentemente deficiente. El apoyo de la viga sobre la columna no excede 2 pulgadas. Esto provoca que no haya buena transmisión de cortante ni de momento entre las columnas y la viga. La parte colapsada indica que el colapso pudo haber comenzado por las columnas exteriores, ya que las que no han colapsado muestran deterioro severo en su parte superior, según se aprecia en la figura 5.

Las columnas interiores son relativamente de gran tamaño (16 x 24 aproximadamente, con varillas de 1 pulgada de refuerzo longitudinal. Sin embargo, el refuerzo transversal aparenta ser muy deficiente, con varillas de ¼ de pulgada espaciada cada 8 a 12 pulgadas. La parte del otro techo colapsado aparenta ser producto del colapso de una columna exterior colocada justo en la junta de construcción (fig. 6).

Liceo José Dubeau

Este liceo está localizado a un bloque de la Escuela La Reforma, y es la otra escuela que sufrió colapso. En este caso se derrumbó una parte del edificio principal que era una expansión posterior. El techo de la parte colapsada aparentaba descansar únicamente en la viga trasera y estaba conectado débilmente al resto de la estructura existente (ver figs. 7, 8 y 9). La viga colapsada en la parte lateral era de bloques (fig. 10).

En parte del edificio se ven paredes de bloques muy agrietadas en ambas direcciones. En estos casos el pórtico de hormigón armado aparenta estar en buenas condiciones. En el 2do piso se observó frecuentemente grietas que separan la pared de bloques del pórtico. En estas zonas se ve el pórtico muy agrietado en la conexión viga-columna, particularmente en la viga que descansa sobre la columna (fig. 11). Un problema recurrente es que las varillas de la columna aparentan estar cortadas dentro de la viga sin proveer suficiente anclaje. También se aprecia falta de acero de confinamiento. Por último, pudo apreciarse que el tamaño del agregado era mucho mayor que lo normal. Los elementos arquitectónicos en voladizo se comportaron sorprendentemente bien.

Escuela San Marcos

Esta escuela de un piso muestra construcción de pórticos de hormigón y paredes de bloques. La escuela presenta muchos problemas de deterioro avanzado de las columnas (fig. 12), probablemente provocado porque las paredes de bloques a media altura de la columna en la dirección longitudinal restringen el movimiento en esa dirección y fuerzan a que todo el movimiento lateral se produzca en un largo de aproximadamente la mitad del largo original de la columna. Este es un problema común en los diseños de escuela en Latinoamérica y se conoce como el problema de columna corta. En esta escuela también se apreció que la varilla de las columnas estaba muy cercana entre sí, de forma tal que el recubrimiento era mucho mayor de lo normal. Esta situación reduce sustancialmente la capacidad tanto a momento como a cortante en comparación con columnas con recubrimiento normal. En la dirección transversal las paredes de bloques sufrieron pocos daños. Los daños mayores fueron en las columnas en la dirección longitudinal. El refuerzo transversal de las columnas aparenta ser aros lisos #2 espaciados a 8 pulgadas. El tamaño de las columnas principales es 10" x 16". La columna corta es de 26" de alto. En algunas columnas dañadas se perdió el hormigón del núcleo.

Escuela Básica Los Domínguez

Esta escuela de 2 pisos muestra grietas en algunas columnas y paredes de bloques. Las grietas en las columnas aparentan ser debido al problema de columna corta (fig. 13). Sin embargo, la mayoría de las columnas se ven en buenas condiciones. Esto puede deberse a que en la misma dirección longitudinal existen paredes de bloques por la altura completa en los baños las cuales resultaron poco agrietadas. Es muy posible que la rigidez de las paredes es mayor que la rigidez de las columnas. En la dirección transversal no se observaron daños de importancia.

Escuela Concepción Gómez Matos

Esta escuela tiene un diseño muy parecido a la Escuela de Los Domínguez. La mayoría de los daños ocurrieron en las paredes de bloques del primer piso. Aparentemente por ser más rígidas estas paredes, los pórticos de hormigón sufrieron poco daño, según se aprecia en la figura 14.

Edificio Seguros Pepín

Este edificio está localizado frente al Centro Médico Dr. Busigal. La figura 15 muestra una vista general del edificio con primer piso comercial y los otros 2 pisos residenciales. Se identificó una pared y una columna en el primer piso grandemente dañados, y otras columnas exteriores con daños moderados (Fig. 16). Como medida de seguridad los dueños del edificio no permitían a los inquilinos ocupar el edificio. Sin embargo, sí permitían sacar sus pertenencias un apartamento a la vez. Claramente el edificio tenía más área de paredes exteriores en los pisos superiores que en el primer piso. No se permitió entrar al edificio por lo que se desconoce su estructura interior.

Ferretería Las Flores

Es un edificio comercial de 2 plantas. Presenta colapso del primer piso (Fig. 17). Las paredes del segundo piso tienen daños mayores, específicamente se aprecian grietas en forma de X las cuales son típicas de fuerzas cortantes altas. Aparentemente las paredes de la fachada son de bloques de concreto. No se tuvo acceso al interior del edificio. La arquitectura del edificio colindante era casi idéntica a la del edificio colapsado. Este presenta daños en las paredes del primer piso pero no colapsó. Los edificios no parecían haberse construido al mismo tiempo.

Banco de Reserva

Es un edificio comercial de 2 plantas con fachada mayormente de ventanas de vidrio. El segundo piso colapsó parcialmente (Fig. 18). La fachada muestra muy pocas columnas tanto en el segundo como en el primer piso. Otros edificios cercanos están en buenas condiciones. Se aprecia una viga de hormigón armado del 2do piso caída en el patio. Las varillas de la viga tienen gancho de 180 grados en el extremo y se arrancaron por completo de la columna. Los escombros de la columna tirada en el patio muestran tubería de aproximadamente 3" de diámetro dentro de la columna. Se informó que la estructura era originalmente de una sola planta y que posteriormente se añadió la segunda planta.

Edificio Imprenta HKM

Este edificio colapsó totalmente y los escombros estaban siendo removidos por brigadas de trabajadores. No se pudo apreciar la estructura ni el daño.

Centro Artesanal

Es un edificio de un solo piso de aproximadamente 14 pies de altura, con una fachada de ladrillos y concreto, y pórtico interior de hormigón armado. El techo de madera descansa en elegantes tijerillas de madera que a su vez descansan en las vigas de hormigón armado. La fachada de ladrillos está muy agrietada según se aprecia en la figura 19. El pórtico interior con columnas esbeltas y vigas de hormigón armado presenta daños considerables en la viga central y las columnas. La viga presenta una grieta significativa de cortante en el extremo cerca de la columna (Fig. 20). También la columna central tiene acero longitudinal expuesto y corroído (Fig. 21). Hay completa ausencia de refuerzo de confinamiento en la columna. El techo de madera y las tijerillas de madera aparentan estar en buenas condiciones.

Motel Los Platanitos

Es una estructura de hormigón armado y paredes de bloques de 2 plantas en la parte frontal y un sótano en la parte trasera, levantado en columnas. Las columnas esbeltas fallaron y el motel se deslizó colina abajo, según se aprecia en las figuras 22 y 23. Una persona que dormía en el sótano falleció. La superestructura lucía tener daños moderados, pero requería demolición.

Edificio Success

Edificio comercial de 3 plantas. Sólo pudo apreciarse su fachada, la cual muestra paredes de bloques muy agrietadas en el primer piso. Al igual que otros edificios comerciales, aparenta ser un buen ejemplo de primer piso débil debido a la necesidad de tener fachada comercial.

Edificio Antiguo

A un bloque del Banco de Reserva se observó este edificio de una planta con paredes de ladrillos y techo de madera. Parte del techo colapsó, y en la Figura 24, se aprecia el daño en los ladrillos. Es un ejemplo de edificio de principios de siglo pasado.

RECOMENDACIONES

Se puede apreciar que la mayoría de los daños ocurrieron en paredes de bloques con o sin refuerzo y en columnas y vigas de hormigón armado. A partir de los daños observados en las escuelas y los edificios comerciales se pueden hacer las siguientes recomendaciones.

1. Debe evitarse la escasez de resistencia a carga lateral en el primer piso, el cual usualmente tiene que resistir fuerzas cortantes altas. Este problema comúnmente se conoce como piso débil.
2. Debe evitarse construir doble losa a nivel de piso. El peso adicional obliga a tener elementos estructurales verticales mucho más resistentes y con mayor capacidad de deformación.
3. Debe evitarse a toda costa la ausencia de aros en las columnas y en las conexiones con la viga.
4. Debe evitarse construir vigas fuera de plano con la columna, o al menos debe proveer formas de transferir adecuadamente las fuerzas de la viga a la columna.
5. Deben diseñarse las columnas para la fuerza cortante máxima esperada tomando en consideración el posible efecto de columna corta provocado por las paredes de bloques adyacentes.
6. Debe controlarse el tamaño máximo del agregado.

AGRADECIMIENTOS

Reconocemos el apoyo económico de la Oficina del Comisionado de Seguros de Puerto Rico, del Programa de Movimientos Fuertes de Puerto Rico y del Departamento de Ingeniería Civil del Recinto Universitario de Mayagüez de la Universidad de Puerto Rico. Igualmente agradecemos el excelente apoyo de los ingenieros del CODIA en Puerto Plata. Además tuvimos apoyo de la comisión de terremotos de Puerto Rico y del INTEC.

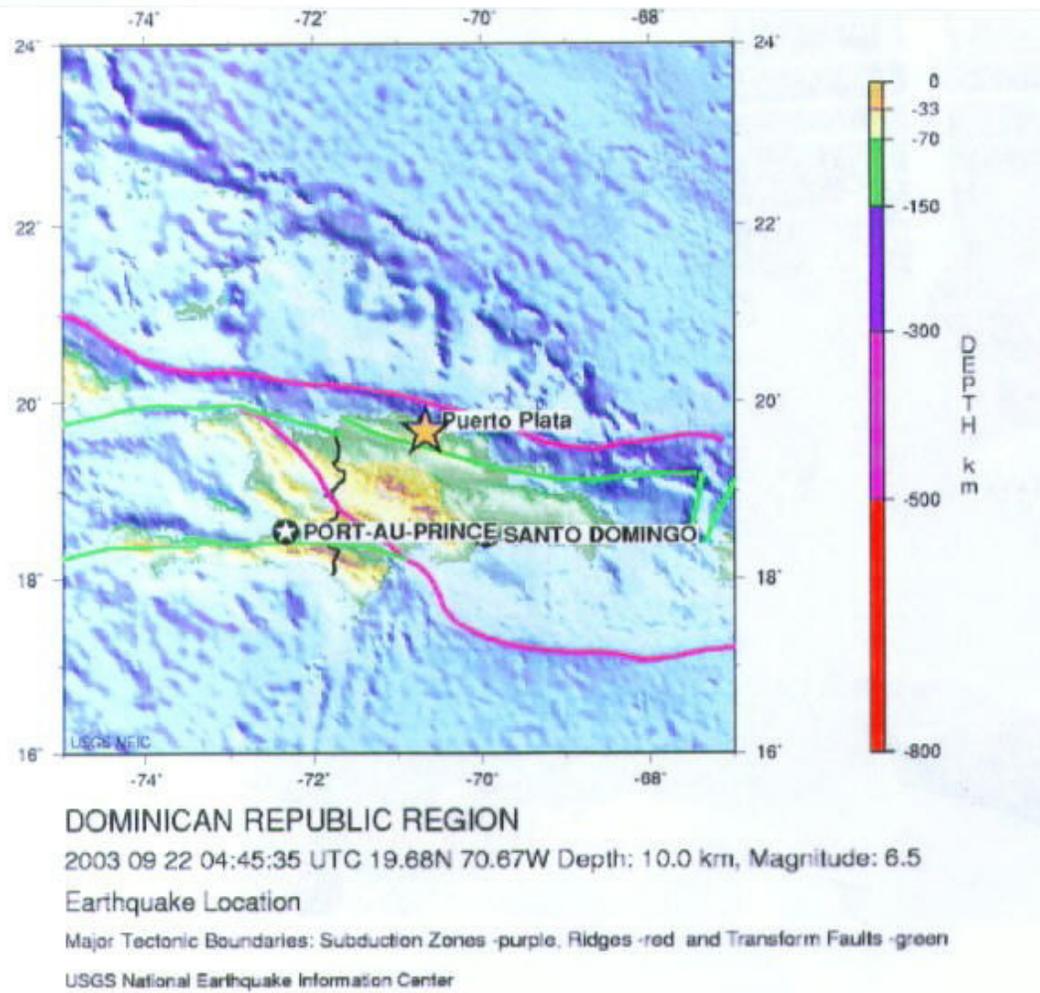


Figura 1: Fallas sísmicas en República Dominicana.



Figura 2: Escuela Reforma - vista general.



Figura 3: Escuela Reforma, piso colapsado.



Figura 4: Escuela Reforma – doble losa.



Figura 5: Escuela Reforma, falta de aros, conexión viga-columna.



Figura 6: Escuela Reforma, techo colapsado.



Figura 7: Liceo José Dubeau, vista general.



Figura 8: Liceo José Dubeau, parte colapsada.



Figura 9: Liceo José Dubeau, acercamiento mostrando falta de apoyo de techo.



Figura 10: Liceo José Dubeau, acercamiento mostrando viga de bloques.



Figura 11: Liceo José Dubeau, deterioro de conexión viga-columna.



Figura 12: Escuela San Marcos, daños en columnas.



Figura 13: Escuela Los Domínguez, problema de columna corta.



Figura 14: Escuela Concepción Gómez, daños en paredes de bloques, dirección longitudinal.



Figura 15: Seguros Pepín, vista general.



Figura 16: Seguros Pepín, columna dañada.



Figura 17: Ferretería las Flores, colapso primer piso.



Figura 18: Banco de Reserva, 2do piso colapsado.



Figura 19: Centro Artesanal, grietas en fachada.



Figura 20: Centro Artesanal, grieta en viga central.



Figura 21: Centro Artesanal, deterioro de columna.



Figura 22: Motel Los Platanitos, vista general.



Figura 23: Motel Los Platanitos, vista lateral derecha.



Figura 24: Edificio antiguo, vista general.