

Evaluación de Edificios Públicos para determinar su Vulnerabilidad ante Eventos Sísmicos

Jorge L. González Amaya
Ingeniería Civil
Dr. Gustavo Pacheco-Crosetti
Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — Este proyecto consistió en inspeccionar tres edificios públicos, para evaluar su vulnerabilidad ante un evento de sismo. La metodología que se usó en este proyecto consistió, en primer lugar, en la revisión del reporte de FEMA llamado “Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards”. En segundo lugar se seleccionaron los tres casos de estudio, se pidió permiso, y se buscaron los planos estructurales y datos relevantes del diseño y el sitio. Entonces se procedió a la inspección visual del exterior e interior del edificio, tomando los datos por medio de fotografías y anotaciones del tipo de material de construcción, además se buscó si el edificio tenía alguna grieta o deformación que ayude a ver de qué manera se comporta el edificio. Por último se buscó la calificación a cada edificio y se dieron las recomendaciones pertinentes, siguiendo los lineamientos del reporte de FEMA antes citado.

Palabras Claves — Clasificación, Eventos de Sismo, FEMA 154, Recomendaciones.

INTRODUCCIÓN

Puerto Rico, al igual que en otros lugares del mundo, está propenso a tener un terremoto. Puerto Rico ha tenido 4 terremotos importantes desde 1670, siendo el último en el 1918. Un estudio de vulnerabilidad sísmica realizado por el Dr. William McCann en 1987 arrojó una probabilidad de 33 a 50% de un sismo de intensidad fuerte (Intensidad VII o más en la escala Mercalli Modificada) para diferentes partes de la isla para un período de 50 años. [1]

Un estudio del 2003 del Servicio Geológico de los Estados Unidos reveló que el área Oeste-Suroeste de Puerto Rico es el más vulnerable a

terremotos, como se muestra en la Figura 1 [1]. Esto es sin tomar en consideración peligros secundarios como los maremotos, licuación y amplificación de onda sísmica que afectan más las zonas costeras bajas y los deslizamientos que se pueden generar en la zona montañosa. [1] En la Figura 2 se presentan los sismos recientes que se han sentido en el área del Caribe. [2]

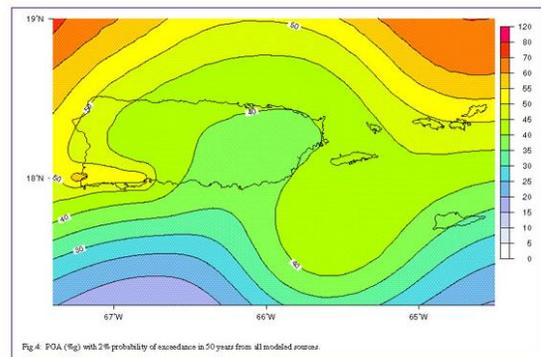


Figura 1

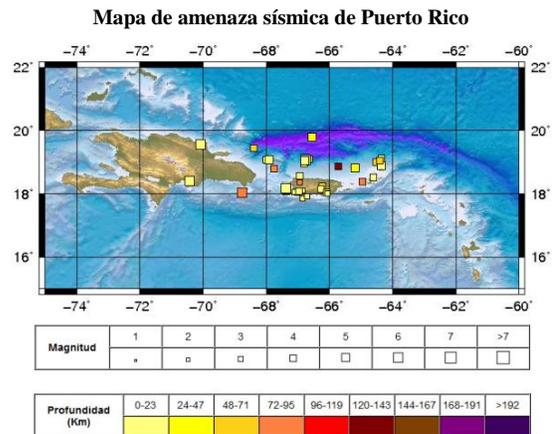


Figura 2

Mapa donde ocurrieron Sismos en el área del Caribe

Estos datos demuestran que Puerto Rico está en una zona de alta sismicidad, con una actividad sísmica permanente que justifica y sustenta la importancia de hacer estudios de vulnerabilidad sísmica.

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN Y EVALUACIÓN

La Agencia Federal de Manejo de Emergencia (FEMA pos sus siglas en inglés) desarrolló el reporte FEMA 154 --“Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazards”, 2^{nda} edición, año 2002. Este reporte describe el proceso de cómo el ingeniero en las agencias gubernamentales o en la administración de cualquier edificio, debe realizar la inspección del mismo para evaluar su vulnerabilidad ante un evento de sismo. Este reporte describe los tipos de edificios que pueden existir, tales como edificios construidos en acero, en hormigón armado, en madera o edificios que se construyen con acero y hormigón. El libro describe los pasos a seguir a la hora de realizar la inspección; estos se pueden resumir en:

- Identificar si es una región de baja, moderada o alta en sismicidad.
- Verificar el número de pisos que tiene el edificio y la altura máxima de la estructura.
- Averiguar el año en que fue construido el edificio, para ver si el mismo fue diseñado y construido antes de que los códigos sísmicos actualizados entraran en vigor. Aunque según el reporte de FEMA el código para sismo cambió en el 1976, pero en Puerto Rico entró en vigor el código de construcción con las especificaciones de diseño para sismo 1987. Pevio a esta normativa, para efectos de diseño de sismo era práctica común utilizar los registros de El Centro, en California, para cotejar los diseños estructurales; luego, al principio de la década de los 80', se recomendó que se utilizara el componente horizontal S69E del registro de Taft obtenido el 25 de julio de 1952.[3]
- Verificar el área total del edificio, sacándolo de los planos.
- Realizar un dibujo de planta y/o de elevación del edificio, en caso que no se puedan conseguir los planos.
- Determinar el tipo de suelo del solar donde se encuentra el edificio. Si este dato no se puede conseguir específicamente, el reporte indica que se adopte el suelo tipo D como estándar.
- Determinar la ocupación del edificio y la cantidad de persona que ocupan el mismo.
- Identificar elementos no-estructurales que puedan ser peligrosos si se caen durante un evento de sismo.
- Identificar el tipo de edificio que es, determinando el sistema estructural que resiste las cargas laterales. Los diferentes tipos de edificio según el FEMA 154 son:
 - W1 – Edificios construidos con madera liviana menores a 5,000 pies cuadrados. Normalmente son residencias o comercios pequeños.
 - W2 – Edificios construidos con maderas livianas mayores a 5,000 pies cuadrados. Son utilizados para comercios o centros comerciales.
 - S1 – Edificios construidos en acero con pórtico resistente a momento.
 - S2 – Edificios arriostrados de acero o “Braced steel frame.”
 - S3 – Edificios construidos con metal liviano.
 - S4 – Edificios construidos con pórticos de acero con paredes de concreto que son colocadas en sitios que resisten cortantes.
 - S5 – Edificios construidos con pórticos en acero con paredes sin refuerzos hechas en mampostería.
 - C1 – Edificios construidos con pórticos de concreto resistentes a momento.
 - C2 – Edificios construidos con paredes en concreto que resisten cortantes.
 - C3 – Edificios construidos con pórticos de concreto con paredes rellenas de mampostería sin refuerzos.
 - PC1 – “Tilt-up Buildings”.
 - PC2 – Edificios construidos con pórticos de concreto prefabricado.

- RM1 – Edificios construidos con mampostería reforzada con un diafragma flexible.
- URM – Edificios construidos con mampostería sin reforzar.
- Inspección del interior y exterior del edificio: el tipo de inspección visual consiste en tomar fotografías a la parte interior y exterior del edificio para identificar de qué tipo de material fue construido el edificio y el tipo de edificio. En las inspecciones que se realizan además se busca algún tipo de daño que pueda tener la estructura, por ejemplo un daño de una grieta por cortante en columnas de hormigón puede ayudar a identificar el comportamiento del edificio y por lo tanto ayuda a identificar si es un C1 o C2, pero estos daños, según el reporte de FEMA, no afectan en la calificación que es una preliminar para evaluar si el edificio se puede considerar vulnerable a un evento de sismo. Además la inspección ayuda a ver si el edificio tiene algún tipo de condición estructural, como por ejemplo el efecto de columna corta o el efecto de pisos débiles, que son efectos que pueden afectar el edificio en un evento de sismo.
- Identificar cuáles son los atributos sísmicos del edificio, por ejemplo identificar si el edificio es uno que tenga de 4 a 7 pisos, si tiene 8 o más pisos o si el edificio está construido con irregularidades verticales. Identificar si el edificio tiene irregularidades en planta, por ejemplo si está construido en forma de L, en forma de T, en forma de U, etc.
- Verificar si el edificio está construido antes o después de que los códigos de construcción fueran mejorados para resistir un evento de sismo.
- Para cada criterio antes mencionado se asigna una puntuación para así determinar la puntuación final.

El proceso de evaluación utilizando el reporte FEMA 154 consistió en verificar si los edificios

seleccionados se pueden considerar preliminarmente vulnerables o no a un evento de sismo. Los datos obtenidos se entraron al programa ROVER, que fue desarrollado por FEMA y que ayuda a dar una calificación de una manera más rápida y precisa a cada edificio. El proceso de evaluación puede hacerse a mano o utilizando el programa.

La escala de calificación va de 0.0 a 6.8; dependiendo el tipo de edificio y de la calificación obtenida es que se dan las recomendaciones. Según el reporte de FEMA todo a edificio que obtenga una calificación igual o menor a 2 se debe recomendar que sea inspeccionado y evaluado por un Ingeniero Estructural especializado en diseño de sismo.

INSPECCIÓN Y ANÁLISIS POR EL PROGRAMA ROVER

Para la realización de este proyecto, se estableció un procedimiento o un itinerario para así poder realizar el mismo de una manera eficiente. En primer lugar se escogió qué tipos de edificio serían inspeccionados: los edificios elegidos fueron un edificio que es utilizado como escuela pública, un edificio de salud pública y un edificio de oficinas públicas. Se tomó la decisión de inspeccionar la Escuela Secundaria Rafael Martínez Nadal en Guaynabo como edificio de escuela pública, uno de los CDT de San Juan llamado Dr. Gualberto Rabell como edificio de salud pública y la torre norte del Centro Gubernamental Roberto Sánchez Vilella, mejor conocido como el Centro Gubernamental Minillas como edificio de oficinas públicas.

Escuela Rafael Martínez Nadal

En primer lugar se inspeccionó la Escuela Rafael Martínez Nadal en Guaynabo, cuya localización se muestra en la Figura 3 [4].

Se obtuvo el permiso y los datos, entrevistando a la Sra. María Alma Romero Jackson, directora de la escuela. Los datos son los siguientes:

- Nombre del Edificio: Escuela Rafael Martínez Nadal.

- Dirección: Barrio Piedras Blancas, Calle Román Murga, Guaynabo, PR 00971.
- Latitud: 18.355675 N.
- Longitud: 66.10936389 W.
- Número de Pisos: 4 pisos.
- Año en que fue construido: 1974, construido antes del que código cambiara.
- Área total de piso (ft²): 30,938 ft².
- Uso: Escuela Intermedia.
- Ocupación: Escuela.
- Número de personas en el edificio diariamente: 101 – 1000.

- Planos: En las Figuras 4 y 5 se puede observar la vista de planta y la vista de elevación del edificio de la Escuela Rafael Martínez Nadal.

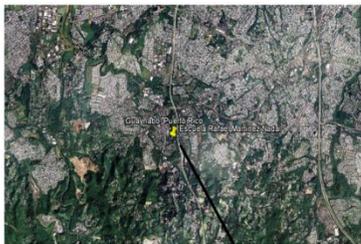


Figura 3

Foto aérea de la localización de la Escuela

Inspección y Evaluación:

- Tipo de Suelo: Se adoptó el suelo tipo D ya que en el reporte indica que se adopte el mismo como suelo estándar si no se obtiene este dato específico.
- Elementos no-estructurales con riesgo a caerse: Parapetos y “Cladding”, son elementos que normalmente se añaden para adorno y los mismos pueden ser peligrosos durante un evento de sismo si estos no están bien anclados o soportados.
- Tipo de Edificio: C1- Edificio construido con pórticos de concreto resistente al momento.
- Irregularidad vertical ya que tiene una parte que tiene 3 niveles y otra parte tiene 2 niveles con un sótano. Irregularidad de planta ya que el edificio tiene un patio central.

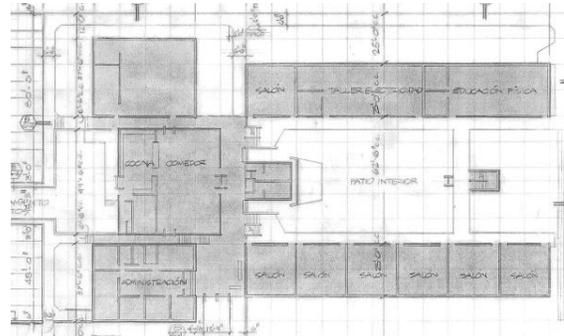


Figura 4

Vista de Planta de la Escuela

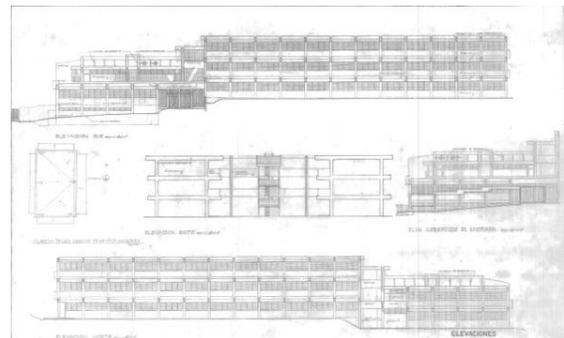


Figura 5

Vista de Elevación de la Escuela

- Fotos: en la Figura 6 se puede observar el tipo de material utilizado para la construcción del edificio. En la Figura 7 se puede observar la elevación del edificio y el posible efecto de columna corta que se explica en las recomendaciones.



Figura 6

Viga de concreto tomada en el Sótano de la escuela donde se encuentra la Biblioteca para determinar que es un Edificio

C1

- Dirección: Calle Cerra Final Parada 15 #900 Santurce, PR, 00928
 - Latitud: 18.4473222 N
 - Longitud: 66.082267 W
 - Número de Pisos: 2 pisos
 - Año en que fue construido: 1985, construido antes de que el código entrara en vigor en Puerto Rico que fue para el año 1987.
 - Área total de piso (ft²): 113,680 ft²
 - Uso: Centro de Salud, CDT
 - Ocupación: Servicios de Emergencias
 - Número de personas en el edificio diariamente: 101 – 1000.
- Inspección y Evaluación:
- Tipo de Suelo: Tipo D, se adoptó el suelo tipo D ya que no se obtuvo este dato específico.
 - Elementos estructurales con riesgo a caerse: Parapetos y “Cladding”. En este caso son elementos no-estructurales que se utilizan para adorno.
 - Tipo de Edificio: C1- Edificio construido con pórticos de concreto resistente al momento.
 - Planos: en la Figura 11 se puede observar la vista de planta.

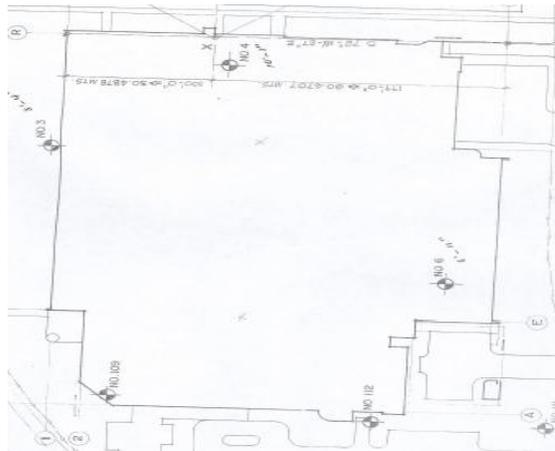


Figura 11
Vista de Planta, CDT Dr. Gualberto Rabell

- Fotos: en la Figura 12 se puede observar la elevación del edificio y se puede observar el posible efecto de columna corta y en la Figura 13 se observa una viga para determinar de qué material fue construido el edificio.



Figura 12

Foto donde se puede observar la Elevación del Edificio



Figura 13

Foto donde se puede observar que es un Edificio hecho en Hormigón o Concreto

- Hoja de Colección de Datos:
En la Figura 14 se puede observar la hoja de colección de datos del CDT.

**Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Risk
FEMA-154 Data Collection Form HIGH Seismicity**

Address: Calle Cerra Final Parada 15 9900
City: 00928
CDM Identifiers:
No. Stories: 2
Year Built: 1985
Screening #: 1
Date: None
Total Floor Area (sq. ft.): 113680
Building Name: Dr. Gualberto Rabell
Use: None

Occupancy: Office, Number of Persons: 11-1000
Soil Type: A, B, C, D, E, F, P
Falling Hazard: Unreinforced Claymasonry, Parapets, Cladding

Building Type	Basic Scores, Modifiers, and Final Score, S									
	W1	W2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3
Basic Score	4.4	3.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
High Rise(+7 stories)	NA	NA	0.2	0.4	NA	0.4	0.4	0.4	0.2	NA
Vertical Irregularity	-3.5	-2.0	-1.0	-1.5	NA	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	NA
Plan Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Post-Code	0.0	-1.0	-1.0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-1.0	-1.0	-0.5
Post-Benchmark	2.4	2.4	1.4	1.4	NA	1.4	1.4	2.4	NA	2.4
Soil Type C	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4
Soil Type D	0.0	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Soil Type E	0.0	-0.5	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Final Score	1.1									

Comments: None

Prepared by: [Name]

Figura 14

Hoja de Colección de Datos, CDT Dr. Gualberto Rabell

- Resultado de la evaluación:

La clasificación que obtuvo el edificio del CDT Dr. Gualberto Rabell es de 1.1, se obtuvo esta clasificación, debido a que este edificio fue construido en el 1985 (considerando que el código de hormigón revisado para sismo fue implementado en el 1987 en Puerto Rico), y debido al tipo de suelo donde fue construido el mismo que es uno tipo D (ya que no se pudo conseguir el suelo específico). Por lo tanto una evaluación detallada es requerida, ya que este edificio podría ser vulnerable ante un evento de sismo.

Además el ingeniero estructural debe verificar exhaustivamente el edificio ya que el mismo puede fallar por el efecto de columna corta. (Figura 12).

Centro Gubernamental Roberto Sánchez Vilella, Torre Norte

En tercer lugar se inspeccionó el Centro Gubernamental Roberto Sánchez Vilella en San Juan, mejor conocido como Centro Gubernamental Minillas, en específico la Torre Norte, cuya localización se muestra en la Figura 15 [4].



Figura 15

Foto aérea de la localización de la Torre Norte del Centro Gubernamental Minillas

Se obtuvo el permiso y los siguientes datos entrevistando a la Arquitecta Astrid Díaz subdirectora de la Autoridad de Edificios Públicos. Los datos son los siguientes:

- Nombre del Edificio: Centro Gubernamental Roberto Sánchez Vilella, Torre Norte.

- Dirección: Avenida José de Diego, Pda. 22, Centro Gubernamental Minillas, Santurce, PR, 00940.
- Latitud: 18.44949444 N.
- Longitud: 66.06706944 W.
- Número de Pisos: 18 pisos.
- Año en que fue construido: 1973, construido antes del que código cambiara.
- Área total de piso (ft²): 21,168 ft².
- Uso: Oficinas de Agencias Gubernamentales.
- Ocupación: Oficinas.
- Número de personas en el edificio diariamente: 1000+.

Inspección y Evaluación:

- Tipo de Suelo: Se adoptó el suelo tipo D ya que no se obtuvo este dato específico.
- Elementos estructurales con riesgo a caerse: Parapetos y “Cladding.” En este caso son elementos no-estructurales que se utilizan para adorno.
- Tipo de Edificio: C1- Edificio construido con pórticos de concreto resistente al momento y C2- Edificios construidos con paredes en concreto que resisten cortantes. Se tomaron en consideración ambos tipos ya que en el edificio hay paredes en el centro que pueden ayudar a la resistencia del edificio en caso de un sismo.
- Planos: los Figuras 16 y 17 muestran la vista de planta y la vista de elevación.

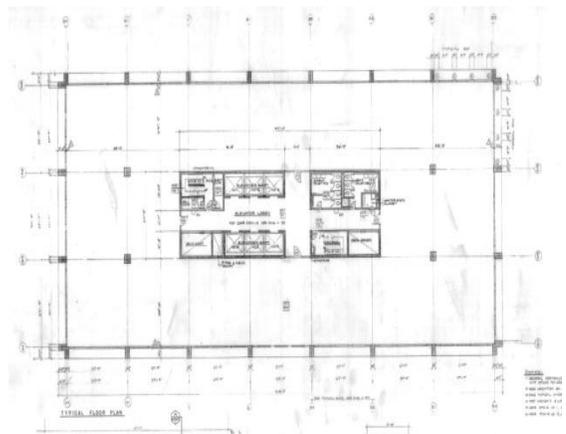


Figura 16

Vista de Planta del Centro Gubernamental Minillas

Tabla 1
Resultados

Edificio	Clasificación
Escuela Rafael Martínez Nadal	0.0
CDT Dr. Gualberto Rabell	1.1
Centro Gubernamental Minillas Torre Norte evaluado como C1	1.3
Centro Gubernamental Minillas Torre Norte evaluado como C2	2.0

Luego de terminado el análisis y de haber obtenido las clasificaciones, se pasa entonces a dar las recomendaciones de acuerdo al reporte 154 de FEMA. El reporte al momento de dar recomendaciones por la clasificación obtenida dice lo siguiente: que los edificios según la clasificación obtenida se deben dividir en dos categorías, edificios que son aceptables para soportar un evento de sismo y edificios que pueden ser peligrosos en un evento de sismo y deben ser estudiados o inspeccionados de una manera más exhaustiva. Un clasificación de 2 o menos sugiere que se realice una inspección rigurosa al edificio por un Ingeniero Profesional especializado en diseño estructural y con experiencia en diseño para sismos.

Según los resultados obtenidos las recomendaciones son las siguientes; la Escuela Rafael Martínez Nadal debe ser inspeccionada por un Ingeniero Estructural especializado en sismos para así recomendar que tipos de mejoras se puedan realizar a la estructura y ver si es necesario reforzar o cambiar para así evitar el efecto de columna corta, ya que el edificio obtuvo un clasificación de 0.0.

El edificio del CDT Dr. Gualberto Rabell también debe ser inspeccionada por un Ingeniero Estructural especializado en sismos para así recomendar que tipos de mejoras se puedan realizar a la estructura y ver si es necesario reforzar o cambiar para así evitar el efecto de columna corta, ya que el mismo obtuvo un clasificación de 1.1.

El edificio del Centro Gubernamental Roberto Sánchez Vilella mejor conocido como Centro Gubernamental Minillas, en específico la Torre Norte, también debe ser inspeccionada por un Ingeniero Estructural especializado en sismos para

así poder recomendar qué tipos de mejoras se pueden realizar a la estructura, ya que el mismo obtuvo una clasificación de 1.3 cuando se consideró un tipo C1 y una clasificación de 2.0 cuando se consideró un tipo C2.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que toda persona que utilice este reporte para evaluar algún edificio, estudie además en que año y cuáles fueron los códigos o parámetros que se utilizaron en Puerto Rico a la hora de diseñar y construir el edificio y que los mismos cumplan con dichos requerimientos para un evento de sismo.

Se recomienda al inspector o ingeniero que realice la inspección que antes de inspeccionar el edificio se asegure que tenga todos los datos pertinentes para poder efectuar el análisis en el programa o a mano, ya que en uno de los edificios fue necesario buscar el dato del área total del edificio, del en el permiso de bomberos.

REFERENCIAS

- [1] *Información sísmica*, (visitado en Feb. 23, 2012), <http://www.redsismica.uprm.edu/Spanish/informacion/sisnotas_predic.php>
- [2] *Sismos sentidos más recientes*, (visitado en Feb. 23, 2012), <http://redsismica.uprm.edu/Spanish/php/CatalogS/Felts.php>.
- [3] Irizarry, Martínez, Pórtela. *Espectros de diseño para las ciudades principales de Puerto Rico basado en registros de aceleración mundiales*, (visitado en Abril 15, 2012), <<http://academic.uprm.edu/laccei/index.php/RIDNAIC/articulate/viewFile/25/21>>.
- [4] Google Earth.
- [5] Dr. Aguiar, Marco, Miranda, Sosa, Trujillo. *Aisladores elastoméricos en estructuras con columna corta*, <http://publiespe.espe.edu.ec/articulos/ing_estructural/Articulo6_Columna_Corta.pdf>. (Visitado en Abril 15, 2012)