

MEJORAS A LA RED SÍSMICA DE MOVIMIENTO FUERTE A RAÍZ DE LOS HURACANES IRMA Y MARÍA Y DE LA SECUENCIA SÍSMICA¹

José A. Martínez Cruzado²

RESUMEN: El Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico (PRSMF) cuenta con 114 estaciones sísmicas de movimiento fuerte y 21 estructuras sísmicamente instrumentadas en cinco (5) países. El presente artículo describe cómo el PRSMF se ha ido recuperando de los efectos devastadores del Huracán María para convertirse en una Red de Movimiento Fuerte mucho más robusta en términos de la instrumentación con el 100% de las grabadoras en la Isla con tecnología reciente, en términos de la energía con 48/90 (53%) de las estaciones a campo libre en la Isla con sistemas fotovoltaico, y en términos de las comunicaciones con 51/90 (57%) enviando datos a tiempo real y el desarrollo de dos centros de datos. Además, la Secuencia Sísmica del suroeste de la Isla, cuyo terremoto principal ocurrió el 7 de enero de 2020, ha tenido como consecuencia una proyectada densificación de la red en términos de estaciones, y el mejoramiento de las comunicaciones en esa zona que cubre desde Ponce hasta Mayagüez.

Palabras clave: huracán María, movimiento fuerte, red sísmica, secuencia sísmica

IMPROVEMENTS TO THE STRONG MOTION SEISMIC NETWORK FOLLOWING HURRICANES IRMA AND MARIA AND THE SEISMIC SEQUENCE

ABSTRACT: The Puerto Rico Strong Motion Program (PRSMF) has 114 strong motion stations and 21 seismically instrumented structures in five (5) countries. This paper explains how the PRSMF has been able to recover from the detrimental effects of Hurricane María to become a more robust, strong motion network in terms of instrumentation with 100% of the data loggers with recent technology, in terms of energy with 48/90 (53%) of the free field stations in the Island with photovoltaic systems, and in terms of communication with 51/90 (57%) transmitting its data real time and developing two data centers. In addition, the southwest Seismic Sequence, with its main event on January 7, 2020, has allowed the increment of strong motion stations and the improvement of its communication in the region that covers from Ponce to Mayagüez.

Keywords: hurricane María, strong motion, seismic network, seismic sequence

INTRODUCCIÓN

El Programa de Movimiento Fuerte de Puerto Rico (PRSMF), bajo el Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez (UPRM) es la red sísmica encargada de registrar terremotos de alta intensidad. Mientras la Red Sísmica de Puerto Rico (PRSN), bajo el Departamento de Geología de la Universidad de Puerto Rico en Mayagüez, estudia primordialmente el latido de La Tierra; localizando el foco de los sismos, mecanismo de falla, tiempo de origen, localizando fallas sísmicas, definiendo los límites de las placas tectónicas, su velocidad y dirección de movimiento, entre otros, el PRSMF se interesa en los terremotos capaces de derribar estructuras como casas, edificios, puentes, represas, entre otros. Por tal motivo, parte de las tareas del PRSMF es instrumentar sísmicamente estas estructuras y estudiar su comportamiento ante los eventos telúricos de alta intensidad.

Tanto el PRSMF como el PRSN fueron severamente afectados por los Huracanes Irma y María en Septiembre de 2017 cuando toda la Isla quedó a oscuras e incomunicada. Solo una estación sísmica de movimiento fuerte se mantuvo transmitiendo gracias a que la planta eléctrica en la zona de la estación se encendió de forma automática, mientras que solo la instrumentación sísmica de la Represa Carite en Guayama se mantuvo en funcionamiento gracias al sistema fotovoltaico que se le había instalado. 84 de las 85 estaciones que, de una forma u otra, transmitían información a tiempo real o cuasi real quedaron incomunicadas.

¹ Artículo recibido el 20 de noviembre de 2020 y aceptado para publicación el 21 de diciembre de 2020.

² Catedrático, Departamento de Ingeniería Civil y Agrimensura, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez, Puerto Rico 00681-9041. Email: jose.martinez44@upr.edu

Dado que el año fiscal federal se completaba el 30 de septiembre, el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América (USGS) solicitó una propuesta rápida para la recuperación. La Dra. E. Vanacore preparó dicha propuesta suponiendo que absolutamente toda la instrumentación sísmica, tanto de la PRSN como del PRSMP y otras entidades, había que echarla a pérdida total, resultando una propuesta de casi ocho (8) millones de dólares.

El USGS juntó la propuesta escrita por la Dra. Vanacore con las propuestas ya preparadas para la recuperación de la instrumentación averiada por el Huracán Harvey en el estado de Texas para la recuperación de la instrumentación perdida por el Huracán Irma en el estado de Florida, y la instrumentación echada a perder por los fuegos en el estado de California, formando una propuesta de 42.2 millones de dólares que fue eventualmente aprobada por el Congreso de los Estados Unidos y firmada por el Presidente el 9 de febrero de 2018 como el “Bipartisan Budget Act of 2018” (HR 1892).

A principios del mes de abril de 2018, personal del USGS viajó a Puerto Rico para reunirse con personal de la PRSN y del PRSMP para determinar las prioridades y la forma más juiciosa de utilizar los fondos asignados. Para ese entonces ya el personal del PRSMP había visitado prácticamente todas sus estaciones sísmicas en Puerto Rico e Islas Vírgenes Británicas (BVI) y había encontrado que aproximadamente el 10% de la instrumentación sísmica dentro de Puerto Rico había quedado inservible mientras que el 100% de la instrumentación sísmica en BVI se había destrozado.

El 2 de Octubre de 2017, el personal del PRSMP inició las visitas a las estaciones sísmicas para determinar su estado. El 22 de noviembre de 2017, se reportaron los daños que los huracanes le habían provocado a las estaciones del PRSMP dentro de Puerto Rico, y se sometió un informe a la administración del RUM que concedió todos los fondos necesarios para la recuperación. Durante el mes de febrero de 2018, se realizó una visita de reconocimiento en BVI donde se evaluaron todas las estaciones sísmicas de movimiento fuerte y las dos estructuras instrumentadas. Inmediatamente se sometió el informe de pérdidas, y nuevamente la administración del RUM proveyó los fondos para reponer todas las pérdidas. El Huracán Irma había pasado sobre BVI el 6 de septiembre de 2017 con vientos sostenidos de 185 mph.

REEMPLAZO DE GRABADORAS SÍSMICAS

Aprobados los fondos del USGS, se decidió reemplazar absolutamente todas las grabadoras ETNA’s existentes ya que las mismas llevaban más de 20 años en el mercado y, por unos ajustes en la red satelital mundial, estaban por perder su capacidad de comunicarse con los satélites, así que estas estaciones sísmicas no tendrían más su hora sincronizada, perdiendo su capacidad de red. De modo que se ordenaron dos grabadoras Obsidianas 8X, 54 grabadoras Obsidianas 4X, y 23 grabadoras ETNA2 para un total de 79 grabadoras para las estaciones de campo libre. Cada Obsidiana incluía un “Episensor triaxial” externo para un total de 56. En el caso de las estructuras sísmicamente instrumentadas, ya el PRSMP llevaba varios años sustituyendo grabadoras que ya no estaban recibiendo el soporte de la compañía matriz “Kinometrics Inc.”, por lo que la orden de grabadoras por parte del USGS para las mini redes en las estructuras se redujo a 17 grabadoras Obsidianas 12X, dos Obsidianas 8X, dos Obsidianas 4X y un ETNA2 para un total de 22 grabadoras, y 60 sensores uniaxiales. Al día de hoy, todas las grabadoras de las estaciones a campo libre se han instalado con excepción de la que corresponde a la de campo libre de la Represa Lucchetti en el municipio de Yauco.

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PARA LAS ESTACIONES SÍSMICAS

El cambio de grabadoras representa la primera parte del proyecto con el USGS. Como segunda parte, se decidió instalar un sistema fotovoltaico a múltiples estaciones sísmicas a campo libre y a varias estructuras instrumentadas pues, luego de pasar meses sin que muchos sectores de Puerto Rico permanecieran sin corriente eléctrica, era obvio lo débil del sistema eléctrico del país y el PRSMP no podía darse el lujo de depender de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE) para suplirle energía a las estaciones. A pesar de que las estaciones sísmicas siempre cuentan con una batería que puede trabajar por un par de días, el hecho de que se vaya la energía eléctrica frecuentemente debilita significativamente la batería, la cual al drenarse daña la grabadora, lo que resulta en gastos onerosos para el PRSMP. Para la selección de estaciones sísmicas a las que se les instalaría el sistema fotovoltaico, se tomó en consideración que a casi todos los parques de bomba se les instaló una planta eléctrica que, durante los meses de oscuridad, usualmente trabajaba por doce (12) horas y se mantenía otras doce (12) horas apagadas. Hoy día, casi todos los parques

de bomba poseen su planta eléctrica, y por otro lado, a varios de ellos se les instalaron sistemas fotovoltaicos que suplen toda la electricidad que necesitan. De modo que se le otorgó prioridad a las estaciones sísmicas que no estuvieran localizadas en parques de bomba, primordialmente a aquellas localizadas en propiedades de la Iglesia Católica tanto en la Diócesis de Ponce como en la de Mayagüez. Al momento de escribir este artículo, 48 estaciones a campo libre tienen instalado un sistema fotovoltaico. En el caso de las estructuras hoy en día, son seis (6) las represas que tienen instalado el sistema fotovoltaico. A saber, las represas de Lucchetti en Yauco, Guayabal en Juana Díaz, Guajataca en San Sebastián, Carite en Guayama, el aliviadero de la represa Patillas, y la represa de Coamo.

Se debe señalar que personal del USGS visitó la Isla de Puerto Rico cuatro veces, antes de que ocurriera el encierro por la pandemia del COVID-19 en marzo de 2020, para colaborar con el pequeño grupo de trabajo del PRSMP a realizar los cambios de las grabadoras y las instalaciones de sistemas fotovoltaicos tanto en estaciones a campo abierto como en alguna que otra estructura. Al día de hoy, falta media docena de estructuras por atender. Es menester indicar que, dada la proliferación de actos de corrupción por parte de miembros del Gobierno de Puerto Rico en las diversas esferas y la crasa incapacidad de manejar apropiadamente los fondos federales, el USGS decidió manejar los fondos del proyecto de modo que fue el USGS quien compró toda la instrumentación sísmica, equipos y materiales que fueron solicitados por el PRSMP, sufragó los gastos de su personal en viajar y quedarse en Puerto Rico por un periodo de dos (2) semanas cada vez que venían, y reembolsó cerca de dos (2) años del salario de algunos empleados del PRSMP. Esta situación simplificó grandemente la administración del proyecto al PRSMP, pues no hubo fondos que manejar.

COMUNICACIONES CON LAS ESTACIONES SÍSMICAS

Para complementar el proyecto, el PRSMP decidió establecer un contrato con la compañía CLARO para poder establecer comunicación con múltiples estaciones sísmicas. Primero que nada, el PRSMP modernizó totalmente su Centro de Datos Primarios con nuevas computadoras y servidores. CLARO creó una nube privada por medio de la cual el PRSMP seleccionó 54 estaciones sísmicas a las cuales se les instaló un “modem” celular, y por medio de la nube privada, se envían los datos al Centro de Datos Primarios en el edificio de Ingeniería Civil en el RUM. En principio, la selección de las estaciones para la instalación del “modem” celular se basó en (a) las doce estaciones prioritarias previamente seleccionadas (AG02, AR02, BY01, CBR2, CLB1, CYY1, GNC2, MNB2, MY10, SNI1, UTD2, y VQS2), (b) en las estaciones localizadas en Parques de Bomba (24), (c) en establecer comunicación con once (11) represas, y (d) otras siete (7) estaciones que incluyen las Oficinas Municipales de Manejo de Emergencias de Loíza, Caguas, Guánica, Lajas, y Vega Baja, y en las estaciones de la Catedral de Ponce y en la Oficina de Correo de Rincón. Por otro lado, hay 4 estaciones adicionales en Puerto Rico enviando datos a tiempo real por medio de la Internet (Dorado, Cataño, OMME de Bayamón y el Aeropuerto de Carolina). Fuera de Puerto Rico solo la estación de la Isla de Anguila envía sus datos a tiempo real por medio de la Internet.

Para propósito de tener redundancia en el almacenamiento de datos y hasta donde se pueda asegurarnos que ante una situación catastrófica el banco de datos del PRSMP se mantenga disponible al mundo en el exterior, el PRSMP decidió establecer un Centro de Datos Secundario de modo que, si por alguna razón el primario fallara, el secundario mantenga toda la información sísmica. Por tal motivo, se seleccionó un “Bunker” en la Finca Montaña en el municipio de Aguadilla. Esta finca está ubicada en terrenos que le pertenecieron a la desaparecida base militar Ramey. La finca de 1,099 cuerdas de terreno pertenece hoy día a la Universidad de Puerto Rico (UPR) y está siendo administrada por el Colegio de Ciencias Agrícolas del RUM. En la misma se corre el proyecto de Ganado Senepol. La finca es parte de la zona del karso, de modo que su suelo es bien competente desde el punto de vista estructural, no es susceptible a licuación ni a inundaciones y, a pesar de estar cerca de la costa, se halla a una altura considerable de modo que se considera fuera de peligro en caso de tsunamis. En la finca existen cerca de veinte (20) “bunkers”; el seleccionado era utilizado para el almacenamiento de bombas de hidrógeno por lo que contiene un mini “bunker” interno en donde se guardaban dichas bombas.

La Figura 1 muestra cómo lucía el “Bunker” inicialmente y su estado actual. A finales del mes de junio de 2018 el Decano del Colegio de Ciencias Agrícolas autorizó al PRSMP a utilizar dicho “Bunker” para los fines estipulados. La rehabilitación del “Bunker” ha incluido la limpieza, tanto interna como externa del mismo, la tala de árboles sobre el mismo, la restauración de la puerta principal que consta de dos (2) hojas de acero de cuatro (4) pulgadas de espesor, la remoción de la pintura interior pues contenía plomo, la pintura del mismo, tanto por dentro como por fuera, la

instalación de dos puertas protectoras del mini “bunker”; una de tola de acero y la otra de vidrio con marco de metal, la expansión de la losa de hormigón armado frente al “Bunker” para la posterior instalación de un sistema fotovoltaico que corra todo el sistema eléctrico, la instalación de ocho (8) postes de metal, como línea primaria para traerle la corriente eléctrica de la AEE, la instalación de todo el sistema eléctrico interno, la instalación de una planta eléctrica para que sirva de redundancia al sistema eléctrico y al sistema fotovoltaico. La instalación de acondicionadores de aire para mantener los servidores a una temperatura razonable y el rack donde se colocarán los servidores es lo próximo que se instalará. El sistema de computadoras y servidores que se ha obtenido es idéntico al instalado en el Centro de Datos Primario y se espera que esté en funcionamiento a finales del mes de enero de 2021.



Figura 1A: “Bunker” seleccionado para albergar el Centro de Datos Secundario del PRSMP (13/Jul/18).



Figura 1B: Estado del “Bunker” seleccionado avanzada la rehabilitación (24/Oct/19).

A este Centro de Datos Secundario, inicialmente llegará la información de las 54 estaciones sísmicas que transmiten por medio de modem celular y las estaciones que transmiten vía Internet pues ya la fibra óptica para esos menesteres ha sido instalada.

PROYECTO PARA MEJORAR EL MONITOREO SÍSMICO EN LA ZONA SUROESTE DE PUERTO RICO

Pasado el terremoto del 7 de enero de 2020, la PRSN sometió una propuesta a la Legislatura de Puerto Rico para mejorar el monitoreo sísmico de la región suroeste de Puerto Rico. Esta propuesta se convirtió en el Proyecto de la Cámara de Representantes R. C. de la C. 591 en el cual se solicitaban sobre \$315k para obtener once (11) sismógrafos de diversas capacidades, dos (2) estaciones geodésicas y tres (3) estaciones mareográficas. Eventualmente, el proyecto fue aprobado y debe estar completado en un periodo de un año. Sin embargo, la Junta de Control Fiscal aprobó medio millón de dólares para dicho proyecto. Para el uso de los fondos adicionales aprobados, el PRSMP sometió una propuesta a la PRSN titulada “Mejoramiento de la Captación y Transmisión de Datos de Movimiento Fuerte en la Zona Suroeste de Puerto Rico” la cual se divide en dos (2) partes. A saber, la primera parte consta de la instalación de siete (7) nuevas estaciones sísmicas de movimiento fuerte, mientras que la segunda parte consta del mejoramiento de la transmisión de datos de estaciones de movimiento fuerte en la micro red de la ciudad de Ponce y en la de Mayagüez. La propuesta fue aprobada.

En relación a la primera parte, se decidió seleccionar cuatro (4) lugares, lo más cercano a la costa suroeste, y pueblos en la región que al día de hoy carecen de estaciones sísmicas. Pegado a la costa, se seleccionó preliminarmente el Faro Los Morillos de Cabo Rojo; en La Parguera, Lajas, la Capilla de San Pedro; y en el barrio Tallaboa del Municipio de Peñuelas, la Central EcoEléctrica y la Parroquia Sagrado Corazón de Jesús. En cuanto a los cascos urbanos en que se instalarán estaciones, se seleccionó el Parque de Bombas en el Municipio de Sabana Grande, el Parque de Bombas en el Municipio de Peñuelas, y en Casa Pueblo en el Municipio de Adjuntas.



Figura 2: Mapa de estaciones de Movimiento Fuerte de Puerto Rico. Puntos amarillos representan estaciones con acelerómetros obsidiana. Puntos azules representan estaciones con acelerómetros ETNA2. Puntos blancos y rojos representan las siete nuevas estaciones propuestas.

En relación al proyecto de la transmisión de datos desde la Ciudad Señorial de Ponce, este se divide en cuatro (4) partes. En la primera parte, las estaciones de la Oficina Municipal de Manejo de Emergencias (PN01), del Convento de las Siervas de María (PN04) y de la Parroquia Santa María Reina (PN06), transmitirán por radio al Obispado de Ponce (PN03), desde donde se retransmitirá a la UPR-Ponce (PN13) que a su vez enviará la señal al RUM vía Internet. En la segunda parte, las estaciones de la planta de la Autoridad de Acueductos y Alcantarillado (AAA) (PN02), de la Parroquia del Carmen en la Playa de Ponce (PN05), de la Parroquia San José (PN07), de la Isla Caja de Muerto (PN09), de la Capilla de San Martín de Porres (PN11) y de la compañía de suelos Víctor Rivera y Asociados (PN12) enviarán su señal por radio al edificio del Centro Judicial de Ponce desde donde se retransmitirá a la UPR de Ponce y de ahí al RUM. En la parte tres (3), los datos sísmicos registrados en la Represa Cerrillos (D12M) serán transmitidos

por radio directamente a la UPR-Ponce mientras que en la cuarta parte del proyecto, las cinco estaciones localizadas en la Represa Portugués (D13M) enviarán sus respectivas señales al centro de mando de la represa desde donde se enviarán los datos al RUM vía Internet.

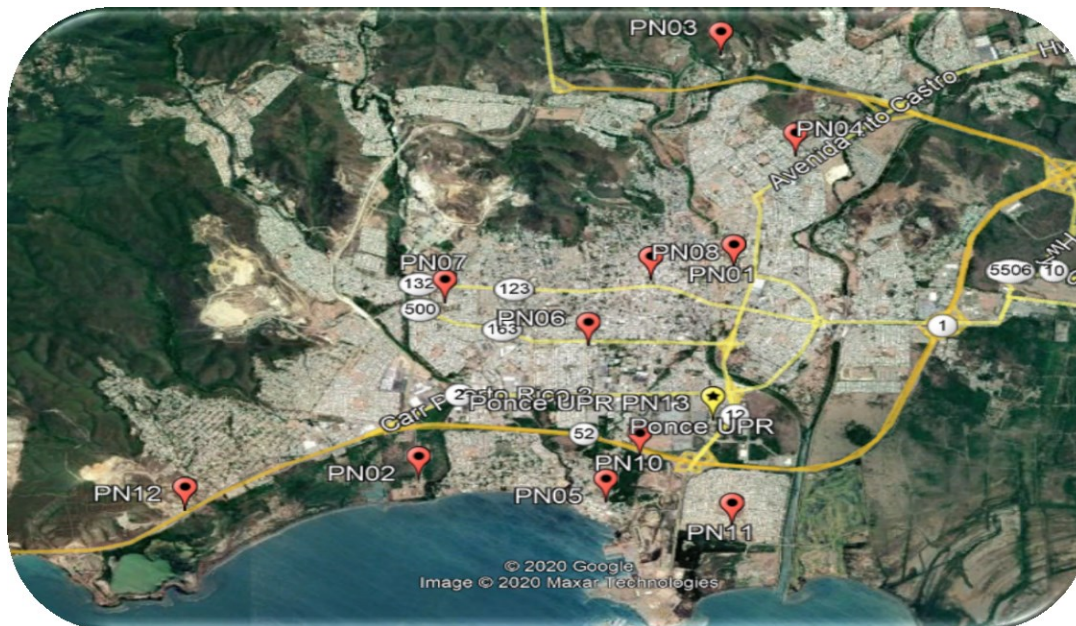


Figura #3: Microred de Movimiento Fuerte en la ciudad señorial de Ponce.

En relación a la transmisión de datos en la micro red de Mayagüez, se seleccionó el Condominio del Cerro de Las Mesas al cual enviarán sus datos las estaciones de Añasco (ANS1), el Maní (MY03) y la del barrio Castillo en Mayagüez (MY02), la de la Basílica Menor de Hormigueros (HRM1) y la del Faro Los Morrillos de Cabo Rojo (CBR3). Desde el Cerro de las Mesas se retransmitirá al edificio de Biología del RUM y de ahí al edificio de Ingeniería Civil y Agrimensura que es donde se localiza el Centro de Datos Primarios del PRSMP.

De modo que en relación a las comunicaciones el PRSMP tendrá un gran total de 15 estaciones adicionales a campo libre transmitiendo a tiempo real al RUM; diez (10) desde el Municipio de Ponce y cinco (5) desde el Municipio de Mayagüez. Además, transmitirán las dos represas sísmicamente instrumentadas en el Municipio de Ponce.