



Centro Peruano - Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID
 Facultad de Ingeniería Civil - Universidad Nacional de Ingeniería



RESULTADOS DEL PROYECTO JAPÓN - PERÚ - SATREPS

Fortalecimiento de Tecnología para
 Mitigación de Desastres por Terremoto
 y Tsunami en el Perú

PREVAED - PP068



2013 - 2014

**RESULTADOS DEL PROYECTO
JAPÓN - PERÚ - SATREPS**

**FORTALECIMIENTO DE TECNOLOGÍAS PARA LA MITIGACIÓN DE DESASTRES
POR TERREMOTO Y TSUNAMI EN EL PERÚ
PREVAED - PP068**

2013 - 2014

INDICE

INTRODUCCIÓN

3

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G1 DEL PROYECTO SATREPS - SISMOLOGÍA Y GEOTECNIA

6

Dr. Ing. Zenón Aguilar

1. Estudio de microzonificación sísmica de Lima Metropolitana
2. Red acelerográfica del CISMID - REDACIS
3. Escenario sísmico y generación de acelerogramas sintéticos

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G2 DEL PROYECTO SATREPS - TSUNAMIS

19

Cmdte. Atilo Aste

1. Generación de los escenarios de sismos de interface de gran magnitud que pueden ocasionar los daños más serios en el Perú
2. Estimación de los daños de tsunami causados por sismos supuestos en los escenarios y desarrollo de tecnologías para su mitigación

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G3 DEL PROYECTO SATREPS - EDIFICIOS

24

Dr. Ing. Carlos Zavala

1. Desarrollo de una base de datos de ensayos de componentes estructurales y la experimentación de materiales
2. Desarrollo de tecnologías para el diagnóstico y reforzamiento de diferentes tipos de edificaciones predominantes en Perú
3. Identificación de edificios de valor histórico en áreas de estudio que enfrentan riesgo frente a sismos
4. Verificación de tecnologías de reforzamiento a través de ensayos y análisis numérico
5. Estimación de pérdidas por terremoto en áreas de estudio para un escenario sísmico estimado

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G4 DEL PROYECTO SATREPS - EVALUACIÓN Y DETECCIÓN DE DAÑOS

36

Dr. Ing. Miguel Estrada

1. Generación de modelos digitales de superficie (DSMs) con imágenes satelitales
2. Generación de mapas de uso de suelo y mapas de inventario de edificaciones correspondientes al área de estudio mediante el uso de imágenes satelitales
3. Estimación de daños en zonas urbanas mediante la integración de curvas de fragilidad y el probable escenario sísmico
4. Desarrollo de tecnología para la evaluación rápida de daños por terremotos y Tsunami
5. Instalación de una Estación de Referencia GPS de Operación Continua

**TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G5
DEL PROYECTO SATREPS - ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO Y
PLAN MITIGACIÓN DE DESASTRES**

— — **41**

Ing. Alberto Bisbal

1. Elaboración de propuestas de mejora a los planes de mitigación
2. Planes de contramedidas para reducir el riesgo
3. Mejoramiento de las capacidades de los investigadores peruanos
4. Sostenibilidad del Proyecto

INTRODUCCIÓN

El esquema de cooperación SATREPS (Asociación de Investigación en Ciencia y Tecnología para el Desarrollo Sostenible) es un programa gubernamental del Gobierno del Japón que promueve la investigación internacional conjunta entre instituciones de Perú y Japón. El proyecto es patrocinado por la Agencia de Ciencia y Tecnología del Japón (JST) y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) bajo el marco de la "Asociación para la Investigación Científica y Tecnológica para un Desarrollo Sostenible (SATREPS). Por su parte el Perú es representado por la Agencia Peruana de Cooperación Internacional (APCI) y la Universidad Nacional de Ingeniería.

El programa SATREPS no solo se desarrolla en Perú, sino también en Asia, África, Latinoamérica y el Caribe. El objetivo del programa es la obtención de nuevos conocimientos y utilizar los resultados de la investigación en beneficio de la sociedad, con miras a resolver problemas globales como el medio ambiente, la energía, los recursos biológicos, la prevención de desastres y las enfermedades infecciosas. Los problemas mundiales no pueden ser resueltos por un solo país, por lo que el compromiso de la comunidad internacional es esencial para el programa.

El esquema de cooperación del programa SATREPS genera proyectos entre 3 a 5 años recurriendo a las alianzas entre investigadores de Japón y los investigadores en los países beneficiados. En el caso del Proyecto SATREPS para el Perú, la Universidad de Chiba es la contraparte de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), que a través del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil (FIC), desarrolla el proyecto "Fortalecimiento de Tecnología para Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú" que se enmarca dentro del Programa Presupuestal del Gobierno del Perú PREVAED- PP068.

El proyecto tiene implicancias multidisciplinarias, lo que demanda la convocatoria de especialistas de entidades relacionadas a la gestión del riesgo de desastres de instituciones nacionales tales como: el Instituto Geofísico del Perú (IGP), Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú (DHN), el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la Universidad Privada de Tacna (UPT), el Ministerio de Cultura, la Municipalidad de Lima Metropolitana, la Comisión Nacional de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (CONIDA), el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) y el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED), un esquema de la distribución de los trabajos de investigación se presentan en la Figura 1.

Para desarrollar los estudios de investigación multidisciplinaria, los investigadores y profesionales se agrupan en cinco grupos:

Grupo1 - G1 Sismología y Geotecnia: encargado de la elaboración de los escenarios sísmicos más probables y de la microzonificación geotécnica sísmica.

Grupo 2 - G2 Tsunamis: encargado del desarrollo de metodologías científicas para el modelamiento numérico del tsunami, elaboración de mapas de inundación y propuestas para la reducción del riesgo por tsunami.

Grupo 3 - G3 Edificios: Encargado del estudio de la resistencia de materiales, el diagnóstico de la resistencia sísmica de las edificaciones, experimentación a escala real de sistemas estructurales e investigación de campo para el reconocimiento de las tipologías de estructuras, diagnóstico del comportamiento sísmico y sistemas de reforzamiento.

Grupo 4 - G4 Estimación de Daños: Desarrollo de metodologías basadas en información satelital para la generación de inventarios urbanos, estimación de daños probables y elaboración automatizada de mapas de daño post desastre mediante el análisis de imágenes digitales.

Grupo 5 - G5 Administración del Proyecto y la elaboración de un Plan de Mitigación de Desastres: encargado del plan de mitigación de desastres por terremotos y tsunamis y su implementación en beneficio de la sociedad a través del planteamiento de propuestas a los tomadores de decisión y la diseminación de conocimientos.

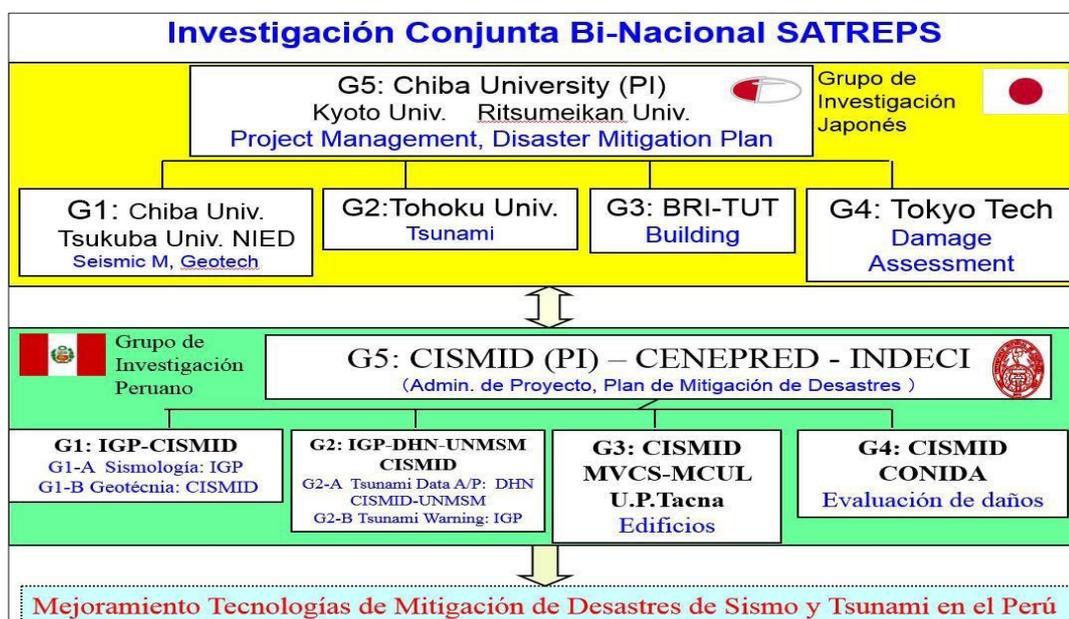


Figura 1: Instituciones japonesas y peruanas participantes en el Proyecto SATREPS.

Finalmente, se reconoce y agradece todo el apoyo del Gobierno Japonés que a través de sus instituciones de cooperación internacional han hecho posible este proyecto, especialmente a la Agencia de Cooperación Internacional de Japón . JICA y a la Agencia Japonesa para la Ciencia y Tecnología . JST. Así mismo, se resalta la colaboración de las instituciones académicas y científicas japonesas que a través de la participación de sus investigadores se ha podido cumplir con la transferencia tecnológica hacia nuestro país. Por otro lado el agradecimiento a las instituciones gubernamentales peruanas que han aportado con su trabajo para alcanzar los objetivos de este importante proyecto y al Gobierno Peruano por su apoyo a través del Programa Presupuestal 068, PREVAED. También debemos agradecer a los investigadores de CISMID, por su gran compromiso con este proyecto que han hecho posible, no sólo alcanzar los objetivos iniciales, sino que han sobrepasado éstos, realizando actividades adicionales que le darán a este proyecto sostenibilidad y continuidad en el tiempo.

Jefes de Grupo Proyecto SATREPS:

GRUPO	CONTRAPARTE JAPONESA	CONTRAPARTE PERUANA
G1	Dr. Shoichi Nakai	Dr. Ing. Zenon Aguilar
G2	Dr. Syunishi Koshimura	Cmdte. Atilio Aste
G3	Dr. Taiki Saito	Dr. Ing. Carlos Zavala
G4	Dr. Saburo Midorikawa	Dr. Ing. Miguel Estrada
G5	Dr. Fumio Yamazaki	Ing. Alberto Bisbal

Investigadores Principales

PI- Contraparte Japonesa: Dr. Fumio Yamazaki

PI- Contraparte Peruana: Dr. Carlos Zavala

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G1 DEL PROYECTO SATREPS SISMOLOGÍA Y GEOTECNIA

Dr. Ing. Zenón Aguilar

En el marco del proyecto SATREPS que viene realizando el CISMID, el Grupo 1 de Sismología y Geotecnia, ha tenido a su cargo la realización de investigaciones concernientes a la evaluación de la amenaza sísmica y la caracterización del comportamiento dinámico de los suelos de las ciudades de Lima y Tacna. El presente artículo presenta un resumen de las principales actividades realizadas hasta la fecha y los resultados logrados en este rubro, como son: la microzonificación sísmica de las zonas en estudio, la instalación de redes acelerográficas para el monitoreo sísmico y la generación de acelerogramas sintéticos para sismos escenarios y de diseño.

1. ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE LIMA METROPOLITANA

Los estudios de microzonificación sísmica consisten en evaluar las características físicas, mecánicas y dinámicas del suelo de cimentación, delimitando las áreas con similares características dentro de un área urbana. Esta información es de suma importancia para entender la influencia del suelo en el incremento de la fuerza sísmica que puede afectar a las estructuras y por ende en el incremento del nivel de daño esperado durante la ocurrencia de un evento sísmico. El CISMID, como parte de sus actividades de investigación, ha venido realizando estos estudios en diversos distritos de Lima Metropolitana, los cuales han sido integrados en un mapa de microzonificación sísmica preliminar como producto de un estudio realizado para la Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG) en el año 2005, denominado "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 Distritos de Lima y Callao".

A partir del año 2010, en el marco del proyecto SATREPS, en convenio con el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), y a partir del año 2013 financiado por la partida presupuestal 068 del Ministerio de Economía y Finanzas, el CISMID ha venido realizando estudios detallados de microzonificación sísmica de diversos distritos de la ciudad de Lima, con la finalidad de obtener un mapa de microzonificación sísmica que sea utilizado para la evaluación de la amenaza sísmica y del riesgo sísmico esperado para un sismo escenario, así mismo que sea tomado como referencia para definir los espectros de diseño sísmico especificados por la Norma E-030 para los diferentes tipos de suelos. Esta información está siendo utilizada para la actualización del mapa de microzonificación sísmica de Lima Metropolitana, cuyos resultados hasta la fecha se muestran a continuación.

Mapa de Microzonificación Geotécnica

Para la evaluación del comportamiento mecánico de los suelos en la ciudad de Lima, se realizaron ensayos de campo y laboratorio que permitieron determinar sus características físicas, con los cuales se clasificaron como gravas, arenas, limos y arcillas. Adicionalmente, se evaluó la compacidad o densidad que presentan éstos en su estado natural y otras condiciones particulares, como la presencia de napa freática y el contenido de sales solubles, que podrían ser desfavorables para la cimentación. Los trabajos de exploración de campo consistieron en la excavación de calicatas y la realización de ensayos de penetración estándar (SPT), así como ensayos de penetración dinámica ligera (DPL). La Figura 2(a) muestra una calicata excavada, de la cual se han obtenidos las muestras representativas de suelos para su análisis en el laboratorio, así mismo, la Figura 2(b) muestra la ejecución del ensayo

denominado SPT. Este ensayo se realiza para conocer la resistencia y compacidad del suelo y consiste básicamente en contar el número de golpes que se necesitan para introducir en el suelo, un tubo para la obtención de muestras. El ensayo es realizado en arenas y arcillas blandas.



En la ciudad de Lima se han recopilado y realizado una gran cantidad de estudios geotécnicos, los cuales han sido utilizados para determinar las características geotécnicas de los suelos que cubren toda el área urbana y definir un mapa preliminar de microzonificación geotécnica. En la actualidad se viene realizando trabajos complementarios de exploración geotécnica en los distritos que no cuentan con una adecuada densidad de información, con los cuales se viene actualizando y complementando dicho mapa. El mapa de microzonificación geotécnica elaborado y actualizado hasta la fecha se muestra en la Figura 3. En éste se puede observar que la mayor parte de la ciudad se asienta sobre suelos de buenas características geotécnicas y afloramientos de roca con moderada a suave pendiente, los cuales están zonificados e identificados con los colores verde y amarillo. Los suelos de menor competencia han sido representados por el color anaranjado. Los suelos que presentan un comportamiento geotécnico especial y que requieren de una evaluación específica para poder ser utilizados con fines de cimentación, están representados con el color rojo. En esta zona más desfavorable se incluyen también las áreas de topografía agreste, como son las laderas de los cerros de fuerte pendiente o depósitos de suelos en estado suelto y potencialmente inestable, así como las áreas con comportamiento geológico especial. Se incluyen también en color rosado, las áreas conformados por rellenos de escombros, rellenos sanitarios y antiguas canteras o excavaciones mineras que han sido rellenadas con escombros, las cuales, como lo especifica la Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones, no pueden utilizarse con fines de cimentación de edificaciones, a menos que sean reemplazados en su totalidad por rellenos de material seleccionado compactado.

Evaluación del Comportamiento Dinámico de los Suelos

El comportamiento dinámico de los suelos ha sido determinado mediante ensayos geofísicos, los cuales utilizan principalmente las propiedades de las ondas vibratorias que viajan a través del suelo. Los ensayos más utilizados para estos fines son la medición de microtrepidaciones o vibraciones ambientales mediante un sismómetro o un arreglo de sismómetros de alta sensibilidad. Las microtrepidaciones son vibraciones ambientales de amplitudes pequeñas e imperceptibles, que tienen diversos orígenes. Éstas pueden ser causadas por ejemplo, tanto por la actividad humana como por las olas del mar, el viento, etc. Las vibraciones registradas en el suelo presentan ciertas características que son útiles para identificar el comportamiento del suelo frente a un movimiento sísmico.

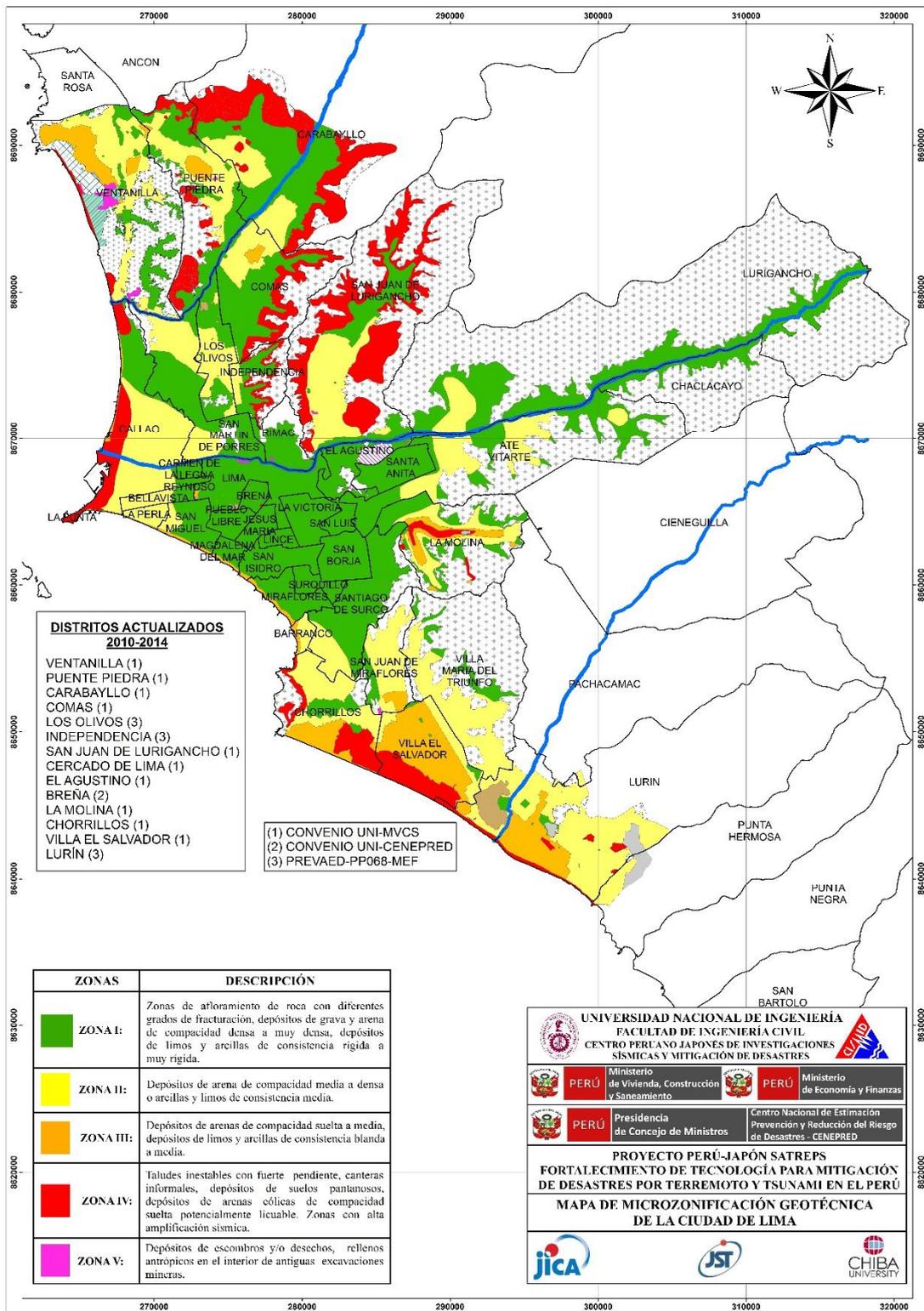


Figura 3: Mapa de Microzonificación Geotécnica de la Ciudad de Lima.

Para realizar estas mediciones, el CISMID cuenta con equipos de última generación, que permiten registrar y procesar la información de manera rápida y segura. El equipo GEODAS 15-HS (Figura 4(a)) de la marca Buttan Service, es utilizado para realizar mediciones de microtrepidaciones en un solo punto o en arreglos de pequeños diámetros. Adicionalmente, se cuenta con 06 equipos CV-374 AV2 (Figura 4(b)) de la marca Tokyo Sokushin, los cuales son utilizados para medir las microtrepidaciones en arreglos de mayor diámetro, permitiendo obtener perfiles de suelos con profundidades mayores al kilómetro. Estos equipos fueron adquiridos con el presupuesto del proyecto SATREPS.



Figura 4(a): Equipo GEODAS 15-HS para medición de microtrepidaciones.



Figura 4(b): Equipo CV-374 AV2 para medición de microtrepidaciones en arreglos.

La medición de microtrepidaciones permite determinar el periodo de vibración fundamental del depósito de suelo, con lo cual se puede estimar su comportamiento sísmico. Por su parte, la medición de microtrepidaciones en arreglos permite determinar el perfil de velocidades de ondas de corte y un valor promedio de este parámetro, con lo cual se define el comportamiento dinámico del depósito de suelo evaluado. Estos ensayos se han realizado en distintas partes de la ciudad de Lima con la finalidad de evaluar el comportamiento dinámico de los suelos. Esta información al ser correlacionada con la generada en el mapa de microzonificación geotécnica, ha permitido definir zonas de suelos con características y comportamiento dinámico similar, elaborándose así el Mapa de Microzonificación Sísmica para la Ciudad de Lima, que se muestra en la Figura 5. En la actualidad se continúan realizando ensayos para densificar la información del comportamiento del suelo en los distritos donde la información es escasa para mejorar la calidad de este mapa.

Como se puede observar en este mapa, gran parte de la ciudad de Lima está conformada por suelos con un comportamiento sísmico bueno, representado por las áreas de colores verde y amarillo. Las zonas con suelos de comportamiento sísmico desfavorable o especial, representada por las áreas de color rojo, están limitadas a las zonas periféricas de la ciudad, conformadas por laderas de fuerte pendiente, así como los suelos arenosos sueltos que se encuentran en las zonas norte y sur de la ciudad, los suelos arcillosos blandos que se localizan en el Callao y los depósitos de material granular fino de gran espesor en el distrito de La Molina, así como la zona del litoral que puede ser inundada en caso de la ocurrencia de un tsunami.

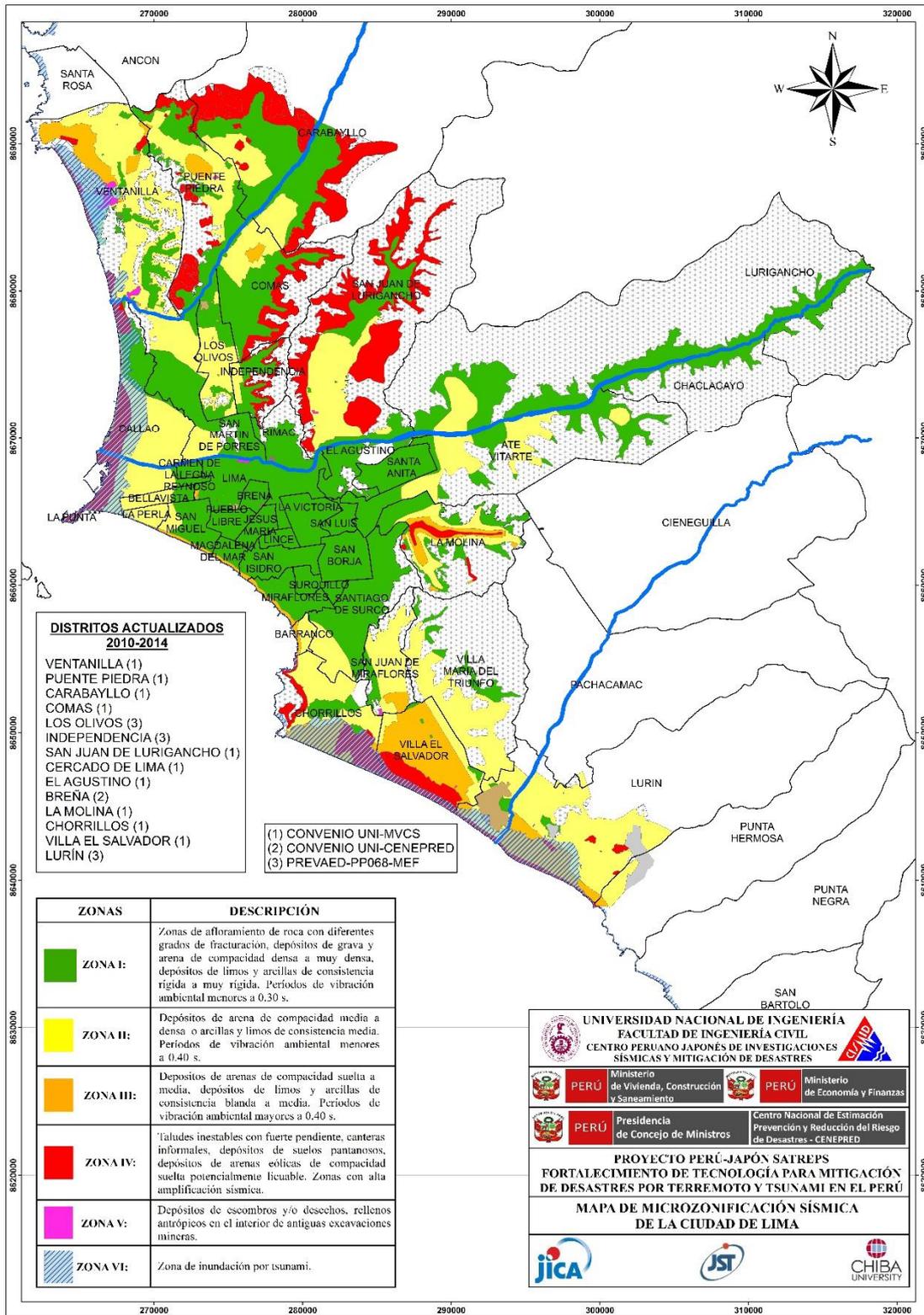


Figura 5: Mapa de Microzonificación Sísmica de la Ciudad de Lima.

2. RED ACELEROGRÁFICA DEL CISMID - REDACIS

La Red Nacional de Acelerógrafos del CISMID (REDACIS), gracias al apoyo económico de la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), contó en sus inicios con acelerógrafos analógicos RION, que fueron complementados y reemplazados en el tiempo por acelerógrafos digitales modelo Etna, marca Kinematics. Como parte de las actividades del proyecto SATREPS se recibió como donación 10 acelerógrafos digitales modelo CV-374A2, marca Tokyo Sokushin, que han sido instalados en diversos lugares de la ciudad de Lima y últimamente en la ciudad de Tacna. Recientemente se ha incluido para la obtención de registros sísmicos cinco acelerómetros modelo Basalt, de la marca Kinematics, que fueron instalados en igual número de ciudades en el país, en convenio con el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) y la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO). Así mismo el CISMID está adquiriendo 60 acelerómetros 130-SMA REFTEK para su próxima instalación dentro de Lima Metropolitana.

Primera fase: Instalación de acelerómetros en la ciudad de Lima y la Universidad Nacional de Ingeniería.

Los diez acelerómetros digitales marca Tokyo Sokushin fueron instalados, cumpliendo los fines del proyecto en dos arreglos, un arreglo de cinco acelerómetros fue instalado de manera permanente en cinco distritos de la ciudad de Lima que fueron Villa El Salvador, Bellavista (Callao), Puente Piedra, Cercado de Lima y Rímac, con la finalidad de analizar el comportamiento sísmico de los suelos de estos distritos. En estos lugares se realizaron ensayos geofísicos para determinar la estructura del suelo y en tres de ellos, Villa El Salvador, Bellavista y Cercado de Lima, se realizaron perforaciones diamantinas de hasta 50 m de profundidad, obteniéndose así de manera directa, la conformación del suelo donde se encuentran estas estaciones de observación sísmica.

Otro arreglo de cuatro acelerómetros fue instalado dentro del campus de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) con el fin de estudiar los tipos de materiales del subsuelo en esta zona de Lima utilizando el método de "Arreglo de sismómetros". En este método la ubicación relativa entre las estaciones es muy importante, siguiendo la forma de una circunferencia como lo muestra la Figura 6. Este tipo de arreglo permite conocer con mayor precisión la respuesta del subsuelo frente a movimientos sísmicos.

A finales del 2013 se retiraron los acelerómetros instalados en el campus UNI, habiéndose registrado más de 200 acelerogramas en estas estaciones, que sirvieron para cumplir con el objetivo trazado.

Segunda fase: Reubicación de acelerómetros en la ciudad de Lima y ciudad de Tacna

Con la finalidad de poder caracterizar los efectos de la topografía en la respuesta sísmica del suelo se vio por conveniente ubicar en el cerro adyacente al campus UNI un acelerómetro Tokyo Sokushin, el cual se instaló dentro de la población de Villa El Carmen (estación SLP). La comparación del comportamiento entre la estación SLP y la estación CSM, permitió estudiar el efecto de la topografía sobre la respuesta sísmica. Así mismo se instaló un acelerógrafo Tokyo Sokushin en la Estación de Bomberos N°65 del distrito de San Martín de Porres, cerca al campus de la UNI con la misma intención.

Con la finalidad de caracterizar el comportamiento sísmico del suelo de la ciudad de Tacna, se instalaron en Enero del 2014 dos acelerógrafos marca Tokyo Sokushin en la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (estación TAC1) y la Universidad Privada de Tacna (estación TAC2), reemplazando a los acelerómetros ETNA instalados en estas universidades hace varios años, que

Página web REDACIS

La página web de la REDACIS (<http://sig.cismid-uni.org/redacis/>) es de acceso público y permite descargar actualmente los acelerogramas de 13 estaciones acelerométricas, que corresponden a las estaciones permanentes (Tabla 1) y temporales, las cuales están concentradas mayormente en la ciudad de Lima (Figura 7). Actualmente esta página se encuentra en actualización, incorporando registros de aceleración de años anteriores a la ejecución del proyecto SATREPS (Figura 8).

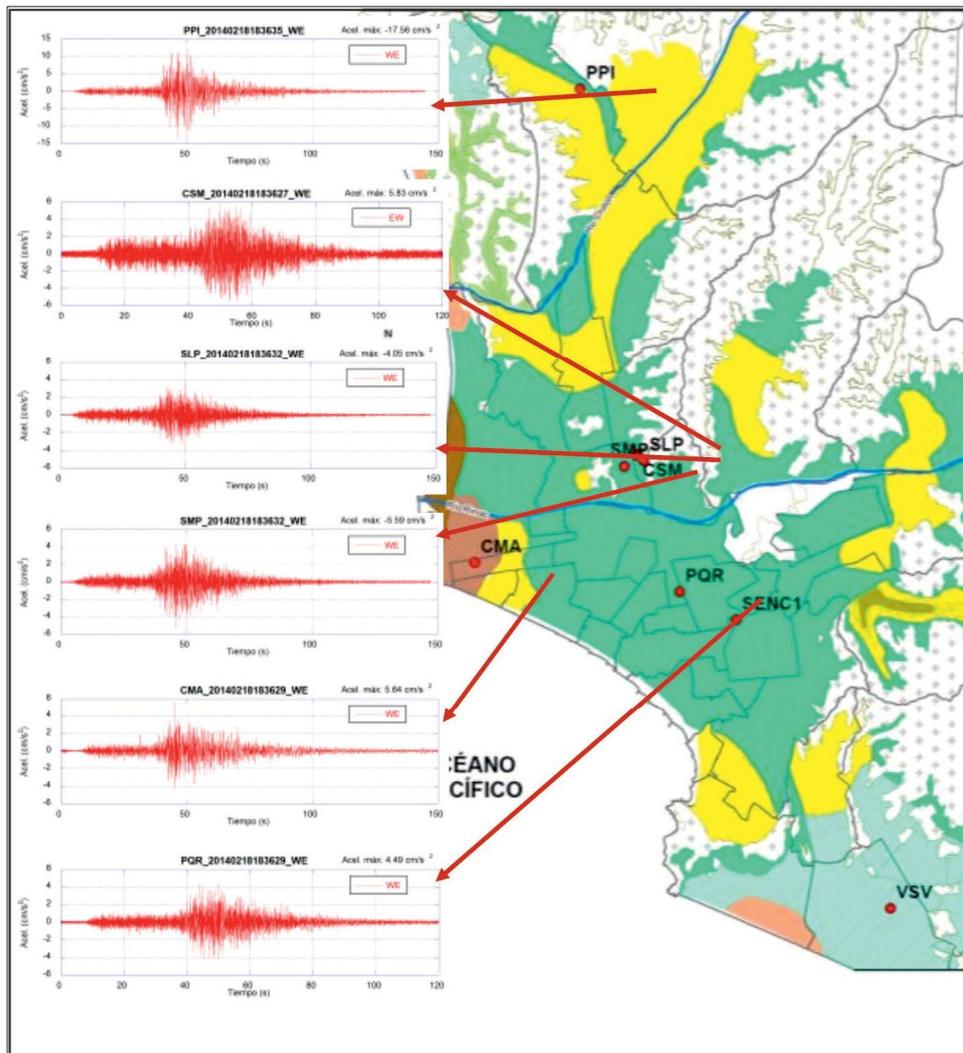


Figura 7: Registros tiempo historia en dirección EW de 6 estaciones en la ciudad de Lima correspondiente al sismo del 18 de febrero del 2014 (CISMID, 2014).

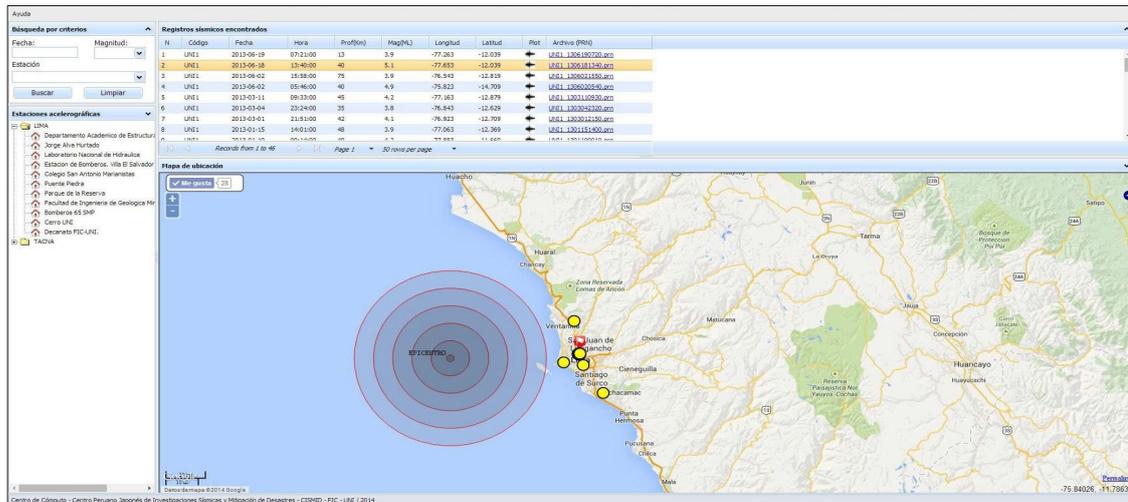


Figura 8: Vista de la página web de REDACIS (Centro de Cómputo . CISMID).

Tabla 1: Estaciones Acelerométricas permanentes de REDACIS-CISMID-FIC-UNI en uso.

N°	Código	Ubicación		Equipo
		Departamento	Distrito	
1	CMD	Lima	Rímac	CV-374A2 Tokyo Sokushin
2	PQR	Lima	Cercado de Lima	
3	CMA	Lima	Bellavista - Callao	
4	PPI	Lima	Puente Piedra	
5	SMP	Lima	San Martín de Porres	
6	TAC1	Tacna	Tacna	
7	TAC2	Tacna	Tacna	

3. ESCENARIO SÍSMICO Y GENERACIÓN DE ACELEROGRAMAS SINTÉTICOS

La ciudad de Lima se encuentra ubicada en una de las zonas de mayor actividad sísmica del país, estando expuesta a eventos sísmicos de gran magnitud. La historia sísmica muestra que en esta región del país han ocurrido eventos sísmicos catastróficos, como el terremoto del 28 de Octubre de 1746, cuya magnitud es estimada entre 8.8 a 9.0 Mw. En épocas recientes han ocurrido terremotos de magnitudes moderadas, siendo el último el ocurrido el 3 de Octubre de 1974, que tuvo una magnitud de 8.0 Mw y generó daños importantes en la ciudad capital. Desafortunadamente en el sismo del 3 de Octubre de 1974 solo se obtuvo pocos registros sísmicos debido a la inexistencia de una red de monitoreo sísmico en el país. Actualmente, como se ha mencionado en el acápite anterior, con gran esfuerzo se ha logrado implementar una red acelerográfica, que revertirá esta situación y permitirá obtener valiosa información cuando ocurran movimientos sísmicos en el futuro.

Ante la necesidad de contar con este tipo de información, se ha visto por conveniente desarrollar un modelo teórico de un escenario sísmico que represente adecuadamente la sismicidad de esta región e incluya la acumulación de energía a lo largo de todos estos años de silencio sísmico. La revisión de la información histórica muestra que esta región puede estar expuesta a un evento de similar magnitud al del terremoto del año 1746, lo cual es consistente con la deformación de la corteza terrestre determinada mediante observación de GPS. En la Figura 9 se muestra el escenario sísmico definido, que es una fuente sísmica de superficie plana para la ruptura de la corteza terrestre, con un área aproximada de 500 km de largo por 165 km de ancho, la cual generaría sismos con magnitudes de hasta 8.9 Mw. También se muestra (Figura 9(a)) la ubicación de posibles inicios de la ruptura (hipocentros) considerados para cubrir la incertidumbre en la localización real de ésta. La Figura 9(b) muestra las diferentes posibilidades de distribución de los desplazamientos de la falla durante la ruptura.

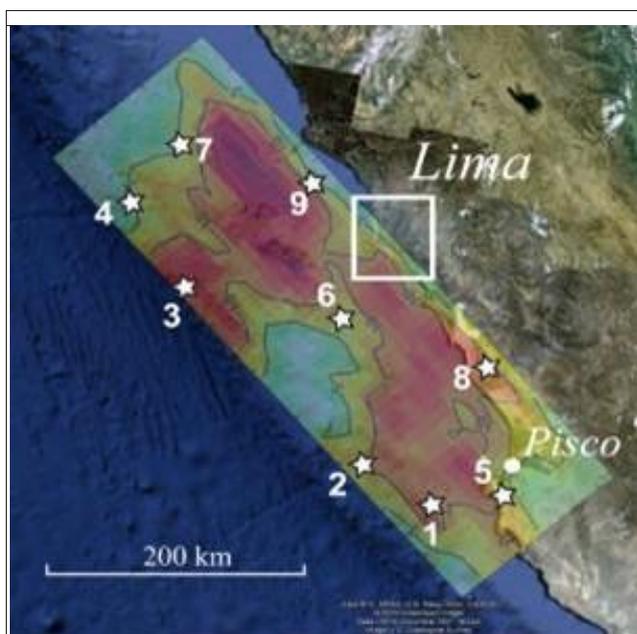


Figura 9(a): Modelo de Fuente Sísmica para el Sismo Escenario de Magnitud 8.8 Mw

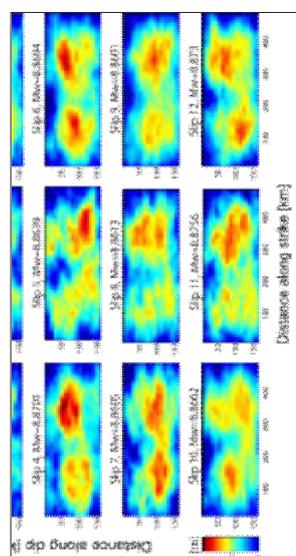


Figura 9(b): Modelo de la distribución de desplazamientos de la falla durante la ruptura.

Considerando los 12 modelos de distribución de desplazamientos de la falla, las 9 posibles ubicaciones de hipocentro y la respuesta particular del suelo frente a un sismo, evaluada usando los perfiles de velocidades de ondas de corte generados en este proyecto, se puede calcular las aceleraciones del movimiento del suelo que se presentarían como consecuencia de la ocurrencia del escenario sísmico asumido. Las Figuras 10(a) y 10(b) muestran los resultados considerando dos casos. El primero es el valor promedio para los 12 casos de modelos de distribución de desplazamientos y 9 hipocentros, los que resultan en 108 escenarios. El segundo caso es el valor promedio para la distribución de desplazamiento más crítica considerando 9 hipocentros, lo que resulta en 9 escenarios.

La Figura 9(a) muestra las aceleraciones calculadas para la ciudad de Lima que son las aceleraciones promediadas para todos los escenarios posibles. Se observa que las máximas aceleraciones, con

valores de 600 a 700 cm/s^2 , se presentan en la zona que corresponde al distrito de La Punta. Las zonas aledañas a La Punta dentro de la Provincia Constitucional del Callao y un área en el distrito de Ventanilla presentan aceleraciones en el orden de 500 a 600 cm/s^2 . Además, se tiene aceleraciones que van de 400 a 500 cm/s^2 para una franja paralela al litoral. Luego, se observa que el valor de las aceleraciones disminuye conforme se incrementa la distancia al litoral y se reduce la distancia a las formaciones rocosas o cerros ubicados al Este de Lima. Sin embargo, se presenta una excepción en el distrito de La Molina por el tipo de suelo en esta área, presentándose aceleraciones de 400 a 500 cm/s^2 . La Figura 9(b) muestra las aceleraciones para el caso más desfavorable considerado todos los posibles hipocentros. Se observa que en este caso las aceleraciones máximas van de 1100 a 1200 cm/s^2 y también se ubican en el distrito de La Punta. Luego, se observa que las aceleraciones disminuyen conforme se reduce la distancia a las formaciones rocosas o cerros ubicados al este de Lima. En la zona central de Lima se presenta aceleraciones que van de 700 a 900 cm/s^2 . Las zonas colindantes con los cerros presentan aceleraciones que van de 400 a 600 cm/s^2 .

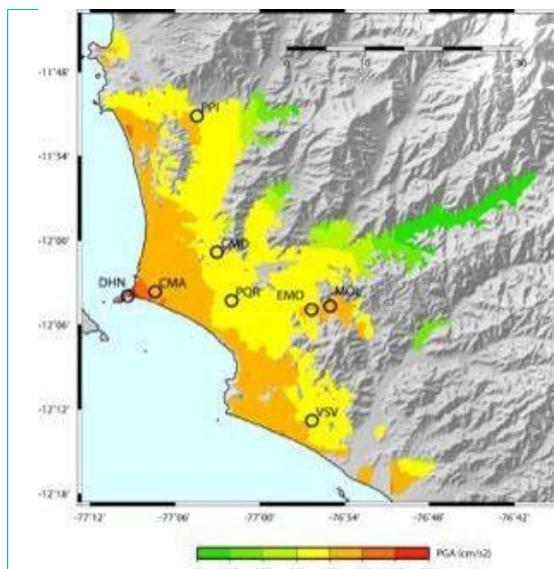


Figura 10(a): Aceleraciones del movimiento del suelo, obtenido como valor promedio de los escenarios sísmicos evaluados.

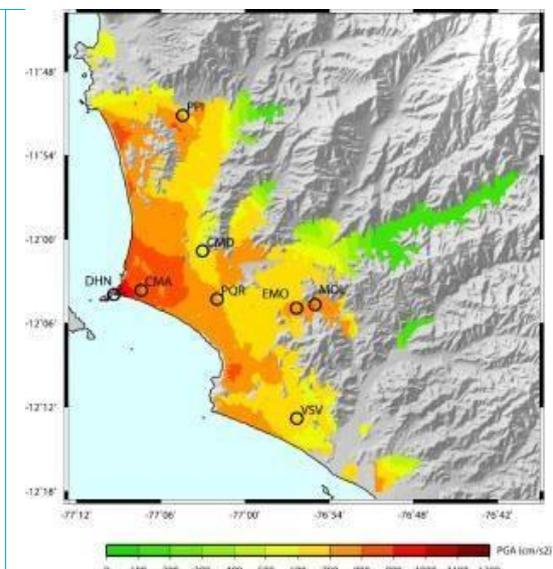


Figura 10(b): Valor máximo de aceleraciones del movimiento del suelo.

Para más detalles sobre los resultados obtenidos en esta investigación se puede revisar el siguiente link:

http://www.i-shis.bosai.go.jp/staff/nelson/smsimu_Central_Peru_v1p0/Lima_SMSimu_v1p0.htm

Obtención de Acelerogramas Sintéticos para el Sismo de Diseño

Para el diseño sismorresistente de estructuras importantes o estructuras especiales, la Norma E-030 de Diseño Sismorresistente del Perú establece que se debe realizar una verificación de la respuesta dinámica de la estructura utilizando el acelerograma de un registro sísmico; sin embargo, la poca disponibilidad de registros de movimientos sísmicos en el Perú, debido a una escasa instrumentación sísmica, ocasiona que dicho análisis de verificación del comportamiento dinámico de la estructura no sea realizado, o en su defecto sea realizado con registros sísmicos no representativos de las características sísmicas del lugar donde se desarrolla el proyecto. En tal sentido, en convenio con el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO), se ha desarrollado un conjunto de 20 acelerogramas sintéticos representativos para la sismicidad de la costa peruana, que es la región de más alta actividad sísmica en el país y para el comportamiento dinámico de cada uno de los tres tipos de suelos que establece la Norma E-030.

Para la generación de acelerogramas sintéticos se ha utilizado el método de ajuste espectral, que consiste en escalar las aceleraciones espectrales de un registro sísmico real hasta que sean compatibles con las amplitudes de un espectro de diseño establecido. Una técnica para realizar el ajuste espectral del acelerograma del registro sísmico real en el dominio del tiempo se encuentra implementada en el programa RspMatch2009. Este programa ejecuta una modificación del acelerograma registrado de un evento sísmico para hacerlo compatible con un espectro de respuestas especificado por el usuario, tal como se muestra en la Figura 11. La metodología está basada en los trabajos de Lilhanand y Tseng (1987, 1988). El código original del programa fue escrito por N. A. Abrahamson (1993) y posteriormente actualizado por J. Hancock et al. (2005).

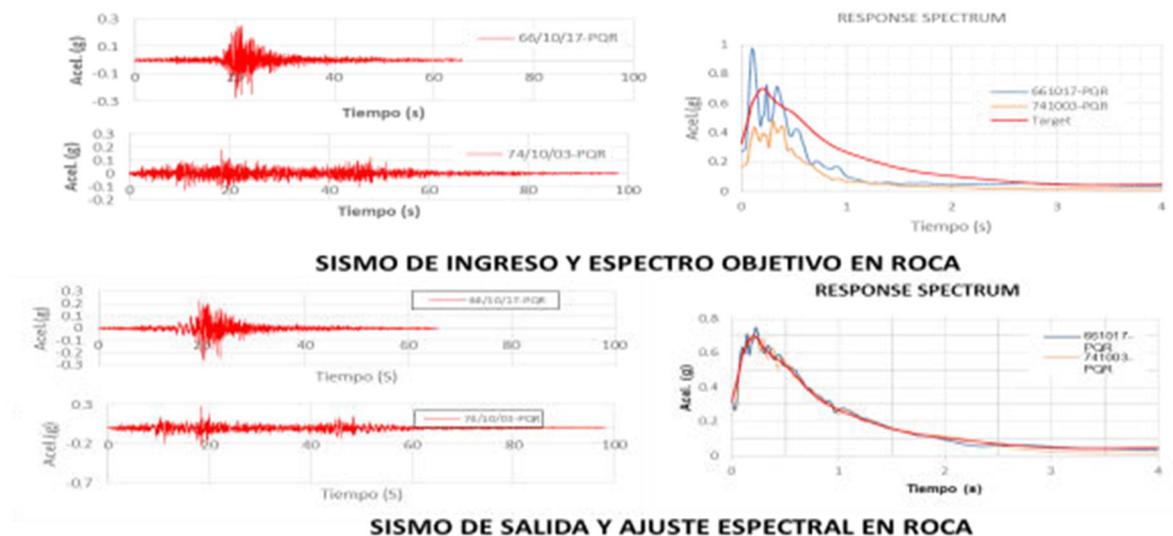


Figura 11: Método de ajuste espectral para la generación de acelerogramas sintéticos compatibles con un espectro de diseño.

Para este procedimiento se ha utilizado acelerogramas registrados en los últimos grandes terremotos ocurridos en diferentes países, dentro de los cuales tenemos: El terremoto de Valparaíso, Chile de 1985; el terremoto de Kobe, Japón de 1995; el terremoto de Atico, Perú del 2001; el terremoto de Geiyo, Japón del 2001; los terremotos de Sanriku Minami y Tokachi-Oki, Japón del 2003; el terremoto de Tarapacá, Chile del 2005; el terremoto de Pisco, Perú del 2007 y el Terremoto de Maule, Chile del 2010. Los mecanismos focales de estos eventos son del tipo de subducción interfase e intraplaca, a excepción del Terremoto de Kobe, cuyo mecanismo es cortical, el cual puede ser requerido en algún caso específico de análisis. Además, se han utilizado los acelerogramas obtenidos por simulaciones para un mega-sismo con una magnitud de 8.9 (Mw), para la zona de subducción de la placa de Nazca a la altura de los Andes Centrales, en Lima (Pulido et al, 2013).

El análisis de ajuste espectral fue realizado utilizando tres tipos de espectros objetivos, el primero corresponde a los Espectros de Peligro Uniforme derivados de un estudio de Peligro Sísmico realizado en base a las coordenadas de la estación acelerográfica del Parque de la Reserva en Lima, el segundo corresponde a los Espectros de Diseño de la Norma IBC 2009 y el tercero corresponde a los Espectros de Diseño de la Norma E030.f

La base de datos de acelerogramas sintéticos generada en este estudio está conformada por 15 acelerogramas obtenidos de las simulaciones del mega-sismo en las costas de Lima y un total de 189 acelerogramas generados considerando las tres componentes de los 21 registros sísmicos seleccionados y los tres tipos de suelos que considera la Norma E-030. Los acelerogramas escalados conservan la fase y duración de las señales sísmicas originales y al mismo tiempo son compatibles con los espectros de diseño especificados. Esta base de datos está disponible para la comunidad científica y profesional en la página web del SENCICO.

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G2 DEL PROYECTO SATREPS TSUNAMIS

Cmdte. Atilo Aste

Dentro del marco del proyecto SATREPS que agrupa acciones multidisciplinarias que viene realizando el CISMID, el Grupo 2 de grupo relacionado con las investigaciones sobre Tsunamis, ha tenido a su cargo la realización de investigaciones concernientes al modelamiento de tsunamis a través del análisis del avance de la ola, su altura, el tiempo de llegada a la costa, las probables áreas de inundación y la elaboración de contramedidas para prevenir y mitigar sus efectos.

1. GENERACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE SISMOS DE INTERFACE DE GRAN MAGNITUD QUE PUEDEN OCASIONAR LOS DAÑOS MÁS SERIOS EN EL PERÚ

Verificar el historial de daños de tsunami y conocer las características de propagación de tsunamis que se generan en el litoral peruano.

A través de cálculos numéricos con el tsunami del terremoto de Arequipa de 2011, se verifica que el modelo de simulación de inundación por tsunami es válido con una buena precisión para tsunamis pasados en el Perú. En el pasado se reconoce que hubo 11 sismos de subducción con magnitudes mayores a 8Mw fuera de las costas del Pacífico en el Perú en los últimos 400 años, los cuales produjeron tsunamis de consideración. Existen registros históricos de tsunamis producidos por sismos de subducción los cuales han sido revisados los cuales evidencian el gran riesgo por tsunami a lo largo de las regiones costeras del Perú.

Con la información de escenarios sísmicos producidos por el Grupo 1, donde se estiman 108 fuentes diferentes de inicio de ruptura que generaría el terremoto y el consecuente tsunami se ha desarrollado el modelo numérico de fuente para estimar la propagación del tsunami.

2. ESTIMACIÓN DE LOS DAÑOS DE TSUNAMI CAUSADOS POR SISMOS SUPUESTOS EN LOS ESCENARIOS Y DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS PARA SU MITIGACIÓN

Preparación de datos topográficos y batimétricos del litoral de las áreas de estudio

Los datos existentes a la fecha de batimetría fuera de las costas de Lima fueron obtenidos y usados para las investigaciones del Proyecto. A in de crear un modelo detallado de la batimetría y topografía, se llevaron a cabo registros suplementarios de batimetría a los datos existentes en cooperación con la Dirección de Hidrografía y Navegación fuera de las costas de Lima y Callao.

Los datos batimétricos se levantaron con gran detalle, con una resolución espacial de 1 metro en las direcciones este . oeste y norte . sur, de manera de tener una alta calidad en los datos de entrada. La zona de exploración batimétrica se presenta en la Figura 12.

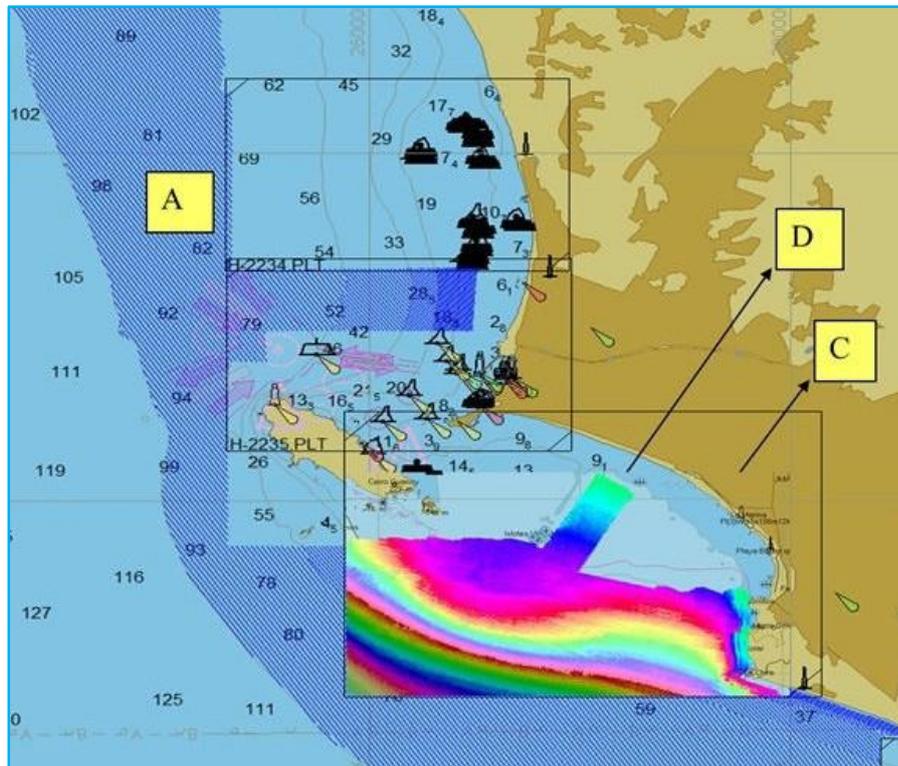


Figura 12: Área de levantamiento de información batimétrica

Evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones e infraestructuras en las áreas de estudio

El Proyecto estimó daños a edificios e infraestructura tales como vías causadas por el ingreso del tsunami en las áreas costeras de Lima. Se estimaron el número y grado de viviendas dañadas causado por la inundación por tsunami, combinando la fuerza externa del tsunami (altura de ola, profundidad de inundación y velocidad de entrada) obtenidos de la simulación de inundación por tsunami y curvas de fragilidad de edificios según la fuerza externa. También se evaluaron la fragilidad estructural por tsunami para vías y otras infraestructuras. Para la estimación, se emplearon modelos de elevación digital, uso del suelo y datos de las edificaciones producidas por el Proyecto.

Simulación de la propagación y la inundación de tsunami según los escenarios de sismos y estimación de los daños probables por tsunami

Se analizaron la inundación por tsunami causados por cada escenario sísmico, adoptando los 12 escenarios sísmicos propuestos por el Grupo 1, utilizando las más recientes teorías para el análisis de fuente sísmica y los escenarios estimados por la fuerte de inversión del más reciente tsunami registrado de 1746, basado en evidencias y registros históricos. Usando los resultados de los análisis, el Proyecto estimó los daños a edificios en el distrito de La Punta de la provincia del Callao. Aplicando funciones de fragilidad obtenidas del Terremoto de Tohoku de 2011, se estimó la existencia de daños en edificios, que fueron causados por la inundación por tsunami estimado en este Proyecto.

Para realizar los cálculos anteriores se generaron simulaciones de avance de ola, tomando en cuenta los diferentes escenarios sísmicos producidos por el Grupo 1. En la Figura 13, se puede apreciar uno de ellos.

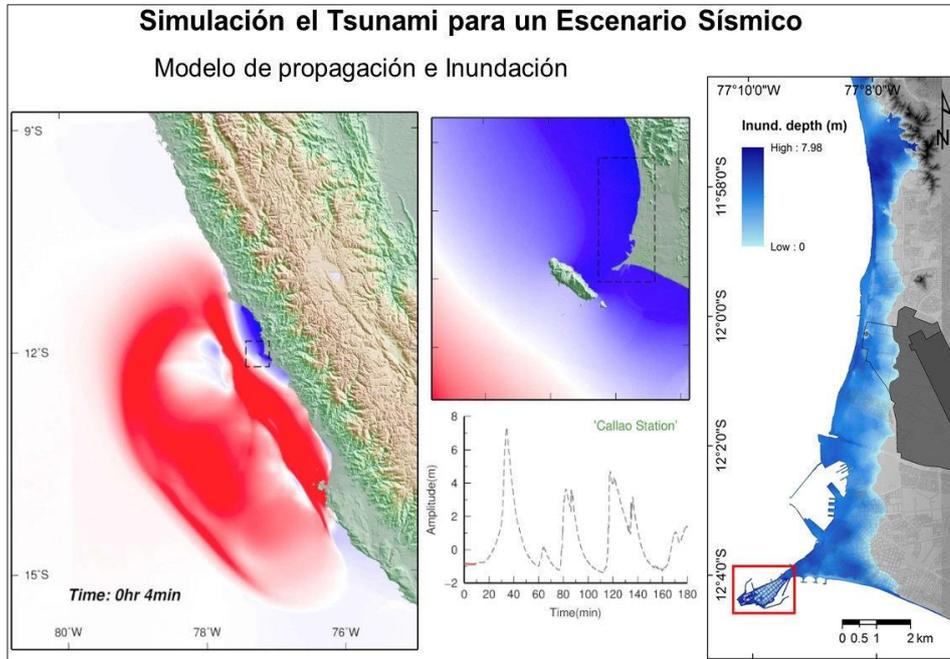


Figura 13: Modelamiento numérico de generación y propagación del tsunami

Generación de mapas de amenaza de tsunami en las áreas de estudio

En el Proyecto se llevaron a cabo investigaciones para la elaboración de mapas de peligros por tsunami para las ciudades de Lima y Callao. Se produjo un mapa de peligro de tsunami preliminar por DHN, UNMSM, IGP y CISMID. En base a los resultados de las investigaciones en daños por tsunami en la Actividad 3-3, el Proyecto planea actividades para revisar mapas de inundación por tsunami en cooperación con DNH e INDECI. Un ejemplo de estos de inundación probable se presenta en la Figura 14.

Para satisfacer el requerimiento técnico para preparar los mapas de riesgo, el Proyecto organizó 3 seminarios técnicos en Perú, en los cuales la teoría básica para el modelamiento de estimación de tsunami, la simulación de tsunami y los métodos de estimación de daños son transferidos. Adicionalmente, investigadores peruanos fueron recibidos en la Universidad de Tohoku en dos oportunidades y entrenamiento ofrecido en construcción de modelos de fuente de tsunami y métodos de estimación para inundación por tsunami. Además, se llevaron a cabo conjuntamente encuestas de campo en las áreas afectadas por desastre del sismo de Tohoku.



Figura 14: Elaboración de mapas de inundación y rutas de evacuación en el litoral de Lima Metropolitana.

Elaboración de lineamientos para el diseño de las instalaciones de refugio de emergencia

Se evaluó un plan de evacuación en el distrito de La Punta de la ciudad del Callao utilizando una Simulación Multi-Agente, por la cual se llevó a cabo la estimación de inundación del distrito por el Proyecto, ver Figura 15. Estableciendo 4 tipos de propiedades de agente por edades, se llevaron a cabo simulaciones de evacuación caminando y en vehículos. Se tuvo la oportunidad de evaluar la evacuación por tsunami utilizando edificios considerando un tiempo de inicio de evacuación, métodos de evacuación, tiempo necesario para llegar a los edificios de evacuación, capacidad de recibir refugiados, características del tsunami y elementos geográficos, las cuales sirven como información básica para reconsiderar la asignación de los edificios locales de evacuación. Como un caso de implementación social de los resultados de la investigación, se llevó a cabo un simulacro de evacuación por tsunami en el distrito de La Punta en el año 2013 en la provincia del Callao en Perú en cooperación con INDECI, la provincia del Callao, DHN y CISMID.

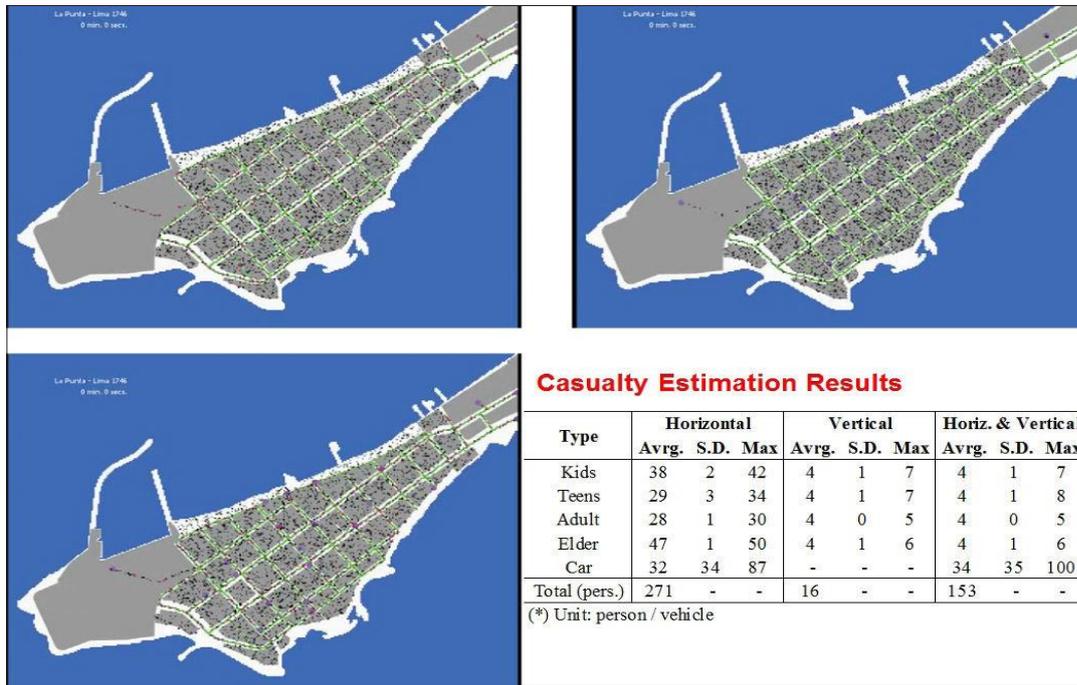


Figura 15: Modelamiento numérico de evacuación horizontal, vertical y la combinación de ambos, con el cálculo de víctimas en cada caso, para el distrito de La Punta.

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G3 DEL PROYECTO SATREPS EDIFICIOS

Dr. Ing. Carlos Zavala

Dentro del marco del proyecto SATREPS que agrupa acciones multidisciplinarias viene realizando el CISMID, el Grupo 3 de Edificios, ha tenido a su cargo la realización de investigaciones concernientes a la evaluación de estructuras, el estudio de los materiales, el estudio del comportamiento dinámico de las mismas a través de simulaciones y ensayos de laboratorio, así la normalización de tecnología que permitan obtener un diagnóstico sísmico de los edificios y monumentos. El presente artículo presenta un resumen de las principales actividades realizadas hasta la fecha y los resultados logrados en los productos de acuerdo al plan maestro del proyecto.

1. DESARROLLO DE UNA BASE DE DATOS DE ENSAYOS DE COMPONENTES ESTRUCTURALES Y LA EXPERIMENTACIÓN DE MATERIALES.

El trabajo experimental permite el desarrollo de modelos numéricos que son usados en la simulación del comportamiento sísmico de estructuras. El laboratorio de estructuras de CISMID en sus 28 años de existencia ha realizado multiplicidad de pruebas a escala natural, que gracias al proyecto SATREPS han sido recopiladas formando una base de datos de ensayos de componentes estructurales y de materiales usados en nuestro país. Aquí la albañilería es el material más usado en zonas urbanas, sin embargo existe albañilería formada por ladrillos y bloques normalizados bajo la norma NTE-E-070, pero en la mayoría de las construcciones, en especial en zonas emergentes, los pobladores utilizan la llamada albañilería artesanal. Esto ha creado un problema pues el porcentaje de viviendas construidas en las zonas de expansión del área urbana, especialmente en Lima, muestra cifras alarmantes, pues más del 65% de las viviendas en estas zonas son de naturaleza informal. De allí la preocupación del proyecto por conocer el comportamiento frente a cargas cíclicas de las diversos tipos de albañilería tanto en sus materiales como en sus componentes muros a escala natural.

Experimentación de materiales

A través de los años diversas áreas de la ciudad han sido tomadas por productores de ladrillos informales cuyas características mecánicas, en la mayoría de los casos, no cumplen con las norma NTE-E-070, y asimismo, es necesario validar los parámetros de la albañilería que se comercializa en la ciudad de Lima. Por esta razón se tomaron muestras de los bloques de albañilería hecha en fábrica y artesanal que se vende en los conos norte, sur y este de la ciudad de Lima, que son las zonas emergentes hacia donde la ciudad de Lima se viene expandiendo. Con estos bloques se fabricaron pilas, muretes y componentes muros. La Figura 16, presenta las muestras ensayadas para el conocimiento de los materiales que actualmente se utilizan en las zonas emergentes de la ciudad de Lima.



Figura 16: Muestras de Pilas y Muretes de ladrillo sólido, hueco y tubular que fueron ensayadas

Los resultados, Figura 17, mostraron que en la actualidad los ladrillos industriales y artesanales han acortado su valor en resistencia y que el módulo de elasticidad promedio en la albañilería, obtenido del ensayo de pilas de los diversos tipos de ladrillo sólido, ha disminuido con respecto al valor de la norma NTE-E-070 ($E=500 \text{ f}'m$) a un valor de $E=439 \text{ f}'m$. Es decir los parámetros de la norma deberían ser actualizados pues no serían representativos para la albañilería comercializada en la ciudad de Lima.

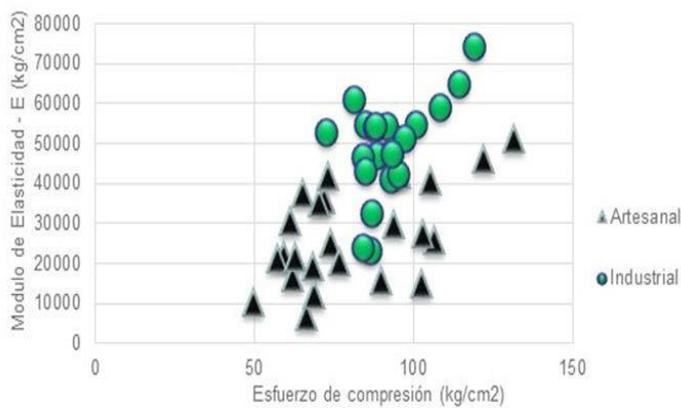


Figura 17: Ensayos de Pilas en ladrillos solidos

Tomando en cuenta los datos de estos ensayos de material se genera una base de datos para uso de la comunidad académica, para considerar los parámetros apropiados a utilizar en la modelación de estructuras.

Para el caso de componentes muro, se tomaron en cuenta los ensayos de laboratorio desarrollados en los últimos 27 años, realizándose un arduo trabajo de búsqueda de resultados tanto en digital como en forma análogo, que fueron digitalizados con la finalidad de obtener a partir de los lazos de ensayos cíclicos, las curvas de comportamiento de los diversos muros fabricados construidos con unidades artesanales, industriales, huecas, tubulares y sólidos. Asimismo la base de datos también incluye muros con configuración variable (simple, H, con aberturas, compuesto, etc.) teniendo una base de datos de 50 experimentos diversos. Asimismo en la base de datos se ha incluido muros de concreto de ductilidad limitada, teniendo en consideración el tamaño del refuerzo, confinamiento y espesor. En general la base de datos pretende brindar al usuario, a través de los gráficos de comportamiento de muros de albañilería y concreto, Figura 18, los valores apropiados para una modelación sísmica en modelos no lineales.

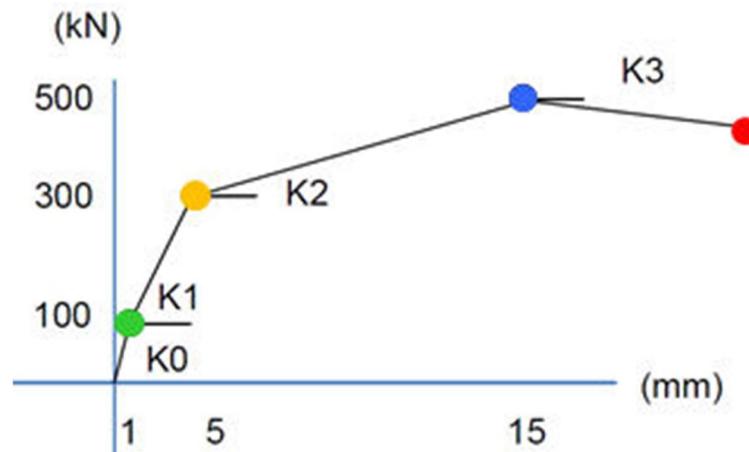


Figura 18: Parámetros de comportamiento de la base de datos.

Una muestra de las curvas de comportamiento es presentada para el caso de muro sólido de albañilería en la Figura 19, donde puede apreciarse las relaciones entre las diversas rigideces instantáneas mostradas en la Figura 18 y la rigidez inicial (k_0). Estos valores pueden ser usados para el análisis no lineal, tomando como curvas iniciales modelos multi-lineales generados a partir de estos resultados.

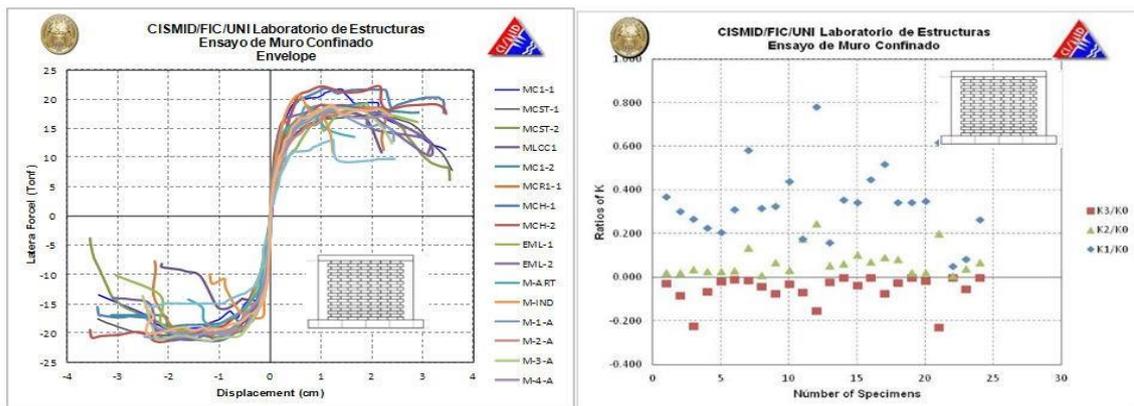


Figura 19: Curvas envolventes o de comportamiento en muros sólidos . relaciones de rigidez

2. DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS PARA EL DIAGNÓSTICO Y REFORZAMIENTO DE DIFERENTES TIPOS DE EDIFICACIONES PREDOMINANTES EN PERÚ

El diagnóstico del comportamiento sísmico de edificaciones predominantes en Perú fue tratado en el proyecto SATREPS a través de la generación de modelos numéricos, utilizando diversos programas de análisis estructural, a in de investigar el comportamiento de las estructuras en un rango lineal y no lineal. Se utilizaron programas como DIANA, SAP-2000, ETABS, STERA, con la finalidad la de estimar las fuerzas de demanda sísmica en los elementos estructurales (viga, columna, muros, techos) así como diagnosticar las deformaciones máximas producidas para la demanda sísmica.

En este contexto, estructuras de diversos materiales y sistemas estructurales (muros de mampostería y pórticos de concreto) son investigados con la finalidad de conocer su comportamiento sísmico y así mismo considerar el monitoreo de estas estructuras utilizando sensores de aceleración ITK, que trabajan en tiempo real transmitiendo las señales a través de la internet y grabando los eventos en servidores locales alojados en los edificios en estudio. Estos edificios son: Pabellón Central UNI, Bloque medio del Edificio G2 FIC-UNI y el Pabellón A del Hospital Edgardo Rebagliatti de ESSALUD, tal como se muestra en la Figura 20.

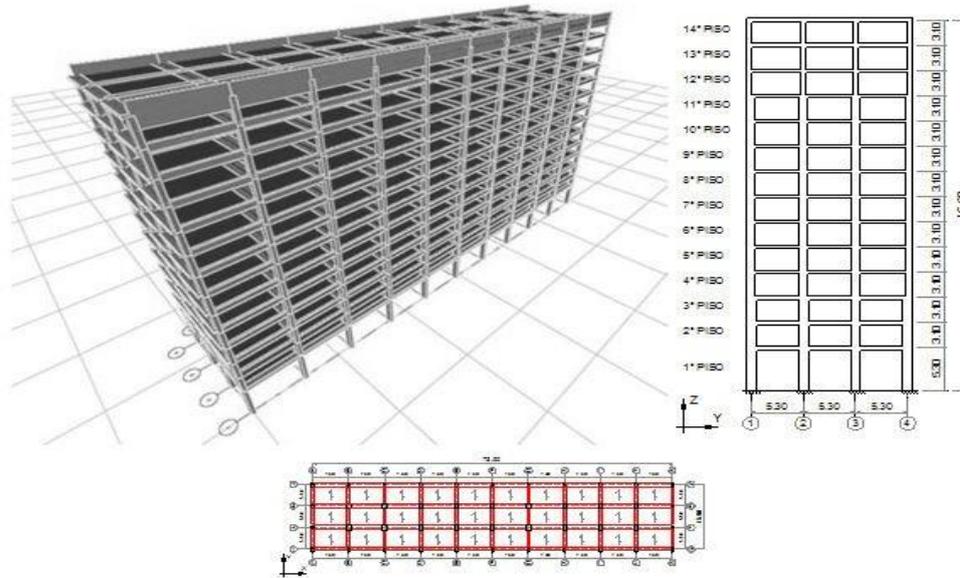


Figura 20: Modelo matemático del Pabellón A, del Hospital E. Rebagliatti M.

El resultado de este diagnóstico nos presenta la secuencia de falla de los elementos estructurales en cuatro etapas, encontrándose que en la dirección transversal, la estructura muestra un nivel de riesgo, donde las distorsiones correspondientes a los distintos niveles de la edificación, en algunos pisos intermedios superan la distorsión máxima permitida (mostrada en línea roja) de la Norma de Diseño sismo resistente NTE-E-060 y además escapa de las recomendaciones que OPS para conservar la respuesta sísmica protegiendo el contenido, también denominado criterio del hospital seguro. En la Figura 21 se muestra los resultados del análisis estructural del modelo matemático del Pabellón A del Hospital E. Rebagliati M.

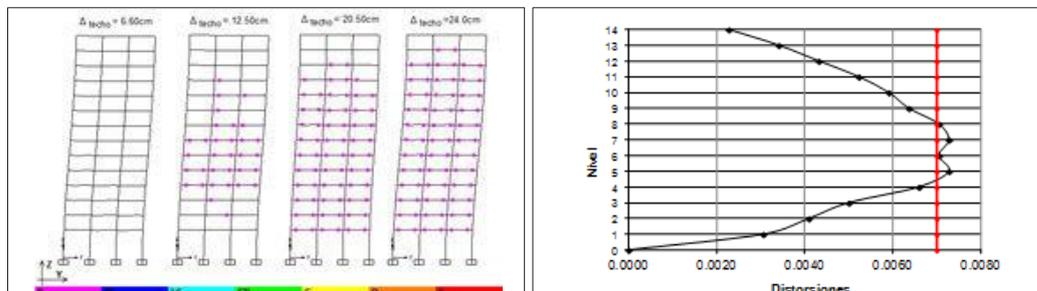


Figura 21: Análisis no-lineal del modelo matemático

Como consecuencia de este diagnóstico, estimamos que el Pabellón A, experimentaría cierto nivel de daño el mismo que puede mitigarse mediante un reforzamiento estructural.

En ese sentido existen diversas técnicas de refuerzo, como la inclusión de muros de corte, la inclusión de amortiguadores sísmicos en conjunto con sistemas de arrojamiento metálico, el incremento de las secciones columna, entre otras soluciones factibles.

En forma similar se realizaron análisis no lineales para las estructuras del Pabellón medio G de la FIC-UNI bajo diversos terremotos. A manera de ilustración se muestra en la Figura 22 la respuesta sísmica considerando modelación no lineal ejecutada con el programa STERA-3D, donde se observa en amarillo los elementos que alcanzan su máxima capacidad durante estos eventos sísmicos históricos severos.

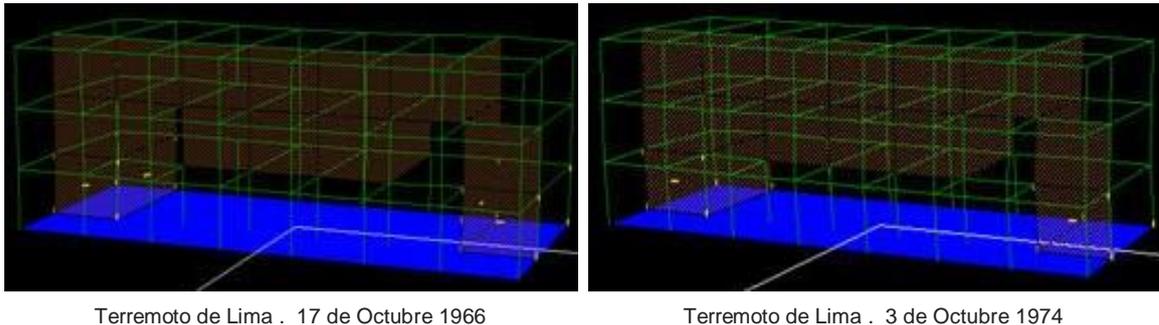


Figura 22: Análisis no-lineal del modelo matemático del Pabellón G de la Facultad de Ingeniería Civil UNI

Implementación de Red de Monitoreo Sísmico de Edificios

Bajo el marco del proyecto de cooperación Japón Perú, SATREPS, se viene implementando desde el 2011 una red de monitoreo de edificios. La red de monitoreo de edificios consiste en la medición de la vibración en tiempo real de las edificaciones; estas vibraciones pueden producirse debido al viento, maquinarias cerca o dentro del edificio, y principalmente por sismos.

Un evento sísmico puede ser de diferente magnitud, y producir diferentes niveles de vibración en el edificio, y con cada vibración puede investigarse las propiedades dinámicas de la estructura y su variación de acuerdo a cada excitación mediante la data obtenida durante el monitoreo; la cual puede ser observada en tiempo real a través de internet.

Una de las aplicaciones más útiles de este sistema es la detección del daño en los edificios, mediante el análisis de la respuesta del edificio durante el evento sísmico. La detección del daño puede realizarse inmediatamente después del evento, y así conocer cuantitativamente la situación del edificio; es decir si puede o no soportar un próximo evento sísmico, y de esa manera poder comunicar a las autoridades pertinentes y habitantes de dicho edificio si este es seguro o no, tomando la decisión más adecuada.

Adicionalmente, esta información sirve para conocer si el edificio necesita ser reforzado, y en qué nivel la capacidad de la estructura necesita ser incrementada.

Actualmente, tres edificios de Lima están siendo monitoreados, estos son el Bloque A del Hospital Edgardo Rebagliati Martins, el Pabellón Central de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) y el Bloque G de la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI. Los factores que determinaron la

selección de estos edificios fueron que tienen más de 50 años de antigüedad, representan sistemas constructivos típicos en Lima fundados sobre dos tipos de suelo (rígido e intermedio) y de acuerdo a la norma sismorresistente Peruana son catalogados como edificaciones esenciales e importantes. El conocimiento del comportamiento dinámico de estos edificios puede ser extendido a otros de características similares puesto que los edificios seleccionados son representativos.

A pesar que aún no se han registrados eventos sísmicos importantes y la cantidad de eventos no es muy amplia, las expectativas que se tienen sobre esta red de monitoreo de edificios es alta, pues con su implementación es posible entender el comportamiento dinámico de las estructuras típicas en Lima, y ser capaces de anticipar la respuesta de los edificios para así reducir su vulnerabilidad, mediante diferentes técnicas de reforzamiento que están siendo estudiadas por otros equipos de investigadores dentro del marco de este proyecto de cooperación SATREPS. En la vista se muestra una tabla con los registros de sismos hasta la fecha, presentándose la profundidad, magnitud y distancia desde el epicentro a los edificios: HERM: Hospital Edgardo Rebagliatti Martins, PC-UNI: Pabellón Central UNI, FIC-UNI: Pabellón G FIC UNI.

Los registros de las señales de aceleración son presentadas para el caso del edificio HERM, notándose la amplificación de la señal ITK00: base e ITK04 en el cuarto piso. Usando estas señales se produce el espectro de respuesta para el evento más fuerte registrado por la red desde su instalación 03/06/2014. La Figura 23 muestra algunos de los resultados obtenidos del monitoreo de edificios.

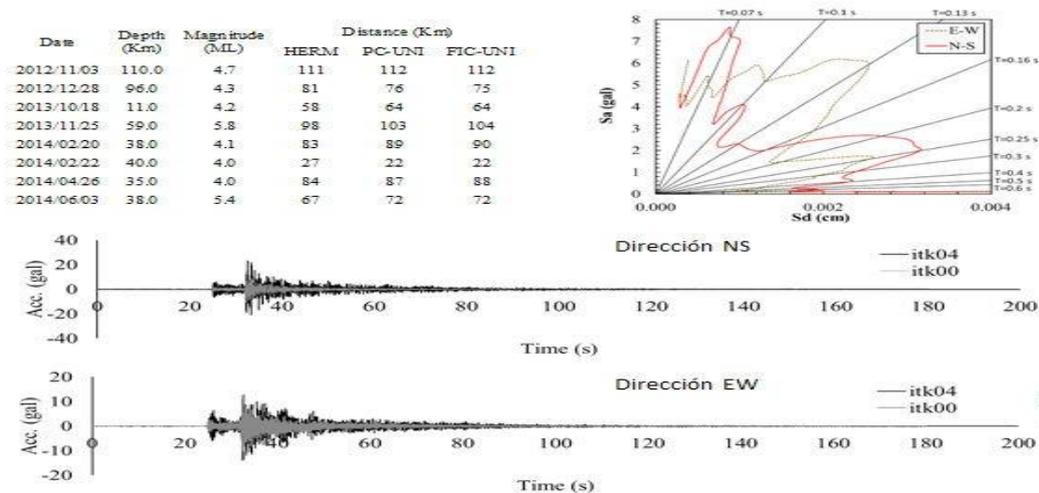


Figura 23: Análisis de la vibración de los edificios observados en la Red de Monitoreo.

3. IDENTIFICACIÓN DE EDIFICIOS DE VALOR HISTORICO EN ÁREAS DE ESTUDIO QUE ENFRENTAN RIESGO FRENTE A SISMOS

El patrimonio histórico de un país es una parte de la memoria de la nación y su conservación forma parte del patrimonio nacional, dentro de este ámbito, el centro de la ciudad de Lima es considerada Patrimonio de la Humanidad, cuyos edificios, calles y plazas de Lima han evidenciado la historia colonial y republicana. En el caso de los monumentos históricos son construcciones declaradas intangibles por su belleza y su valor histórico, por lo tanto no pueden ser alterados ni demolidos. Sin embargo, la falta de control hace que cada año se destruyan monumentos de este tipo ya sea por el pasar del tiempo, incendios y fenómenos sísmicos menores hacen que estas construcciones se pierdan. Debido a lo expuesto el Proyecto SATREPS ha considerado realizar una evaluación de los monumentos históricos de la Lima colonial, hoy ubicado en el distrito del Rímac. En coordinación con el

Ministerio de Cultura se ha desarrollado una ficha técnica de evaluación de edificios de valor histórico, que involucra la evaluación de 10 importantes iglesias del distrito del Rímac, como se muestra en la Figura 24, representante vivo de la Arquitectura Religiosa del Patrimonio Cultural Colonial y Republicano.

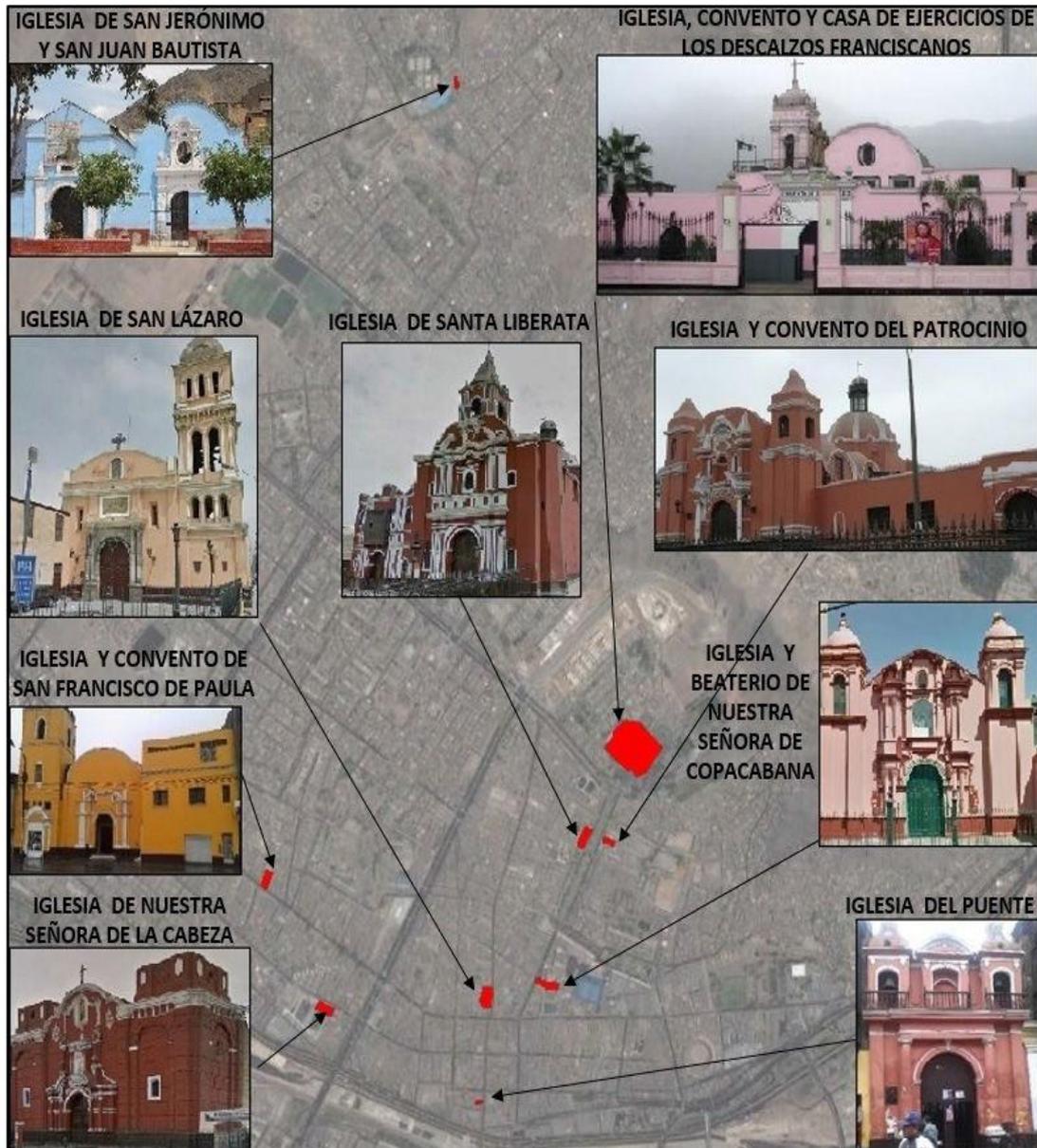


Figura 24: Monumentos históricos evaluados en el distrito del Rímac.

4. VERIFICACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE REFORZAMIENTO A TRAVÉS DE ENSAYOS Y ANÁLISIS NUMÉRICO

Es de preocupación constante el conocimiento de los sistemas estructurales nuevos que han sido aplicados en edificios altos de las ciudades del Perú, en especial en la ciudad de Lima, donde los llamados muros de pared delgada, con espesores de 8 cm. y 10 cm. pretenden resistir fuerzas de terremotos extremos, pero con limitaciones de ductilidad. Estas limitaciones están dadas por la falta de confinamiento en los encuentros de muros o extremos de los mismos, que al aplicarse en alturas de 12, 14 o 16 pisos, nos llaman a la reflexión de su comportamiento sísmico. Por esta razón dentro del proyecto SATREPS se ha considerado el estudio de estos muros que poseen una capacidad limitada de deformación luego del fisuramiento y la fluencia de su refuerzo, lo que se denomina, ductilidad limitada. Las condiciones de estos ensayos han considerado estados de carga con 5 pisos sobre el espécimen construido a escala real, considerando una relación de aspecto largo-altura de los muros cercanos a la unidad y teniendo en cuenta que el concreto utilizado satisface los requerimientos de la norma NTE-E060. La Figura 25 muestra algunos de los ensayos realizados en muros de ductilidad limitada en el Laboratorio de Estructuras de CISMID.



Figura 25: Ensayo cíclicos en muros de ductilidad limitada.

Se ha experimentado con muros planos y muros con sección en H, que incluyen la interacción de los componentes perpendiculares y el aporte de estos muros al muro plano. Como consecuencia de estos ensayos el aporte que brindan los muros perpendiculares es muy importante. Bajo el proyecto SATREPS se han realizado una serie de ensayos cíclicos en muros de albañilería con unidades industriales y artesanales, los cuales han sido comparados con experimentos realizados anteriormente en otro tipo de unidades industriales y artesanales en el Laboratorio de Estructuras de CISMID. En la Figura 26 se muestra las curvas de capacidad obtenida en los ensayos realizados durante este proyecto.

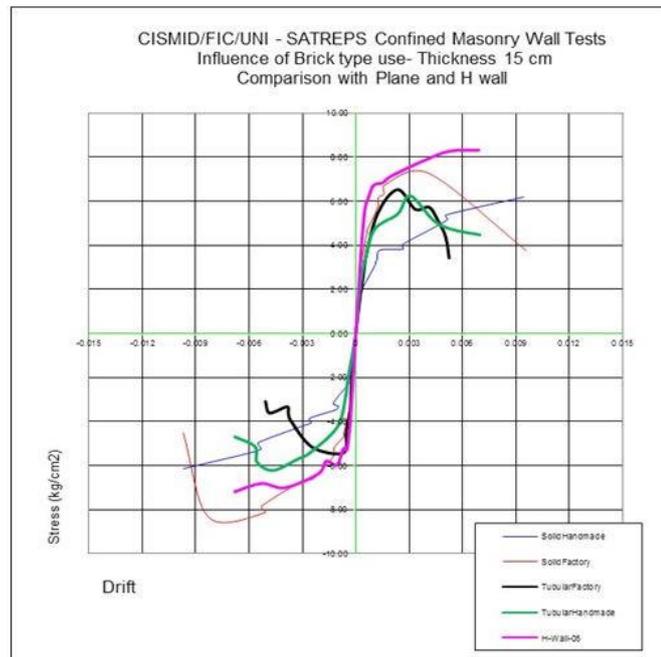


Figura 26: Comparación curvas de capacidad de muros de albañilería con unidades artesanales e industriales.

Observándose que la inclusión de muros perpendiculares a un muro en plano puede aumentar su capacidad elástica (antes de agrietarse y luir su refuerzo) hasta en 2.4 veces, sin embargo una vez que se inicia la degradación por fisuración y fluencia del refuerzo, la resistencia limite baja progresivamente hasta llegar a un nivel de 1.4 veces. La comparación de las capacidades se muestra en la Figura 27.

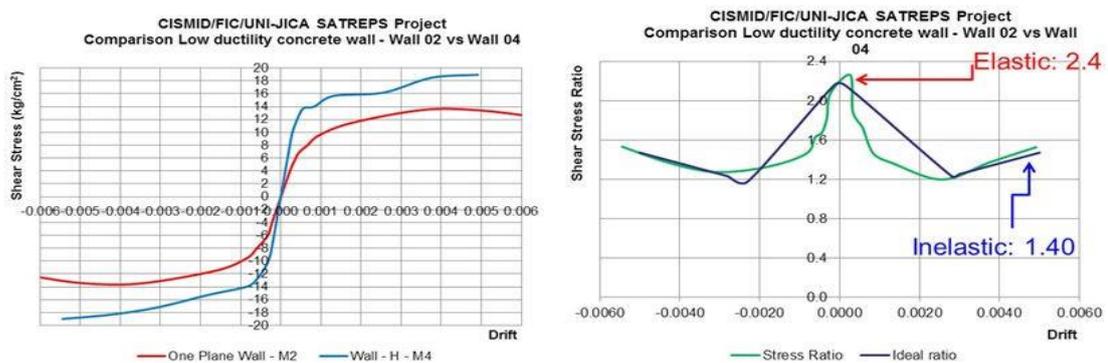


Figura 27: Estudio experimental de muros de ductilidad limitada y la influencia de muros perpendiculares a éstos.

Al igual en el caso de los materiales convencionales como la albañilería tubular, donde se espera tener daño debido a sismo severo y a la aplicación de muros de ductilidad limitada en estructuras de 10, 12, 16 pisos, donde los muros ya no trabajen al corte, sino trabajen en una combinación de esfuerzos de flexión y corte, es necesario plantear técnicas de reforzamiento apropiadas, con la finalidad de asegurar un buen comportamiento estructural durante sismos severos.

Tanto para el caso de la albañilería de ladrillos tubulares como para placas delgadas, una alternativa de refuerzo es el uso de mallas electro soldadas en conjunto con emulsiones epóxicas. El proceso consiste en abrir orificios de manera que puede ir la malla de lado a lado, pintar con emulsión epóxica de manera que luego se lanza mortero de relación cemento-arena 1:4, enrazando y tarrajando finalmente, tal como se detalla en la Figura 28.



Figura 28: Estudio experimental de nuevas técnicas de reforzamiento en muros de albañilería.

5. ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS POR TERREMOTO EN ÁREAS DE ESTUDIO PARA UN ESCENARIO SÍSMICO ESTIMADO

Haciendo uso de las técnicas de diagnóstico, es posible elaborar aproximaciones de la respuesta sísmica de las edificaciones de un distrito o asentamiento humano completo, a través de la evaluación del uso de un simulador de la respuesta sísmica. El uso de un método de simplificado para el cálculo de la respuesta debida a terremoto en edificios de mampostería, concreto, adobe, quincha y otros materiales, está basada en el uso de sistemas de un grado equivalente al sistema estructural real, denominado Simulador de Respuesta Sísmica y Nivel de Daño (SRSND), desarrollado en CISMID. Utilizando la base de datos de ensayos a escala natural, una función de daño fue desarrollada para la evaluación del costo de los daños sobre la base de la respuesta al terremoto, teniendo como parámetro de estimación la distorsión máxima generada por el sismo en el edificio. Debido a que los costos de reforzamiento no sólo dependen de los materiales, sino también de la consideración de los parámetros socioeconómicos, la herramienta introduce esto en el cálculo del costo de reparación. En ese sentido, las viviendas en zonas de clase A, producen una función con costo de reparación muy costosa. Por otro lado, en el caso de la vivienda de adobe el costo de reparación es bastante bajo y se incluyen diferentes funciones. Por lo tanto, la dependencia entre el parámetro socioeconómico y la evaluación de costo de reparación es tomada en cuenta para el uso de una serie de funciones de daño. La evaluación rápida de riesgos de las pérdidas del terremoto ha sido probado usando los datos de evaluación de campo realizada por CISMID en la ciudad de Pisco luego del terremoto y se ha utilizado en la evaluación del riesgo sísmico en distritos en la ciudad de Lima, con buenos resultados.

Como parte de los productos de SATREPS y del Programa PP-068 - PREVAED, se ha desarrollado el estudio de riesgo sísmico de Lurín e Independencia, que se suman a los resultados de los distritos

elaborados bajo el mismo programa en convenio con el Programa Nuestras Ciudades del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, totalizándose a la fecha 15 distritos en la ciudad de Lima, sumándose distritos en el Sur del Perú, Arequipa, Tacna, Ica entre otros, asegurándose la sostenibilidad del Proyecto SATREPS.

En el mapa de la Figura 29 se muestran las zonas en riesgo, tanto para los diagnósticos efectuados en los distritos de Lurín e Independencia, como para la totalidad de los distritos estudiados por CISMID a la fecha y la simulación desarrolladas con SRSND. En la Tabla 2 se detallan los niveles de daño expresados como porcentaje del costo de reparación en relación al costo actual de la vivienda.

Tabla 2: Clasificación de los diferentes niveles de daño en edificaciones

Color	Riesgo % Costo Reparación	Nivel Daño	Nivel Daño	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	Sin daño o daño superficial
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	Daño leve
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	Daño moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	Daño severo
Rojo	> 85%	Nivel V	5	Colapso

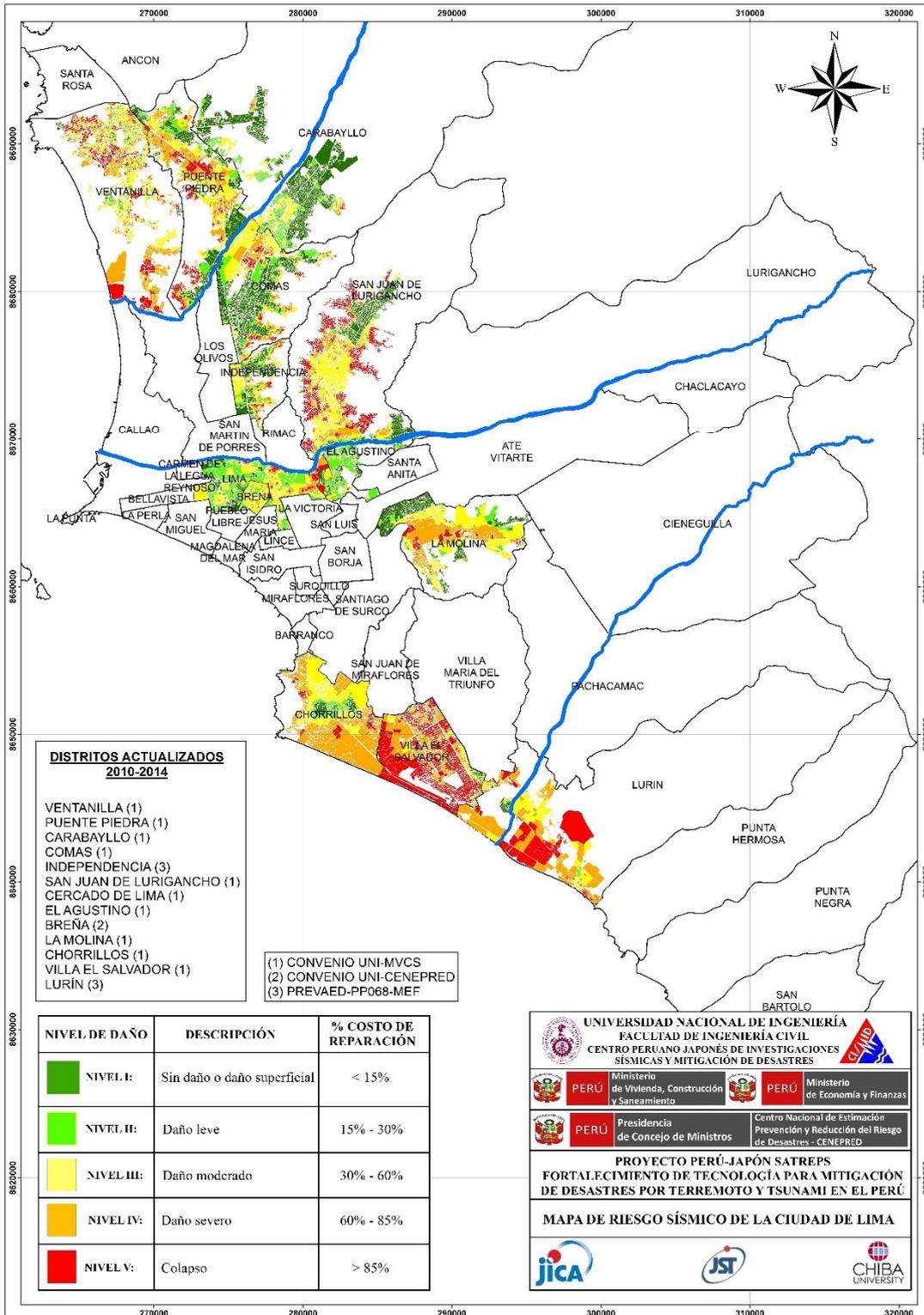


Figura 29: Mapa de riesgo para la ciudad de Lima según el escenario sísmico elaborado en el Proyecto SATREPS.

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G4 DEL PROYECTO SATREPS EVALUACIÓN Y DETECCIÓN DE DAÑOS

Dr. Ing. Miguel Estrada

Dentro del marco del proyecto SATREPS que agrupa acciones multidisciplinarias que viene realizando el CISMID, el Grupo 4 de Evaluación y Detección de daños, ha tenido a su cargo la realización de investigaciones concernientes la recopilación y ordenamiento de la información geográfica de las áreas de estudio que son las ciudades de Lima y Tacna, generando modelos digitales de la superficie (DSMs) mediante el uso de imágenes satelitales. Por otro se han desarrollado metodologías para la detección de zonas de daño producidas por eventos naturales que afectan a zonas urbanas. Todos estos estudios se basan en tecnología satelital utilizando tanto imágenes ópticas como de radar para una mejor eficiencia en los resultados. A continuación se detalla en forma resumida estas investigaciones y sus resultados.

1. GENERACIÓN DE MODELOS DIGITALES DE SUPERFICIE (DSMs) CON IMÁGINES SATELITALES

Con la finalidad de construir una base de datos geo-espacial y geo-referenciada que contenga los modelos digitales de la superficie (DSMs) y la distribución espacial de las edificaciones, en un área amplia y con diferentes condiciones geográficas se realizaron análisis de imágenes digitales de la ciudad de Lima, provenientes de los sensores ASTER, los cuales tienen una resolución espacial de 30 m y están a bordo del satélite Terra, el cual que cubre casi toda la superficie terrestre. Una amplia gama de modelos digitales de la superficie del terreno fueron construidos usando la información de los DSMs, incluidos los mapas de pendientes y áreas conteniendo zonas húmedas. Estas características del terreno son identificadas para conocer las condiciones sobre las cuales se encuentran las edificaciones y de alguna manera considerarlas en el cálculo del riesgo sísmico, ya que como se sabe las zonas de pendiente y zonas con niveles freáticos altos aumentan la amenaza sobre las edificaciones, sobre todo en aquellas que han sido construidas de manera informal. Por otro lado, debido a la falta de información catastral y por ser la altura de las edificaciones un factor importante en el cálculo de su vulnerabilidad sísmica, se construyeron bases de datos geoespaciales de altura de edificaciones los cuales fueron combinados con los mapas DSM, este análisis se realiza con una resolución de 5 m. aproximadamente. Este análisis se basó en imágenes de satélites ópticas de alta resolución adquiridas mediante los satélites y sensores ALOS/PRISM e IKONOS, logrando alta precisión en altura y comparando las sombras de los tamaños actuales de los edificios, tal como se muestra en la Figura 30.



Figura 30: Generación de modelos digitales de zonas urbanas para la identificación de zonas en riesgo y cálculo de pendientes de terreno. En la imagen se observa una zona de crecimiento informal en el distrito de Comas, Lima.

2. GENERACIÓN DE MAPAS DE USO DE SUELO Y MAPAS DE INVENTARIO DE EDIFICACIONES CORRESPONDIENTES AL ÁREA DE ESTUDIO MEDIANTE EL USO DE IMÁGENES SATELITALES

La información existente de áreas urbanas de la ciudad de Lima fue obtenida tomando como referencia las imágenes del satélite Landsat en series de tiempo, estas imágenes con resolución espacial de 30 m. en conjunto con mapas existentes fueron integradas para la identificación del uso del suelo y el crecimiento urbano en la ciudad de Lima. Un inventario de toda la ciudad de Lima fue construido, proponiéndose un número estimado de habitantes en función de la altura de las edificaciones, Figura 31, tipo de sistema estructural, y utilizando los datos obtenidos del censo de viviendas y verificados en campo por el grupo de investigadores en contraste con los resultados de la construida a partir de la imagen satelital.

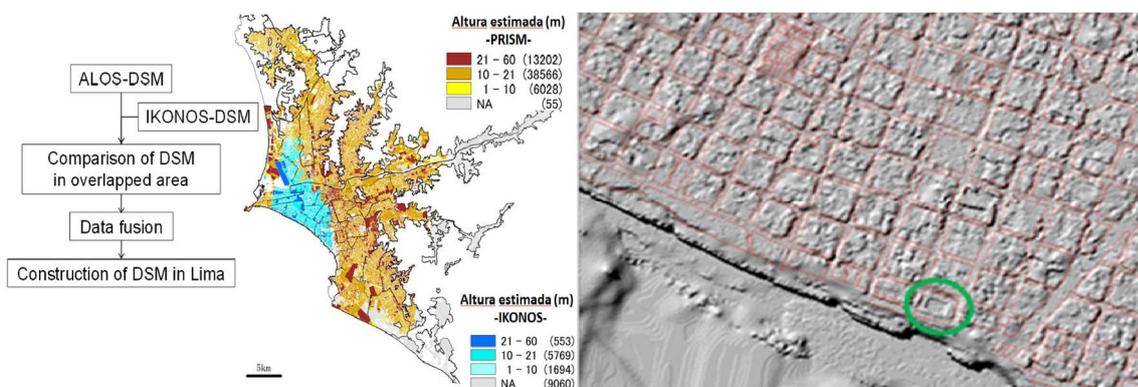


Figura 31: Procedimiento para la obtención de la altura de edificaciones y detalle mediante el uso de imágenes IKONOS.

En el caso de la ciudad de Tacna, se produjeron los datos de las alturas de los edificios con las imágenes del satélite ALOS/PRISM, con la finalidad de preparar el inventario de edificios. Se realizó una clasificación de los edificios, conduciendo a un análisis supervisado, en conjunto con una campaña de campo para verificar la calidad de los datos.

3. ESTIMACIÓN DE DAÑOS EN ZONAS URBANAS MEDIANTE LA INTEGRACIÓN DE CURVAS DE FRAGILIDAD Y EL PROBABLE ESCENARIO SÍSMICO

Utilizando las herramientas generadas por el Grupo G3, fue posible el desarrollo de funciones de daño o curvas de fragilidad para edificaciones de concreto armado, albañilería y adobe, tomando como parámetros la aceleración máxima del terreno (Peak Ground Acceleration . PGA) y la velocidad máxima del terreno (Peak Ground Velocity . PGV). Estas funciones fueron calibradas con los datos del levantamiento de daños del sismo de Pisco del año 2007. Asimismo la información proveniente del Grupo 1, fue acondicionada a la base de datos, utilizándose una serie de mediciones de arreglos con microtrepidaciones del terreno, de manera de implementar los diferentes escenarios sísmicos para el cálculo del probable daño en las edificaciones a nivel urbano, en la ciudad de Lima, tal como se muestra en la Figura 32.

La evaluación del daño probable se hizo mediante la implementación de una aplicación en una plataforma de Sistema de Información Geográfica . SIG, que se efectuó mediante rutinas elaboradas usando el lenguaje de programación Python, que hicieron posible el cálculo del daño en edificios y su distribución espacial en el territorio combinados con el movimiento del terreno estimado por el Grupo 1. De manera similar se produjeron estimaciones del daño generado para un sismo de gran magnitud, aplicando el inventario urbano y los parámetros de material y comportamiento sísmico.

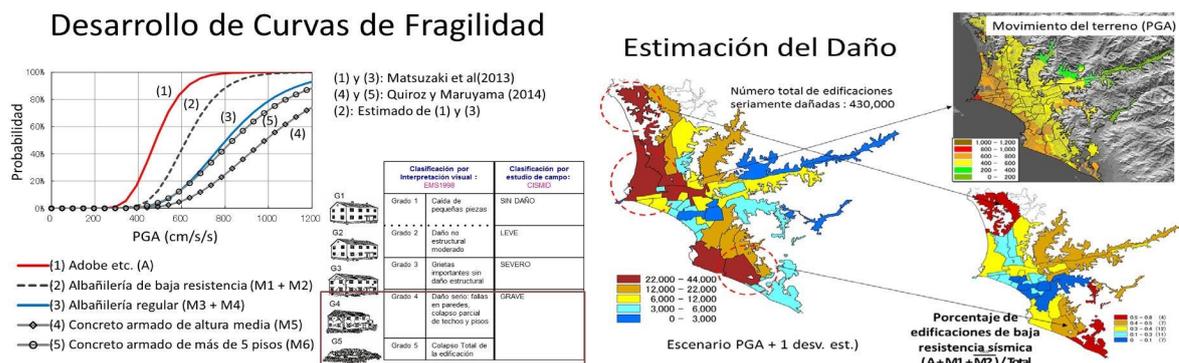


Figura 32: Desarrollo de curvas de fragilidad y estimación del daño para Lima Metropolitana.

4. DESARROLLO DE TECNOLOGÍA PARA EVALUACIÓN RÁPIDA DE DAÑOS POR TERREMOTO Y TSUNAMI

Los investigadores del proyecto de este grupo, desarrollaron una metodología de detección rápida del daño a partir del procesamiento y análisis de imágenes de satélite. Los métodos se basan en la discretización de áreas afectadas por sismos que se han generado en Perú en los últimos años (1996, 2001, 2007) y usando imágenes del satélite L-band Synthetic Aperture Radar (SAR).

Se logró estimar el porcentaje de daño de edificios afectados, considerando la caracterización de los edificios predominantes en el Perú, y las consideraciones de daño, calibrándose los resultados y la metodología con los datos del sismo de Pisco del año 2007.

Adicionalmente, el método fue mejorado para obtener un modelo de estimación más preciso para la estimación del porcentaje de daños, al integrar los niveles de intensidad sísmica producidas por el terremoto. En el caso de imágenes ópticas se desarrollaron dos tipos de evaluación, una con la comparación multi-temporal de imágenes satelitales geo-referencias, las cuales mediante su

procesamiento y análisis se logró automatizar la detección de las áreas de daño probable, ver Figura 33. Otra metodología son las inspecciones visuales de las imágenes de alta resolución espacial luego de ocurrido los terremotos que ayudan a mejorar la estimación de los daños en las edificaciones. Por otro lado se logró identificar la deformación de la corteza terrestre producida por el sismo de Pisco del año 2007, al ser extraída a partir del procesamiento de las imágenes del satélite ALOS/PALSAR y la información interferométrica de satélites con sensores tipo SAR.

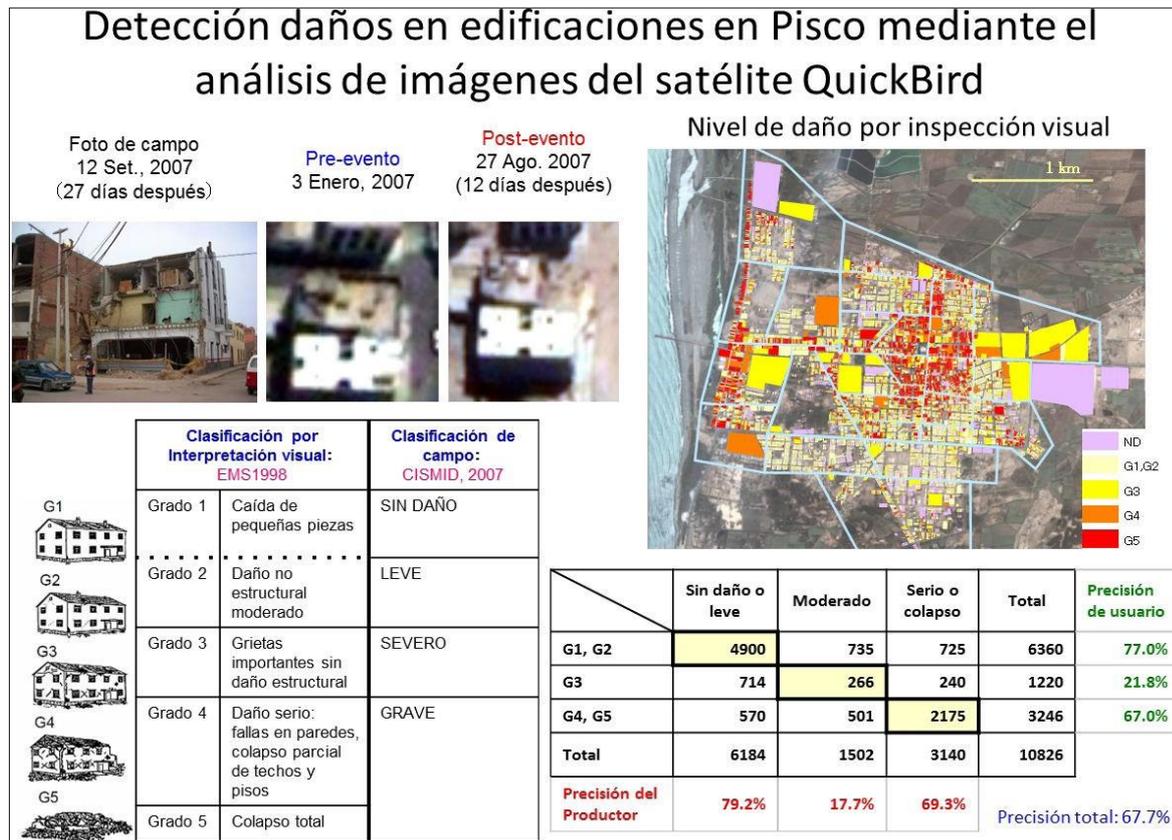


Figura 33: Detección del daño mediante la comparación multitemporal de imágenes satelitales de alta resolución.

5. INSTALACIÓN DE UNA ESTACIÓN DE REFERENCIA GPS DE OPERACIÓN CONTINUA

Como un aporte adicional al proyecto SATREPS y gracias a la ayuda del Ministerio de Economía y Finanzas, a través del Programa Presupuestal 068: Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastre, CISMID ha adquirido una estación GPS del tipo Continuously Operating Reference Station (CORS) la cual ya ha sido instalada en una torre metálica altamente rígida de 5 metros de altura para cumplir con las exigencias de la National Geodetic Survey, tal como se muestra en la Figura 34. Esta estación de monitoreo permanente GPS es de muy alta precisión con 440 canales de adquisición con la posibilidad de no sólo registrar datos de la constelación GPS sino también de las constelaciones GLONASS y GALILEO, la cual tiene una precisión de 3 milímetros y complementará el monitoreo de los movimientos sísmicos de la Red Acelerográfica de CISMID. Adicionalmente se colocarán 10 estaciones de registro alrededor de 200 kilómetros en la costa de Lima y hacia el este de

la ciudad, para monitorear el movimiento de la corteza terrestre y en el caso de un sismo determinar las deformaciones producidas. La señal de esta estación estará abierta en tiempo real a través de los nuevos servidores de alta capacidad que serán instalados en el Centro de Monitoreo Sísmico de nuestro Centro de Investigaciones.



Figura 34: Estación de Referencia GPS de Operación Continua instalada en el Campus CISMID.

TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN REALIZADOS POR EL GRUPO G5 DEL PROYECTO SATREPS ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO PLAN MITIGACIÓN DE DESASTRES

Ing. Alberto Bisbal

Dentro del marco del proyecto SATREPS que agrupa acciones multidisciplinarias viene realizando el CISMID, el Grupo 5 es el encargado de la Administración del Proyecto y la elaboración de un Plan de Mitigación de Desastres. Este grupo compila la información de las investigaciones elaboradas por los grupos 1,2,3 y 4, elaborando con esta información medidas que conduzcan a un plan de mitigación de desastres en los distritos objetivo del proyecto (Lurín, Independencia, Tacna). Adicionalmente el grupo 5 tiene la misión de transferir la información a los tomadores de decisión y dar a conocer los productos de generados por los investigadores de otros grupos a través de talleres, conferencias, conversatorios y difusión a través de medios de comunicación.

1. ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE MEJORA A LOS PLANES DE MITIGACIÓN

Como es de conocimiento público el modelo actual del manejo de la gestión del riesgo y desastres, esta normado por la Ley 29664, Ley de creación del Sistema Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres - SINAGERD, donde el nivel político es manejado por la Presidencia del Consejo de Ministros, a través de su Secretaria de Gestión del Riesgo de Desastres a nivel político, y a nivel estratégico, generando los lineamientos para la gestión de riesgo de desastres a través de CENEPRED e INDECI. El tercer nivel es el ejecutivo donde se encuentran los sectores, gobierno local y gobiernos regionales.

CENEPRED, formula instrumentos de gestión, propone instrumentos técnicos normativos, asesora procesos de investigación, y conducción de planificación integral estratégica, genera asistencia técnica para la formulación de PIP en gestión de riesgo.

INDECI, se encarga de la preparación respuesta y rehabilitación en la gestión de riesgo de desastres. Una de sus funciones es desarrollar, coordinar y facilitar la formulación y ejecución del plan nacional de gestión de riesgo y desastres en los procesos de su competencia, promoviendo su implementación. Una de sus tareas es la realización de una respuesta óptima de la población durante los desastres, realizando ejercicios periódicos a in de ejercitar las capacidades de los centros de operaciones de emergencia de los gobiernos locales y regionales de manera coordinada.

Los ejecutores de los planes de gestión del riesgo y desastres son los gobiernos locales, quienes bajo los lineamientos de CENEPRED e INDECI, gestan sus planes de gestión de riesgo y desastres. En la actualidad aún son muy pocos los gobiernos locales que cuentan con planes y protocolos. Existen iniciativas como los gestados a nivel metropolitano en Lima, pero que requieren de implementación por parte de los gobiernos distritales.

En el marco del proyecto SATREPS, es en esta etapa donde el Grupo 5 pone a disposición de los tomadores de decisión (Alcaldes, Presidentes de Región) los instrumentos de gestión y productos que los investigadores del proyecto han desarrollado, ya que pueden utilizar los mapas, procedimientos,

recomendaciones para la toma de decisiones, gestión de ordenanzas municipales, manejo del uso del suelo, identificación de zonas, infraestructura y viviendas en riesgo. También permite la formulación de presupuestos de contingencia debido a la ocurrencia de un desastre, así como la elaboración de planes de atención y recuperación ante desastres por terremoto y tsunami muy severos. Muchos de los productos del proyecto pueden ser usados rápidamente como lo ilustra la Figura 35.

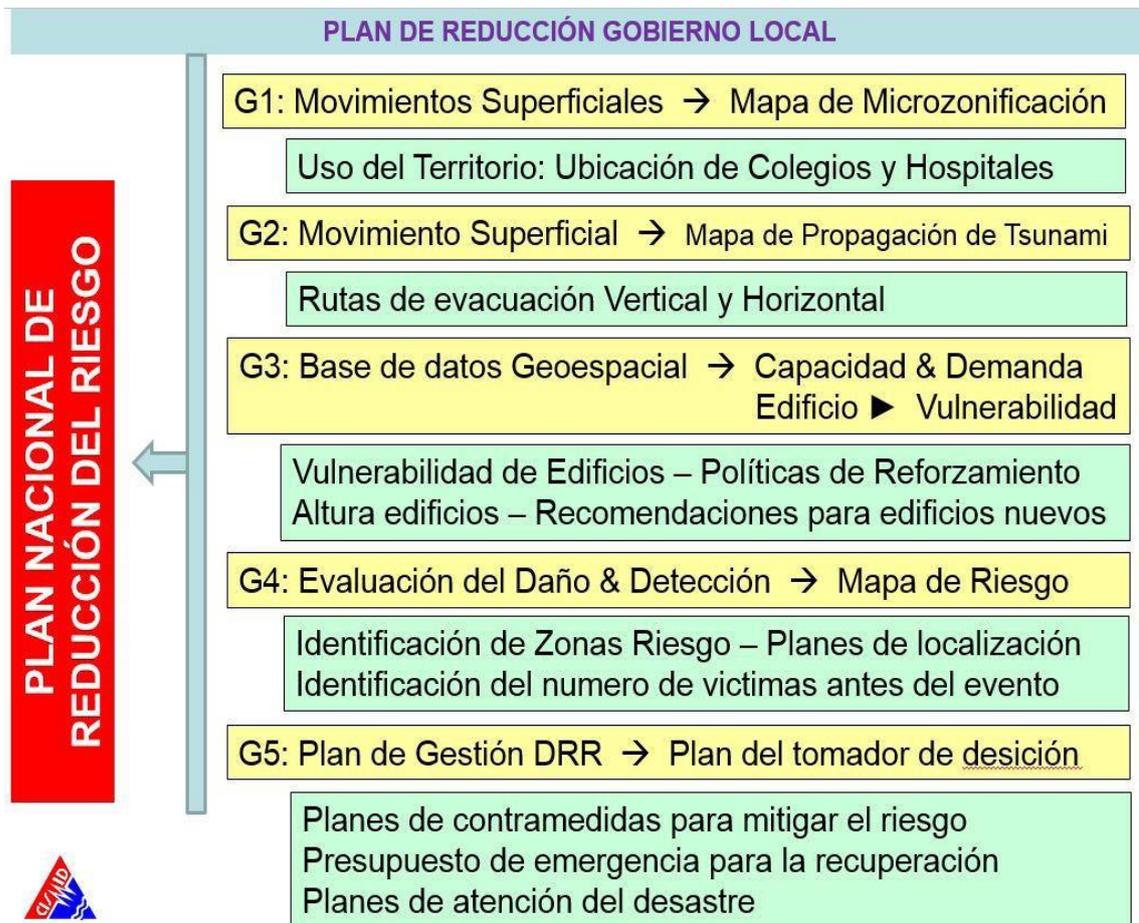


Figura 35: Comparación entre las actividades de los grupos del Proyecto SATREPS y los planes gubernamentales.

2. PLANES DE CONTRAMEDIDAS PARA MITIGAR EL RIESGO

Entre las actividades para mitigación del riesgo, se han desarrollado eventos de difusión de las actividades generadas en el proyecto habiéndose tenido conferencias internacionales que mostraban los avances del proyecto tanto de parte de los investigadores Japoneses, como de parte de los investigadores Peruanos, y en muchos casos mostrando la interacción de las investigaciones, generándose transferencia tecnología y de aprendizaje por parte de nuestros jóvenes investigadores.

También se realizó un ejercicio de simulación de tsunami vertical en el distrito de la Punta como parte de los procedimientos de preparación, ya que la Punta es uno de los distritos con mayor riesgo frente a la acción de un terremoto y tsunami. Esta actividad se ve graficada en la Figura 36.



Figura 36: Simulacro de evacuación en caso de tsunami, considerando refugios verticales, en el distrito de La Punta.

La entrega de los estudios realizados en los distritos objetivos del proyecto incluyó la presentación a sus autoridades y público en general, dando a conocer las recomendaciones que el tomador de decisión debe optar para mejorar la seguridad frente a desastres de su población. Para esto CISMID organizó múltiples eventos académicos de difusión, tal como se aprecia en la Figura 37 y Figura 38.



Figura 37: Eventos de difusión y entrega de resultados de estudios a autoridades gubernamentales.



Figura 38: Afiches de difusión para los eventos de académicos organizados.

3. MEJORAMIENTO DE LAS CAPACIDADES DE LOS INVESTIGADORES PERUANOS

Es aquí donde el proyecto ha asegurado la mejora de capacidades no solo de nuestro personal sino también de las instituciones participantes, teniéndose 7 doctores y 6 maestros en las especialidades del proyecto. A esto se suman 6 jóvenes investigadores que tuvieron entrenamientos cortos en Japón, así como 20 investigadores que en el transcurso del proyecto asistieron a eventos científicos (conferencias, simposios, talleres y experimentos) para presentar los avances de sus trabajos y coordinar con sus contrapartes Japonesas. Una de estas reuniones fue el Simposio Internacional sobre Mitigación de Desastres por Terremotos y Tsunamis en la Región Latinoamericana, tal como se ve en la Figura 39.



Figura 39: Simposio Internacional sobre Mitigación de Desastres por Terremotos y Tsunamis en la Región Latinoamericana, con la participación de la delegación peruana.

