

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción.

Según expertos en sismología la magnitud del próximo macrosismo en las costas de Guerrero fácilmente alcanzará una magnitud de 8.3, a menos que la energía se disipe en dos o tres sismos un poco menores, y nótese que el temblor del 19 de septiembre de 1985, tuvo 8.1 grados como magnitud, que cada 0.2 de incremento en esta escala significa la duplicación de la energía liberada y que es poco probable que el nuevo temblor ocurra ahora tan favorable como el de 1985 [1]. Seguramente las ciudades más afectadas serán Acapulco, Chilpancingo y México D.F.; es de resaltar que desde el sismo de 1985 no han ocurrido sismos de tal magnitud, algunos expertos del área pronostican que en los próximos años ocurra un macrosismo que libere gran cantidad de energía, la cual sería potencialmente devastadora para las grandes ciudades como el Distrito Federal y Área Conurbada.

Un sistema de alerta sísmica permitiría mitigar los efectos negativos causados por un sismo de la magnitud del pronosticado dada la creciente sobrepoblación que está viviendo la Ciudad de México. Dada la necesidad de contar con la infraestructura de un sistema de tal magnitud que permitiera evaluar y avisar en caso de riesgo por un temblor, surge el proyecto del Sistema de Alerta Sísmica (SAS) [2], con la utilización de instrumentación sísmica netamente desarrollada en México, lo cual resulta de vital importancia, pues ya que comprar este tipo de sensores en el mercado extranjero es sumamente caro y con la actual situación económica del País sería difícil poder disfrutar de un sistema como el que se tiene.

El SAS detecta un sismo durante los primeros segundos de su desarrollo mediante un conjunto de estaciones sensoras de campo autónomas. Generalmente, la detección de un sismo fuerte, es señalada consecutivamente por lo menos de dos estaciones. Inmediatamente después de que se confirma que es un sismo relevante, se envían señales de alerta sísmica, las cuales llegan a la población hasta con 60 segundos de anticipación, por medio de comunicaciones convencionales.

Así con el propósito de difundir y apoyar las tareas de investigación científica realizadas por ingenieros mexicanos, se crea el Centro de Instrumentación y Registro Sísmico A.C. (CIRES), con el auspicio del gobierno del Distrito Federal.

Para advertir y mitigar el efecto que causan los grandes sismos que ocurren eventualmente en la costa del estado de Guerrero, con el auspicio de la Secretaría de Obras del GDF, desde diciembre de 1989 el CIRES desarrolla el Sistema de Alerta Sísmica (SAS), de la Ciudad de México.

Además en el estado de Oaxaca, después de los sismos de 1999, que afectaron a esa entidad, el CIRES trabaja en la instrumentación del Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca (SASO) con el apoyo del gobierno de este Estado. El CIRES es miembro del Consejo de Protección Civil del Distrito Federal y está inscrito en el Registro Nacional de Instituciones Científicas y Tecnológicas del CONACyT [3].

1.2 Generalidades.

Origen de los sismos

Se denomina sismo o terremoto a las sacudidas o movimientos bruscos del terreno producido en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra o la tectónica de placas. Esta energía se transmite a la superficie en forma de ondas sísmicas que se propagan en todas las direcciones. El punto que origina el terremoto se llama foco o hipocentro¹; este punto se puede situar a un máximo de unos 700 km hacia el interior terrestre. El epicentro¹ es el punto de la superficie terrestre más próximo al foco del sismo.

1.3 Clases de Sismos [4]

- a) Volcánicos: directamente relacionados con las erupciones volcánicas. Son de poca intensidad y dejan de percibirse a cierta distancia del volcán. Sólo en las explosiones de caldera, como las de Santorini o Krakatoa alcanzan grandes intensidades [1].
- b) Tectónicos: originados por ajustes en la litosfera. El hipocentro suele encontrarse localizado a 10 ó 25 kilómetros de profundidad, aunque algunos casos se llegan a detectar profundidades de hasta 70 kilómetros y también pueden ser más superficiales. Se producen por el rebote elástico que acompaña a un desplazamiento de falla.
- c) Batisismos: su origen no está del todo claro, caracterizándose porque el hipocentro se encuentra localizado a enormes profundidades (300 a 700 kilómetros), fuera ya de los límites de la litosfera. Se pueden deber a transiciones críticas de fase en las que materiales que subducen se transforman bruscamente, al alcanzarse cierto valor de presión, en otros más compactos.

¹ Hipocentro: Es el punto en la profundidad de la Tierra desde donde se libera la energía de un sismo.
Epicentro: Es el punto de la superficie de la Tierra directamente sobre el hipocentro.

Los sismos de origen tectónico son la principal causa de movimientos telúricos en nuestro territorio. Estos liberan aproximadamente un 3% de la energía sísmica mundial, ocurriendo en promedio un sismo de magnitud mayor a 7 grados Richter cada dos años y medio.

1.3.1 Sismicidad de México

De este modo los sismos de origen tectónicos son generados por el desplazamiento relativo entre las diferentes placas, el cual no es uniforme sino a través de acomodamientos periódicos, dando lugar a los sismos. De acuerdo con las investigaciones realizadas principalmente durante este siglo, la masa de la tierra está constituida o estratificada por tres capas principales y concéntricas: la corteza terrestre, el manto y el núcleo. La primera constituye la parte más superficial del planeta y su espesor es relativamente delgado con relación al radio de la tierra. Podría compararse al cascarón de un huevo, siendo una capa sumamente compacta y dura. Esta capa, que abarca tanto los continentes como el fondo de los océanos, no está formada de una sola pieza, sino por varias placas independientes entre sí, conocidas como placas tectónicas. Bajo la corteza se encuentra lo que se conoce como el manto, constituido principalmente por material rocoso en estado de semiflujo.

En estas zonas donde el espesor de la litosfera es menor, en general en el fondo de los océanos, fluye hacia arriba y a través de las discontinuidades entre las placas, el magma que se encuentra a presión y en estado líquido baja a la litosfera. De esta manera, el nuevo material que sale del interior del planeta desplaza lentamente al material de la placa que anteriormente ocupaba este espacio, teniéndose forzosamente que destruir, por otro lado una parte de la placa que ha salido por la superficie ha creado un movimiento. Esto ocasiona que una placa se desplace sobre otra, o bien, que una placa se meta debajo de otra; a este último caso se le conoce como subducción [5].

El territorio mexicano (incluyendo sus aéreas marítimas) se encuentra sobre cinco placas tectónicas, la norteamericana, del Pacífico, de Cocos, del Caribe y la placa de Rivera. Sobre esta última existe una polémica abierta entre los especialistas en considerarla como placa o como falla geológica, sin embargo, juega un papel central en la evolución dinámica del Pacífico.

La placa de Cocos, que se extiende desde la costa de Colima hasta Centro América, en el Océano Pacífico, y hacia el sur hasta la isla de Cocos muy cerca del ecuador, se mete debajo de la placa continental (o subduce a la placa continental). Dicha placa se desplaza con una velocidad promedio de 6 a 7 centímetros por año, el cual no se realiza de manera continua, sino mediante movimientos periódicos o brinco, dando origen a los fuertes temblores donde se libera la enorme energía acumulada durante años entre las placas.

La placa de Cocos no es la única responsable de los sismos que afectan al territorio mexicano; al norte la falla de San Andrés es generada por el desplazamiento lateral entre la placa del Pacífico y la Norteamericana. En la costa de Jalisco la placa de Rivera, que

también presenta un fenómeno de subducción con la placa continental, es causa importante de sismos en esa región del país. Por otro lado, el sureste de Chiapas, junto con Guatemala, Honduras y Nicaragua, comenzaron a separarse de las actuales costas del sur de México hace unos 300 millones de años y continúan su movimiento hacia el Caribe. Sin embargo, para la capital de la República Mexicana los sismos de mayor riesgo son los generados por la placa de Cocos en las costas de Michoacán, Guerrero y Oaxaca.

1.3.2 Las ondas sísmicas

Definición

Las ondas sísmicas (u ondas elásticas) son la propagación de perturbaciones temporales del campo de esfuerzos que generan pequeños movimientos en un medio. Las ondas sísmicas pueden ser generadas por movimientos telúricos naturales, los más grandes de los cuales pueden causar daños en zonas donde hay asentamientos urbanos. Existe toda una rama de la sismología que se encarga del estudio de este tipo de fenómenos físicos. Las ondas sísmicas pueden ser generadas también artificialmente (en general por explosiones). La sísmica es la rama de la sismología que estudia estas ondas artificiales para por ejemplo la exploración del petróleo.

1.3.3 Tipos de ondas

a) Ondas de cuerpo

Las ondas de cuerpo viajan a través del interior de la Tierra. Siguen caminos curvos debido a la variada densidad y composición del interior de la Tierra. Este efecto es similar al de refracción de ondas de luz. Las ondas de cuerpo transmiten los temblores preliminares de un terremoto pero poseen poco poder destructivo. Las ondas de cuerpo son divididas en dos grupos: ondas primarias (P) y secundarias (S).

1. Ondas P

Las ondas P son ondas longitudinales o compresionales, lo cual significa que el suelo es alternadamente comprimido y dilatado en la dirección de la propagación. Estas ondas generalmente viajan a una velocidad 1.73 veces de las ondas S y pueden viajar a través de cualquier tipo de material. Velocidades típicas son 330m/s en el aire, 1450m/s en el agua y cerca de 5000m/s en el granito.

2. Ondas S

Las ondas S son ondas transversales o de corte, lo cual significa que el suelo es desplazado perpendicularmente a la dirección de propagación, alternadamente hacia un lado y hacia el otro. Las ondas S pueden viajar únicamente a través de sólidos debido a que los líquidos no pueden soportar esfuerzos de corte. Su velocidad es

alrededor de 58% la de una onda P para cualquier material sólido. Usualmente la onda S tiene mayor amplitud que la P y se siente más fuerte que ésta. Por ejemplo en el núcleo externo, que es un medio líquido, no permite el paso de las ondas S. Las ondas S hacen vibrar una partícula en sentido perpendicular a la trayectoria de las ondas, produciendo esfuerzos de corte en el medio sólido en que se propaga.

b) Ondas superficiales

Las ondas superficiales son análogas a las ondas de agua y viajan sobre la superficie de la Tierra. Se desplazan a menor velocidad que las ondas de cuerpo. Debido a su baja frecuencia provocan resonancia en edificios con mayor facilidad que las ondas de cuerpo y son por ende las ondas sísmicas más destructivas. Existen dos tipos de ondas superficiales: ondas Rayleigh y ondas Love. [4]

El algoritmo diseñado en el CIRES, evalúa el comportamiento de las ondas P y S, por ser estas últimas las que causan más daño a las construcciones, de este modo se tiene un algoritmo diseñado en base al archivo histórico de sismos ocurridos en distintas regiones del estado, donde se adecua el tipo de algoritmo, este puede ser de foco somero o foco profundo.

1.3.4 Riesgo Sísmico en México

Buena parte de la República Mexicana es intensamente sísmica. En ella se encuentran grandes ciudades de gran importancia como las de México, Guadalajara, Monterrey, el puerto de Acapulco y multitud de poblaciones menores. Por el incremento en la población y en las inversiones, serán cada vez más devastadores los movimientos sísmicos a menos que tomemos providencias para impedirlo. [6]

Hasta el momento, no es posible pronosticar con seguridad cuando y donde se producirá un sismo. No hay reglas que puedan eliminar todos los peligros de un movimiento sísmico, si bien es cierto que las pérdidas sólo pueden reducirse de forma importante mediante códigos de edificación adecuados, disposición de zonificaciones y enérgicos programas comunales destinados a intensificar la preparación en caso de desastre.

El Distrito Federal es una de las ciudades más grandes del mundo, donde el principal problema ha sido la concentración humana desmesurada y el comportamiento inestable del suelo en caso de sismos. Para ello se ha tenido que normar su crecimiento, proteger los inmuebles donde se desenvuelven sus habitantes y encargar a la ética y honestidad de ciertos profesionales, que vigilen y hagan cumplir las leyes y reglamentos que la rigen, creando una figura que se responsabilice de las construcciones.

Al cumplirse el vigésimo quinto aniversario de los terremotos de 1985, la Ciudad de México tiene la posibilidad de usar una señal de alerta sísmica si ocurre un terremoto fuerte en la costa del Guerrero. El Sistema de Alerta Sísmica (SAS) está en operación desde agosto de 1991 [7]. Y el pasado 5 de mayo de 2011 generó una señal de alerta pública que alerto oportunamente a la población de la Ciudad de México y Área Conurbada, con 55 segundos de anticipación, es por esto que se esta trabajando en la actualización y expansión de la red de Alerta Sísmica Mexicano SASMEX.

1.4 Motivación

La República Mexicana al encontrarse dentro de una zona altamente sísmica requiere contar imperantemente con un sistema de pronta detección de movimientos sísmicos; un sistema de tales características ayudará a mitigar los efectos negativos producidos por esta actividad sísmica en las grandes ciudades de la República Mexicana.

La motivación del presente trabajo radica en promover una fuente energética alternativa confiable y segura para las estaciones sensoras del Sistema de Alerta Sísmica. El esfuerzo de este trabajo está inspirado en el animo y entusiasmo de todos los que colaboramos día a día con el perfeccionamiento del sistema y que siempre esta enfocado en el progreso de la ingeniería mexicana. Además de que el Sistema de Alerta Sísmica siga cumpliendo su función dentro de la sociedad de México y que sea un ejemplo para otros países, como en el caso de Chile, donde el haber contado con un Sistema similar al que tenemos en nuestro país, habría permito advertir con un tiempo de anticipación a la población y posiblemente las pérdidas humanas se hubieran reducido significativamente. Por eso es primordial mantener en operación, expansión y actualización un Sistema de estas características.

Otra motivación es poder colaborar en la modernización y expansión del Sistema que cuenta con reconocimiento internacional, y que promueve la participación de nuevos profesionistas tomando parte activa en el proceso de mejora del Centro. La mejor motivación es saber que el trabajo desarrollado involucra a más de una sola institución, y al reconocimiento de la población civil cuando se acude a monitorear o dar mantenimiento a los equipos receptores, esto sin lugar a dudas alienta a seguir trabajando con mayor motivación y esmero.

Así, en el presente trabajo de tesis se promueve una nueva forma de suplir las demandas energéticas proporcionando además seguridad y confianza en la población civil.

1.5 Hipótesis.

Ante la inminente amenaza de los movimientos sísmicos es inamisible no contar con un Sistema de Alerta Sísmica que de aviso oportuno para los efectos de prevención. Para garantizar un funcionamiento adecuado y eficaz es necesario desarrollar un sistema de alimentación, capaz de poder adecuarse a las necesidades y demandas energéticas que el

Sistema demande durante su expansión y/o actualización, pero sobre todo su operación día a día. Por otro lado las celdas de combustible han mostrado ser una fuente de energía, que garantiza continuidad del flujo eléctrico, manteniendo la seguridad y confiabilidad en la carga suministrada. Así mismo, esta tecnología ayudará a tener un sistema que dependa en menor medida de mantenimientos preventivos y correctivos, convirtiéndolo en un sistema libre de fallas energéticas. La topología del Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca, demanda especial dedicación a las estaciones repetidoras, que se encuentran ubicadas en zonas de difícil acceso, donde las condiciones climatológicas han impactado negativamente en el sistema de alimentación actual. La celda de combustible no sufrirá efectos por dichas condiciones climatológicas y puedan ofrecer una vida útil mucho mayor en comparación con el sistema energético que se utiliza actualmente.

Por otro lado esta tecnología también ayudaría a disminuir la contaminación del medio ambiente y promover la utilización de fuentes alternas no convencionales de energía.

1.6 Objetivos.

El objetivo principal del presente trabajo es mejorar el suministro energético de las estaciones del Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca, lo cual a su vez puede ayudar a mitigar el potencial riesgo generado por un movimiento sísmico. Se plantea utilizar a las celdas de combustible como respuesta al requerimiento energético del sistema, de esta manera otro de los objetivos es el realizar pruebas y simulaciones para validar la implementación de esta tecnología, la cual ha mostrado que puede ser un sistema con mínimo mantenimiento, inteligente y redundante que opere de forma confiable. Un objetivo inherente al trabajo desarrollado es trabajar en bien de la sociedad mexicana con el objetivo de contribuir con la cultura de prevención.

Además se pretende analizar cual será el mejor tipo de celda de combustible para su aplicación en un sistema aislado, así como encontrar la mejor forma de generar o transportar el combustible que estas celdas utilicen. Otra tarea es evaluar la aplicación de las celdas de combustible en las estaciones centrales como respaldo. Igualmente se pretende estudiar y valorar el aprovechamiento de las fuentes de generación alternas que se tienen en campo para complementar el suministro energético actual.

Finalmente otro objetivo es participar en algún foro o congreso donde se pueda presentar el trabajo desarrollado en la presente tesis, y que sirva de base para trabajos futuros donde se utilicen las celdas de combustible de respaldo en sistemas aislados.

1.7 Contenido.

A lo largo de los cinco capítulos del presente trabajo, se describe las tecnologías de celdas de combustible, su selección y su implementación para el suministro energético de la

estación sensoras y repetidoras de campo en el Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca, de la siguiente forma:

En el **Capítulo I** se presentan algunos conceptos que son útiles para una mejor comprensión de la importancia del desarrollo de proyectos como el Sistema de Alerta Sísmica. Se da la motivación, objetivos e hipótesis del presente trabajo, así como el contenido de este documento.

Capítulo II, dentro de este capítulo se describe lo que es el Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca y las partes que lo componen destacando la estación sensora de campo y la estación repetidora, así como, su operación, características energéticas e importancia del SASO.

En el **Capítulo III**, se definen las diferentes formas de poder brindar el suministro energético requerido por la estación sensora de campo, determinando las celdas de combustible como la opción más viable.

El **Capítulo IV** describe los diferentes tipos de celdas de combustible y su factibilidad con los requerimientos para su utilización en campo. Se justifica porque la celda tipo PEMFC es la que se adecua mejor con las características del Sistema.

En el **Capítulo V**, se realizan las simulaciones, tanto de la estación sensora de campo, como a la estación repetidora, con los requerimientos energéticos de operación en período típica y en período atípico, utilizando como fuente de alimentación una celda de combustible de hidrogeno tipo PEMFC.

Finalmente en el **Capítulo VI** se presentan las conclusiones generales y propuestas de trabajo futuro, de proyecto desarrollado.

Referencias:

- [1] “A *Diez Años del Sismo de 1985*”, Revista Ingeniería Civil, Numero 317, Colegio de Ingenieros Civiles A.C., México 1995.
- [2] Sistema De Alerta Sísmica De La Ciudad De México http://www.cires.org.mx/sas_es.php, Página visitada 10 de enero de 2011
- [3] “*Para aprender de los sismos de septiembre de 1985 en México*”. Informe técnico preparado por comités conjuntos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (México) y el National Research Council (EUA), ene. 1986, (O. Gelman, coautor).
- [4] Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica A.C. Página visitada 13 de marzo de 2010. <http://www.smis.org.mx/htm/sm5.htm>
- [5] Luis Esteva y Mario Ordaz. “*Riesgo Sísmico y Espectros de Diseño*”, revista Ingeniería Sísmica, Número 310, México 2001.
- [6] Carlos J. Mendoza E. “*Investigación en Ingeniería Sísmica*”, Colegio de Ingenieros Civiles A.C., México D.F. 1995.

- [7] J. M. Espinosa “*Sistema de Alerta Sísmica Para la Ciudad de México*”, Manual operativo, CIRES, A.C. México D.F. 2009.