

CAPITULO 2.

REQUERIMIENTOS ELÉCTRICOS DE LA ESTACIÓN SENSORA DE CAMPO

2.1 Introducción.

El Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca (SASO) tiene 36 estaciones sensoras de campo; algunas de las cuales están distribuidas en la costa con una separación de entre 25 y 40 km, debido a que la profundidad de los focos sísmicos de subducción en esta región son de 35 km en promedio; y otras, espaciadas tierra adentro con base en los registros históricos de sismos mayores a 7 grados en la escala Richter, donde la profundidad de los focos sísmicos por falla normal puede estar a más de 80 km [1]. La figura 2.1 muestra la topología del Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca, con la localización de las 36 estaciones de campo, 11 repetidores y 1 estación central.

Figura 2.1. Mapa del estado de Oaxaca que muestra la localización de las estaciones de campo ESDECAS, estaciones repetidoras ESREPES, la estación central ESCERE del Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca.



El radio y el umbral de disparo inicial de alerta sísmica de cada estación sensora de campo se calibran después de estudiar acelerogramas sísmicos representativos de las regiones sísmogénicas propuestas, se activa en el momento en que se genera un movimiento que supera el umbral de disparo y además en las estaciones de campo se tiene un tiempo de pre-evento y otro de post-evento, el cual es de 24 y 16 segundos respectivamente, que permite almacenar el registro del movimiento ocurrido.

La distribución de las estaciones de campo pretende que al menos dos estaciones puedan reconocer y avisar oportunamente sobre el inicio de un sismo fuerte. Para que se genere una señal de alerta se debe de cumplir la condición de que al menos dos estaciones confirmen el movimiento con una magnitud mayor o igual a 5.5 grados. [1]

Tabla 2.1 Localización de las estaciones repetidoras del SASO.

ESREPES SASO				
Núm.	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud
R1	JICALTEPEC	-98.04140	16.38920	675
R2	LA VIRGEN	-97.21643	16.23878	1195
R3	PUERTO ANGEL	-96.50059	15.66300	299
R4	CIENEGULLA	-96.40777	16.20080	2805
R5	SAN MIGUEL TENANGO	-95.59258	16.26727	1616
R6	CORRAL DE PIEDRA	-96.65390	17.17220	3301
R7	HUMO CHICO	-96.49972	17.56811	3190
R8	YUCUDAA	-97.41803	17.58640	2770
R9	EL VENADO	-97.94810	17.35860	2940
R10	TEQUIXTEPEC	-97.69290	18.04525	1855
R11	CUAJIMOLOYAS	-96.45681	17.11340	3181

En la tabla 2.1 se muestra la localización de las 11 estaciones repetidoras del Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca, las localizaciones fueron obtenidas en base a las coordenadas GPS, que se registraron en las salidas a campo en estas estaciones [1]. Se destaca que la altitud de varias estaciones repetidoras están por encima de los 2000 metros de altura, incluso superan los 3000 metros de altura, lo cual debe de ser un factor de profundo análisis, pues las estaciones repetidoras concentran la información de estaciones de la costa, y además por su difícil acceso es más tardado realizar trabajos de mantenimiento, además que por la función que deben de cumplir estas estaciones tienen que encontrarse operando correctamente y sin interrupciones.

2.2 La Estación Sensora de Campo

La estación sensora de campo, es un sistema dedicado a monitorear continuamente el movimiento del terreno donde se asienta, discriminando los movimientos sísmicos, por medio de un modelo matemático (algoritmo de detección), del ruido local.

Cada una de las estaciones sensoras transmite sus avisos por radio, en las bandas VHF o UHF ambas de frecuencia modulada, a la estación central. Las señales de radio llegan a ésta, a través de una serie de estaciones repetidoras que también cumplen la función de una estación de campo. La siguiente figura muestra las partes que componen el sistema de alerta.

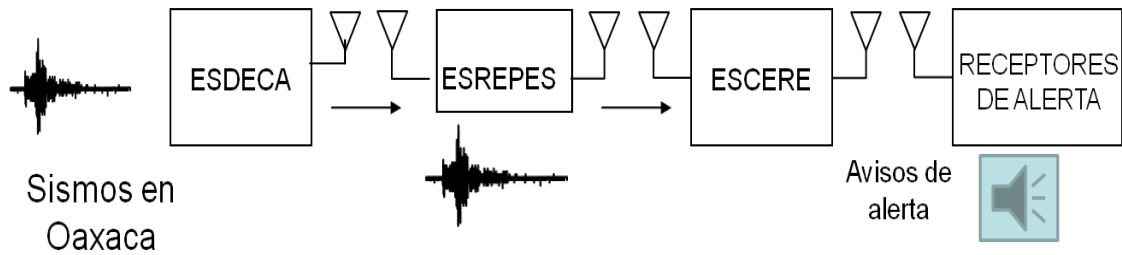


Figura 2.2 Tren de comunicaciones de sistema de alerta sísmica.

Como se observa en la figura 2.2 el sistema consta de cuatro partes fundamentales las cuales son, la estación sensora de campo, estación repetidora (ESREPE), la estación central (ESCERE) y los receptores de alerta. La función de la estación de campo es la de monitorear y censar un evento cercano a ella [2], la ubicación de cada una de ellas va en función del estudio histórico de eventos registrados, se realizan estudios de suelo y se dictamina que se ubiquen en los lugares más propicios para los fines del sistema. La estación consta de una obra civil en la que se tiene una torre del tipo anclada que puede variar desde los 30 metros hasta los 40 metros de altura.

La estación sensora se compone de dos partes primordiales, la primera es el equipo sismo detector y la segunda es el equipo de radiocomunicaciones, que para identificarlos y hacer una mejor referencia se denominarán como equipo de radio frecuencia a la parte de comunicación y equipo de medición y procesamiento a la parte del equipo sensor.

Los requerimientos eléctricos de cada una de las partes son distintos uno del otro, cada una de las partes cuenta con una batería o un arreglo de baterías en paralelo junto con un panel solar, que alimentan de forma independiente al equipo de medición y procesamiento y al equipo de radio comunicaciones. En la figura 2.3 se muestra el aspecto general de una estación sensora de campo típica.

PARTES PRINCIPALES DE UNA ESDECA TÍPICA



Figura 2.3. Aspecto general de una ESDECA típica

2.2.1 El equipo de radiocomunicaciones

Consta de un radio que transmite datos en FM, montado en la torre de mayor altura y alimentado con un panel independiente de energía solar. El Módulo de Comunicaciones está interconectado con el Módulo de Medición y Procesamiento vía fibra óptica, para minimizar las posibles pérdidas en el proceso de envío de datos [2]. Este sistema está embebido en un gabinete metálico que protege al equipo de las inclemencias atmosféricas. Por otra parte en el equipo de comunicaciones se encuentra una tarjeta moduladora o transmisora, que la mayor parte del tiempo se encuentra en modo de espera (stanby), por lo que el consumo de energía es bajo, sin embargo al momento de transmitir un dato el requerimiento de energía se incrementa dado que se transmite con una potencia más alta (25 W), por lo que en el momento del envío del dato el consumo aumenta y tiende a bajar el voltaje de nuestra batería. En el momento en el que el voltaje de la batería baja a niveles menores a 12.4 Volts, se envía un mensaje de batería baja a la central y de no recuperar los niveles óptimos de operación se tiene que acudir al sitio para realizar cambio de batería.

Por trabajo de campo se ha demostrado que en un 90% de este tipo de casos, las baterías no son capaces de recobrar un nivel de voltaje óptimo que permita la correcta operación del equipo de comunicaciones.

2.2.2 Equipo de medición y procesamiento.

En la parte del módulo de medición y procesamiento se cuenta con una tarjeta de adquisición de datos llamada registro acelerométrico digital RAD, una tarjeta acopladora (filtro) y una triada de sensores [3]. Este módulo está embebido en una caja metálica, anclada sobre una base de concreto reforzado, para resguardar el equipo sensor de las condiciones ambientales y de posible vandalismo. En la torre menor se encuentra soportado el panel solar, que suministra energía eléctrica a este módulo.

Como es de esperarse el consumo energético en esta parte de la estación, es mayor al consumo requerido por la parte de comunicaciones. Esta parte de la estación siempre se debe de mantener en operación, pues es la parte medular para que se detecte y de aviso de enviar una transmisión de alerta. La figura 2.4 muestra las partes que componen al módulo de equipo sensor.

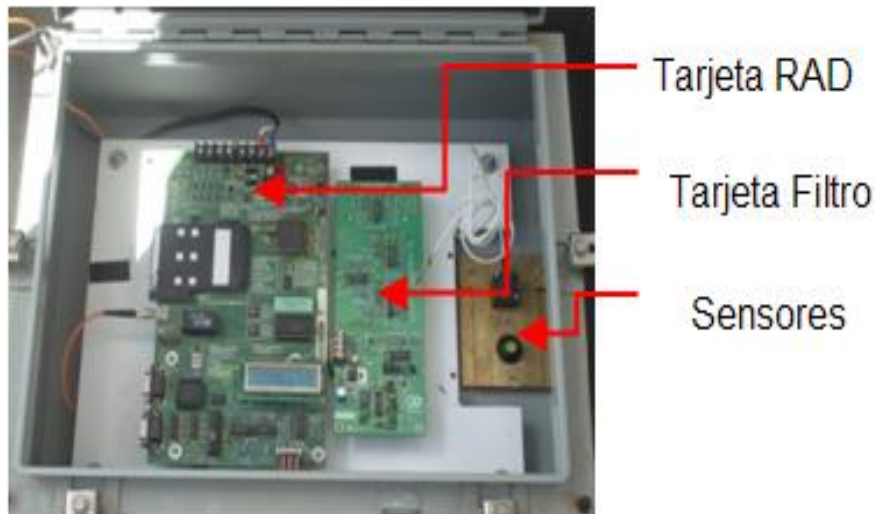


Figura 2.4. Aspecto del equipo de medición y procesamiento de la estación de campo.

2.2.3 Pruebas de la tarjeta de adquisición de datos RAD1216-001

- Pruebas Eléctricas:

Antes de instalar cualquier equipo en campo, se realiza una serie de pruebas que garanticen la debida operación, estas pruebas se realizan en el laboratorio tratando de semejar las condiciones que se tienen en campo. Se miden los voltajes con los cuales opera la tarjeta y se comparan con valores estándares de operación antes de ser instalas en campo para realizar una bitácora de operación de cada equipo que se tiene instalado en campo, como se observa en la tabla 2.1 los valores característicos de cada tarjeta de adquisición de datos, en

algunos casos puede existir alguna variación debido a que no todos los componentes tienen los mismos valores y hay que recordar que aunque se utilizan componentes de precisión existen valores de tolerancia permitida que puede hacer que se presenten algunas variaciones mínimas en la toma de los parámetros eléctricos de operación de cada tarjeta.

Tabla 2.2. Voltajes de Operación de la tarjeta de adquisición de datos RAD

Variable	Valor medido (S.S)	Valor medido (C.S)	Valor Estándar	Unidad	FUNCIONAMIENTO
V_{BAT}	12.65	12.64	$12 < V < 13$	Volts	✓
V_{CC}	12.32	12.29	$V_{BAT} \pm 10 \%$	Volts	✓
V_{DD}	4.94	4.94	$5 \pm 10 \%$	Volts	✓
V_{DA}	5.02	5.02	$5 \pm 10 \%$	Volts	✓
$+V_A$	7.87	7.87	$V_A > 7.0$	Volts	✓
$-V_A$	-7.22	-6.91	$V_A < -6.0$	Volts	✓
I_{CC} (F.S)	89.5	N.M.	< 100 S.S.	mA	✓
I_{CC} E.S.	82.8	N.M	< 95 S.S.	mA	✓
I_{CC} (E.C)	94	N.M.	< 105 S.S.	mA	✓

Donde:

V_{BAT}	=	Voltaje de la batería
V_{CC}	=	Voltaje en la tarjeta (medido después del fusible)
V_{DD}	=	Voltaje Digital de operación
V_{DA}	=	Voltaje analógico de operación
$+V_A$	=	Voltaje Analógico positivo de operación
$-V_A$	=	Voltaje Analógico negativo de operación
I_{CC}	=	Corriente de operación
F.S.	=	Fuera de Servicio
E.S.	=	En Servicio
E.C.	=	En Comunicación
S.S.	=	Sin Sensores
C.S.	=	Con Sensores (Sensores Servo Controlados Terra DCA330)
N.M.	=	No Medido
✓	=	O.K.
X	=	BAD

La tabla 2.2 corresponde a las pruebas de laboratorio realizadas a una tarjeta de adquisición de datos RAD1216 antes de ser instalada en alguna estación, la cual corresponde a la nueva versión de tarjetas desarrolladas, la cual tiene un consumo menor al de su antecesora. Los parámetros eléctricos medidos corresponden a una tarjeta en buen estado y con valores eléctricos correctos. Lo que arrojan estas pruebas es el consumo en operación de la tarjeta de adquisición de datos en conjunto con el sensor, los parámetros eléctricos medidos no deben variar y prevalecer constantes. Cuando la tarjeta es instalada en campo es necesario

medir los parámetros eléctricos para garantizar el correcto funcionamiento de ésta. Por eso es importante siempre tener un voltaje de alimentación que haga operar a la tarjeta y sensor sin fallas.

2.3 Operación de la Estación Sensora de Campo.

Una ESDECA como se menciona anteriormente está formada por tres módulos los cuales se definen a detalle:

- a. Sensor. Que consiste en tres elementos transductores que convierten las ondas de movimiento en señales de voltaje. Por lo general son acelerómetros que están dispuestos de manera ortogonal entre sí para sensar movimientos en tres direcciones: Transversal, Longitudinal y Vertical.
- b. Medición y Procesamiento. Sistema electrónico y de cómputo que tiene las funciones de: Detección, Medición, Procesamiento y Control. Por lo general este módulo se encuentra en el mismo lugar junto al Sensor.
- c. Radiocomunicación Transmisor. Cuya función es, la transmisión de parámetros sísmicos y variables del estado físico que genera la estación.

A) Sensor

Es un acelerómetro de tipo triaxial el cual consiste de una masa conocida pegada a un elemento piezoeléctrico. A medida que el acelerómetro se mueve, la masa aplica fuerza al cristal generando una carga [2]. Al leer esta carga se puede determinar la aceleración. Los acelerómetros son direccionales, esto quiere decir que sólo miden en un eje. Es por ello que se requieren 3 transductores dispuestos ortogonalmente entre sí, dos de ellos horizontales y uno vertical.

Existen acelerógrafos de dos tipos, pasivos y activos. Los acelerógrafos pasivos envían la carga generada por el elemento piezoeléctrico. Ya que la señal es muy pequeña, los acelerógrafos pasivos requieren un amplificador para la señal. Los acelerógrafos activos incluyen circuitería interna para convertir la carga del acelerógrafo a una señal de voltaje, pero requieren de una fuente constante de corriente para alimentar el circuito.

Los sensores utilizados en el Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca eran del tipo capacitivos los cuales están siendo reemplazados por sensores del tipo Micro Sistemas Electromecánicos (MEMS) [4], debido a que han presentado mejores características de operación en campo, los cuales reducen considerablemente los niveles de ruido ambiental, lo que permite contar con registros que sean más fáciles de analizar y de discriminar el ruido. La siguiente imagen muestra la disposición de los canales de monitoreo de los sensores tipo Micro Sistemas Electromecánicos.

Vista de los Ejes de Monitoreo del Sensor MEMS

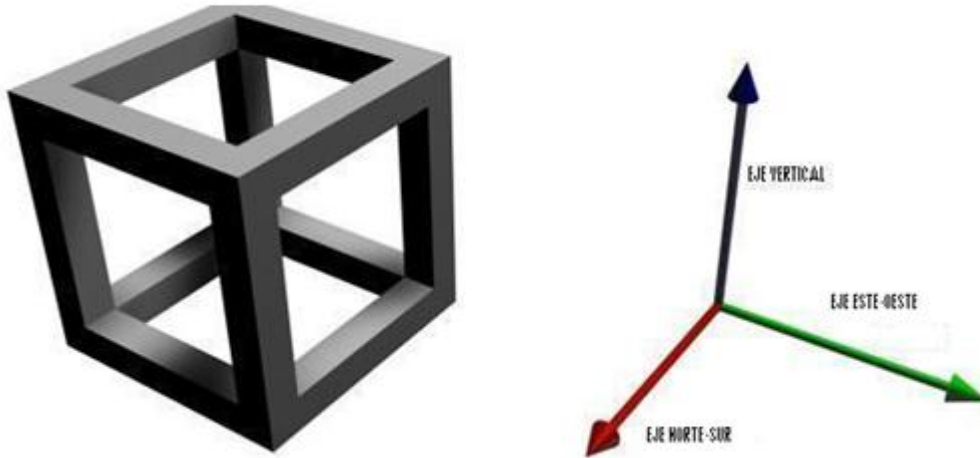


Figura 2.5. Aspecto de los ejes de monitoreo del sensor

B) Medición y Procesamiento

Básicamente se encuentra en una tarjeta electrónica y está dividida en los siguientes bloques: Acoplamiento secuencial, Conversor Analógico-Digital, Unidad de Procesamiento y Control, Memoria, Interfaz de comunicaciones Rx/Tx. Fuente de alimentación, Display, Fibra óptica y Reloj de tiempo real. Es en este elemento donde se realizan las tareas de reconocimiento, cálculo de parámetros, inicio de envío de datos, comunicación y supervisión [4].

C) Radiocomunicación Transmisor

Se encuentra en las torres que forman parte de la estación sensora y esta se conecta al modulo de medición y procesamiento por medio de fibra óptica. Este elemento transmite datos que fueron proporcionados por el procesador. Está dividida en los siguientes módulos: Alimentación, Fibra óptica, Modulador–Demodulador, Controlador, Interfaz de comunicaciones Rx/Tx. [2].

En la figura 2.6 se muestra el diagrama de bloques de una estación sensora de campo.

DIAGRAMA A BLOQUES DE LA ESDECA

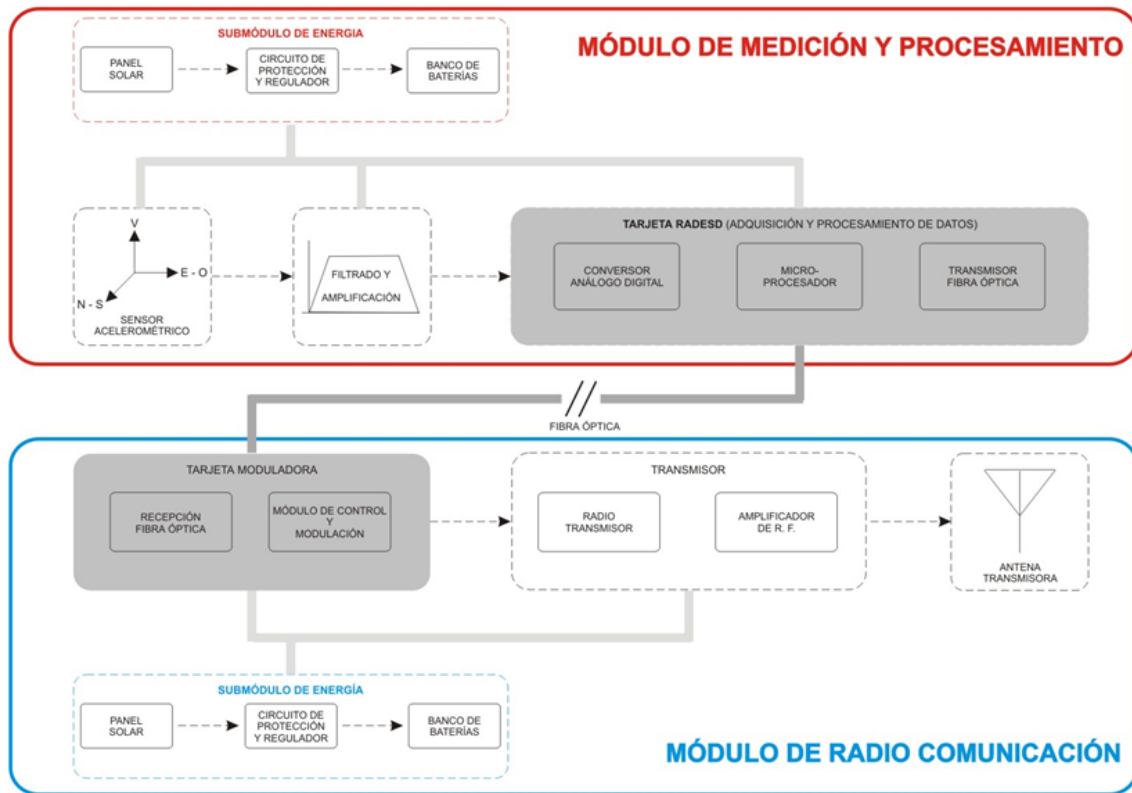


Figura 2.6. Aspectos del diagrama de operación de la estación de campo

Es importante realizar pruebas en el laboratorio de las partes electrónicas que componen a la estación, en dichas pruebas se puede caracterizar el tipo de requerimiento eléctrico, además algunas partes tanto del módulo de medición y procesamiento y de comunicaciones cuentan con elementos que por diseños del fabricante dan sus propias especificaciones eléctricas, como los radios transmisores y los sensores tipo MEMS, es por ello que al realizar el diseño de una estación de campo, se intenta lograr el mínimo consumo eléctrico para no adicionar una carga más grande.

Conocer y evaluar dichos consumos ha permitido estimar que con un sistema fotovoltaico se podría mantener alimentado el sistema, pero si se tratara de aumentar la carga en función de las nuevas tecnologías disponibles, se necesitaría un sistema adicional que pudiera hacer frente a dicha demanda. Para conocer el consumo energético de los equipos se realizan pruebas en las cuelas se miden todos los parámetros eléctricos, se documentan y validan, y son puestos a pruebas en el laboratorio para después ser instalados en campo, donde realmente se requiere que sus parámetros eléctricos sean constantes y precisos.

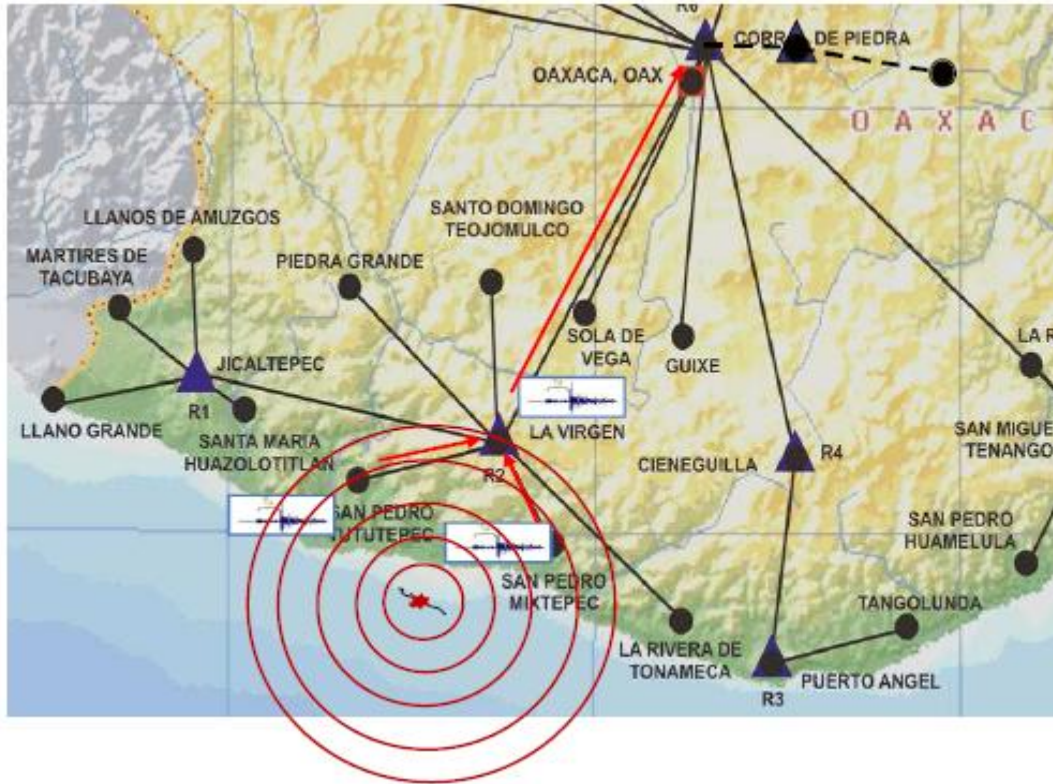


Figura 2.7. Aspecto del funcionamiento del sistema, ante la ocurrencia de un sismo con magnitud mayor a 5.5 grados.

Como se observa en la figura 2.7, la temprana detección de un movimiento sísmico es fundamental para poder alertar con un mayor tiempo a la Ciudad de Oaxaca, en el caso que se muestra en la figura si alguna estación cercana al lugar donde se genera el sismo no se encuentra operando, resta tiempo a la alerta sísmica pues hasta que las ondas avancen y otra estación detecte y confirme el sismo se enviará una señal de alerta. Hay que recordar que para que se emita una alerta se necesita que al menos dos estaciones de campo detecten dicho movimiento sísmico, en la figura se muestra que la estación San Pedro Tututepec y San Pedro Mixtepec [5], registraron dicho movimiento y enviaron la señal de alerta a la estación repetidora La Virgen, la cual envía la alerta a la central localizada en la Ciudad de Oaxaca y aquí es reenviada al aire para alertar a la población civil. El factor a considerar más importante es el tiempo con el que se pueda alertar por ello se requiere que todo el sistema se encuentre operando correctamente, pues para el caso de estudio que es el estado de Oaxaca los epicentros muchas veces se encuentran muy cercanos a la Ciudad y se requiere de monitoreo y constante operación de la estación para minimizar al máximo los potenciales daños que pudiera sufrir la Ciudad.

Esto es una clara muestra de porqué es tan importante que el sistema se encuentre operando correctamente y con niveles de alimentación necesarios para poder cubrir al ciento por ciento, primero el detectar el movimiento y después el enviar una señal de alerta.

2.4 La Estación Repetidora

En la figura 2.8 se ilustra el diagrama de bloques de la estación repetidora, se destaca que por contar con más elementos el consumo energético se incrementa en la etapa Tx es el mismo que en la tarjeta transmisora de una estación típica, pero adicionalmente la tarjeta repetidora en la etapa Rx cuenta con más elementos, que se suman a la etapa de radiocomunicación. La función de la estación repetidora de campo (ESREPE) es la de retransmitir los mensajes provenientes de las estaciones sensoras típicas o de otra estación repetidora hacia la estación central de registro (ESCERE).

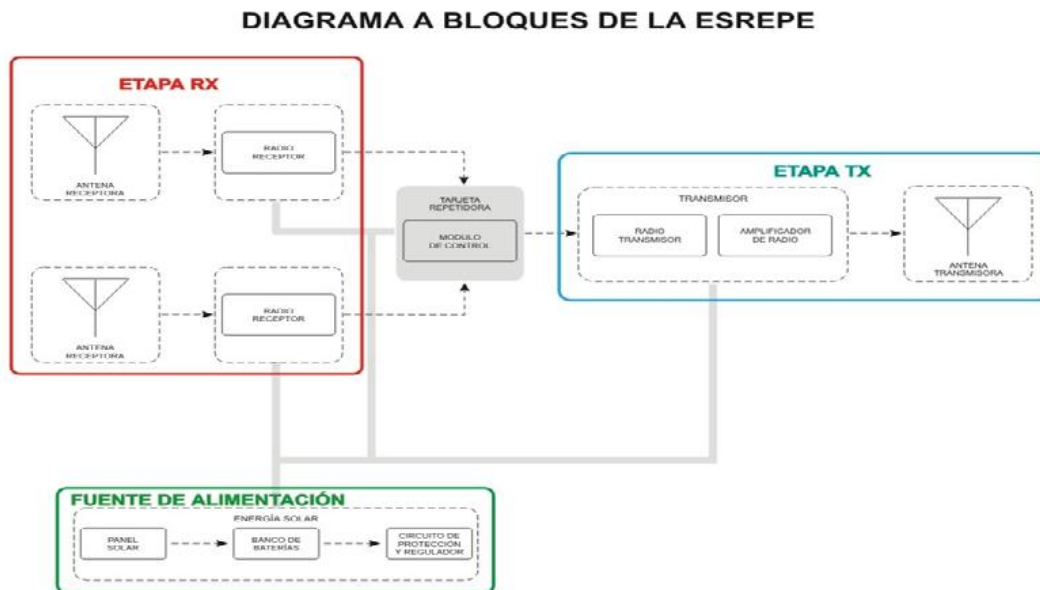


Figura 2.8. Aspectos del diagrama de operación de la estación repetidora.

2.4.1 Elementos de la Estación Repetidora

La estación repetidora en la etapa Tx es similar a una estación típica, pues cuenta con un transmisor, que opera si en el sitio donde esté instalada se presenta un movimiento sísmico se utiliza el transmisor de la estación repetidora para transmitir el dato y así cumple con dos funciones, cuenta con el equipo sensor para en caso de registrar un movimiento transmitir, pero además su función también es recibir información de otras estaciones de campo y otras estaciones repetidoras. Posee cuatro canales para la recepción de datos que a diferencia del transmisor de la estación típica es de sólo uno. Está dividido en los siguientes módulos: Alimentación, Demodulador, Interfaz de comunicaciones Rx/Tx, Fibra óptica, Microcontrolador Maestro, Microcontrolador, un convertidor RS-232 y un reloj de tiempo real [3].

Las imágenes que a continuación se muestran son de una estación repetidora, como se menciono sólo se agrega una tarjeta repetidora a la estación típica, que se coloca en un gabinete que protege al equipo de radiocomunicaciones, adicionalmente se coloca otro

panel solar en paralelo pues la carga a alimentar aumenta en comparación al de la estación típica, y que es independiente a la alimentación del módulo de radiocomunicaciones típico. Además una diferencia a destacar es la altura que llegan a tener este tipo de estaciones, las alturas van desde los 35 metros hasta los 60 metros de altura.



Figura 2.9 Aspecto de la torre donde instala en equipo de comunicaciones. Se observan 2 paneles solares y antenas de radiocomunicación.

ESTACIÓN REPETIDORA DE CAMPO

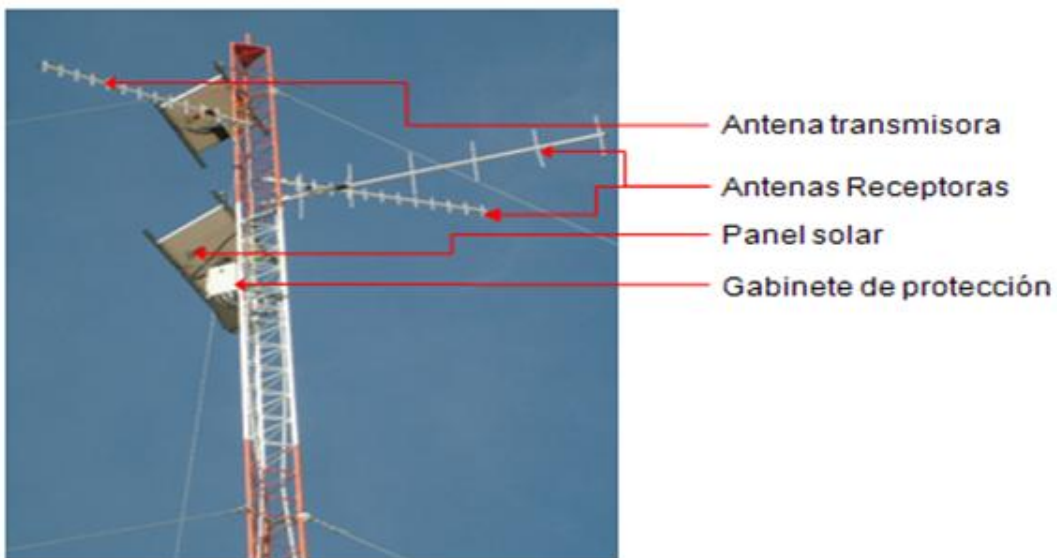


Figura 2.10 Descripción de las partes que componen la estación repetidora.

ESTACIÓN REPETIDORA DE CAMPO

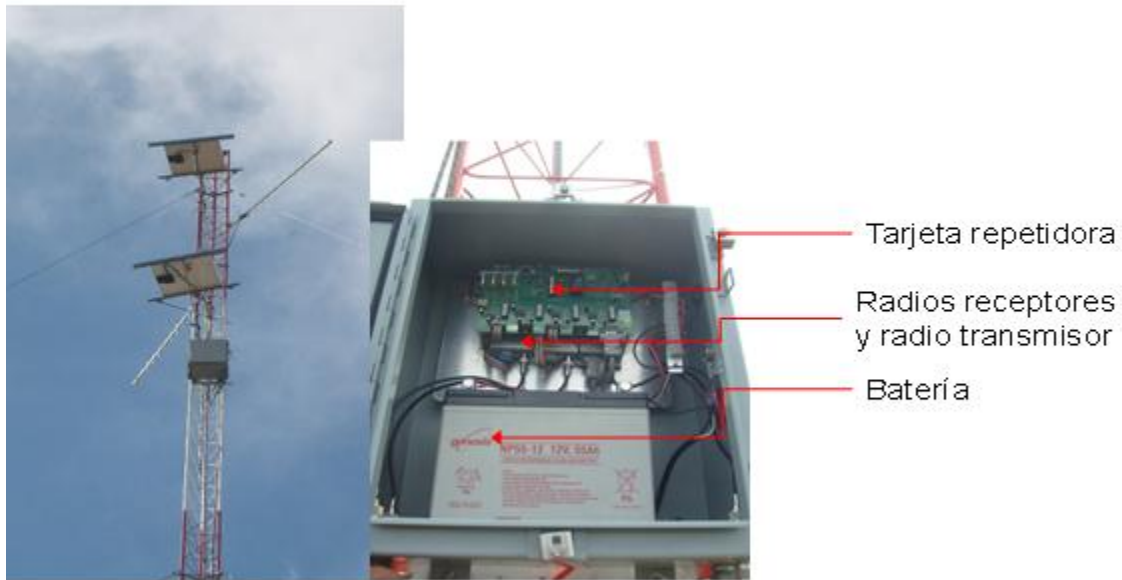


Figura 2.11 Equipo de comunicaciones de la estación repetidora dentro del gabinete de protección.

La estación repetidora al igual que las estaciones de campo típicas, deben enviar un mensaje de presencia, en el cual se envían datos característicos del equipo. O sea que los repetidores requieren un consumo mayor, pues además de enviar los datos particulares deben de reenviar la información procedente de otras estaciones de campo. Todas las estaciones de campo, repetidoras y no repetidoras están programadas para enviar 2 mensajes de presencia al día. Lo que significa que si por un repetidor pasa la información proveniente de 5 estaciones de campo, deberá de mandar 12 mensajes de presencia en un día completo. Por lo que el consumo se eleva en comparación con una estación de campo típica, esto es motivo suficiente para la implementación de un sistema alternativo que pueda ayudar a mantener alimentada la carga de manera constante.

2.5 Requerimientos Energéticos de la Estación Sensora de Campo.

Por las características nominales de la electrónica utilizada en el diseño de ambos módulos, el consumo energético es considerablemente bajo, estando muy por debajo del orden de 2W/hora. A partir del año 2009 se inició la actualización del diseño que hasta entonces se venía utilizando en una estación de campo, con base en los nuevos diseños y mejoras realizadas en el centro se logró reducir aún más el consumo de energía eléctrica, sin embargo eso limita en ocasiones el uso de nuevas tecnologías en el procesamiento y adquisición de datos que permitirían procesar y transmitir los datos a una velocidad más rápida. Es necesario mencionar que de acuerdo a las necesidades requeridas por las

estaciones de campo se llevó a cabo la actualización de los diseños, sin embargo no se contempló una mejora en el suministro de la energía eléctrica requerida por la estación; debido en parte a esto y en otra a las fallas comunes que ocurren en campo, se plantea la propuesta de la utilización de las celdas de combustible para suministrar el requerimiento energético en la estación de campo. De acuerdo a las pruebas realizadas en laboratorio de las tarjetas se obtuvieron los resultados que nos dan la pauta para medir el consumo energético requerido por las nuevas tarjetas. El cual se encuentra aproximadamente en la parte de comunicaciones con un consumo de 12 V y 110 mA en stand by, mientras que en operación 12 V y 130 mA, con una tolerancia de $\pm 5\%$.

En la parte del sensor se requiere de 12 V y 200 mA aquí cabe recordar que siempre se debe de encontrar en operación. Cuando se tiene una estación repetidora el consumo de energía es mayor, ya que adicionalmente del módulo de radiocomunicación y del equipo de medición y procesamiento, se incorpora un módulo de recepción con más elementos. Esta última parte también debe de mantenerse en operación, pues incorpora un contador interno de tiempo real, que siempre se debe de mantener en operación. Aunque se agrega este nuevo módulo el consumo energético no se eleva demasiado, pues con los nuevos diseños se requiere de una demanda energética considerablemente baja. Como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.3 Especificaciones Técnicas. Manual de operación ESREPE, CIRES A.C.

Especificaciones Técnicas			
Volta de alimentación:	5.5 Vmínimo	16V	máximo
Consumo:	Sin señal de subaudio		
	20mA mínimo	30mA típico	40mA máximo
	Con señal de subaudio		
	70mA mínimo	80mA típico	90mA máximo
Equipo:	130 mA típico	1.5A	máximo
Nivel de señal de salida de audio:		160mV	$\pm 5\%$
Nivel de salida de subaudio:		40mV	$\pm 5\%$

2.6 Soluciones Actuales.

En el centro se ha optado por la utilización de sistemas fotovoltaicos que puedan alimentar la carga demandada por la estación sensora de campo, sin embargo por defectos de las mismas y por el bajo rendimiento en la vida útil de las baterías, se propone la utilización de un nuevo sistema de alimentación que cubra de mejor forma con los requerimientos energéticos. En el capítulo siguiente se hace un análisis detallado de las tecnologías y formas en que se puede cubrir con el suministro de energía en una estación de campo.

Los desarrollos e innovaciones que el centro ha tenido en materia de detección y alertamiento de sismos han sido de gran trascendencia a niveles mundiales. Sin embargo una constante que no ha evolucionado es la forma en la que se suministra energía a las estaciones de campo, por lo que surge la necesidad de poder aprovechar las tecnologías actuales, poder mejorar el suministro energético en las estaciones sensoras, el cambio llevará tiempo, pero con este trabajo se pretende dar a conocer formas altamente efectivas para cumplir con dicha tarea. Un factor determinante para lograr un cambio tecnológico surge desde la necesidad de poder tener energía eléctrica confiable disponible, para aplicaciones que puedan demandar un mayor consumo en relación con la que se tiene actualmente. La utilización de nuevos y más sofisticados equipos de detección para que ayuden en la tarea de poder sensar movimientos que pudieran ser causa de potenciales desastres, es otra justificación para poder explorar formas alternas de generar y almacenar energía en sistemas aislados de forma constante y que sea una solución que cuente con nuevas tecnologías. Las soluciones actuales muestran un gran abanico de posibilidades, sin embargo por las características en los sitios y la infraestructura en las estaciones de campo se ponen en primer lugar las celdas de combustible acompañadas de energías renovables para ayudar con el mejoramiento energético del Sistema de Alerta Sísmica que en el capítulo siguiente se describen a detalle.

Referencias

- [1] “*Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca*”, Protección Civil del Estado de Oaxaca. Oaxaca, Oaxaca 2004.
- [2] Manual de operación del Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca, Apéndice II, CIRES A.C. México D.F. 2004.
- [3] Manual técnico de Instalación SASMEX, Apéndice ESDECA y ESCERE, CIRES A.C. 2004.
- [4] Silicon Designs, Inc. Advanced Accelerometer Solutions. Triaxial Accelerometer Modules, Modelo 2420. Página visitada 10 de enero de 2011.
<http://www.silicondesigns.com/>
- [5] Manual técnico del sistema RADESD-12/16. CIRES A.C. 2003. Coordinación de Diseño, CIRES A.C. 2003.
- [6] Informe trimestral del Sistema de Alerta Sísmica de Oaxaca 2009. Coordinación de Comunicaciones, CIRES A.C.