



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO 128

FACULTAD DE INGENIERIA

DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA MONITOREAR
ACELERACIONES EN TIEMPO REAL DE UNA
ESTACION REMOTA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRONICA)

P R E S E N T A :

MAURICIO ALBERTO ORTEGA RUIZ

Director de Tesis : M. en I. Roberto Quaa Weppen

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1994



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedico este trabajo a:

Dra. Bertha Ruíz de Ortega

Dr. Humberto Ortega Gómez

**Quienes han sido el más grande apoyo
que he tenido**

A Humberto, Roberto y Axel

"La tierra, el emblema de solidez,
se ha movido bajo nuestros pies
como una delgada corteza sobre un
fluido"

Charles Darwin

Dios es Creador y Señor de la naturaleza;
aunque no tenemos la fuerza para
controlarla, sí podemos esforzarnos por
entenderla, para así evitar daños
innecesarios

**DESARROLLO DE UN SISTEMA PARA MONITOREAR
ACELERACIONES EN TIEMPO REAL DE UNA ESTACION REMOTA**

INDICE

I INTRODUCCION	1
II DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA	3
III DESCRIPCION DE LA INFORMACION	6
IV ESTACION DE CAMPO Y SISTEMA DE TRASMISION	
4.1 Estación de registro	9
4.2 Módulo de prueba de transmisión	11
4.3 Circuito periférico de comunicación del acelerógrafo ADII	18
4.4 Modificaciones al programa de control del ADII	22
V FORMATO Y MODOS DE COMUNICACION	
5.1 Formato de comunicación	25
5.2 Modos de transmisión	
5.2.1 Modo normal	31
5.2.2 Modo disparo	32
5.2.3 Modo de calibración	32

VI SISTEMA DE RECEPCION	
6.1 Central de procesamiento	34
6.2 Circuito demodulador y acondicionador	35
VII PROGRAMA DE RECEPCION DE DATOS	
7.1 Descripción general del programa de monitoreo	41
7.2 Rutina de procesamiento	43
7.3 Despliegue de datos	46
7.4 Archivos generados por el programa	48
7.5 Rutinas de graficación	51
VIII SISTEMA PROTOTIPO Y ESPECIFICACIONES	
8.1 Estación prototipo	53
8.2 Especificaciones generales	57
IX RESULTADOS	58
X CONCLUSIONES	66
XI RECONOCIMIENTOS	68
XII BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS	69
ANEXO A ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ADII	72
ANEXO B MODULACION FSK	74
ANEXO C ESCALA RESUMIDA Y MODIFICADA	
DE INTENSIDAD DE MERCALLI	79

I INTRODUCCION

La actividad sísmica en nuestro país ha originado la necesidad de incrementar los equipos de registro y medición tales como sismógrafos y acelerógrafos. A través de la red de acelerógrafos instalados en el valle de México y en la zona de Guerrero principalmente, se ha podido entender más a fondo la naturaleza de los sismos, la propagación de las ondas sísmicas y el comportamiento del suelo y edificios.

Además, existe la necesidad de conocer los efectos que el sismo produce: desde la reacción de las personas ante el evento hasta los daños ocasionados en edificios y construcciones. La intensidad sísmica es una medida de los efectos del temblor y no se registra directamente con instrumentos, sino que se evalúa a partir de una observación posterior al sismo. Conocer la intensidad no solo permite entender más a fondo los terremotos, sino también establecer las condiciones de seguridad de las construcciones.

Actualmente se desarrolla en el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) un proyecto para estimar en forma temprana la intensidad sísmica en el Distrito Federal al ocurrir un temblor fuerte. Mediante una computadora se determina en forma inmediata la intensidad que el movimiento alcanzó y se estiman las zonas que tuvieron mayor daño durante el evento. El algoritmo empleado para hacerlo requiere una gran cantidad de variables, dentro de las cuales está la aceleración máxima y la duración del movimiento del terreno, y que son medidas por instrumentos especiales de registro.

El presente trabajo describe el desarrollo de un sistema de instrumentación para monitorear en tiempo real la aceleración máxima del terreno durante un temblor, información que será utilizada posteriormente para estimar la intensidad del evento. El sistema propuesto

se compone de una estación remota de registro en el lugar donde se desea medir la aceleración del terreno y un centro de procesamiento de datos, unidos éstos mediante un enlace de comunicación.

El capítulo 2 describe de manera general el sistema desarrollado.

En el capítulo 3 se analiza el contenido de la información, que se transmite de la estación remota de registro al centro de procesamiento.

Dicha estación de registro se muestra en el capítulo 4, incluyendo el acelerógrafo digital ADII, al cual se le modificó y añadió un circuito de comunicación.

Los formatos de comunicación y los elementos de control necesarios son presentados en el capítulo 5 de este trabajo.

El capítulo 6 se centra en el sistema de recepción de datos encargado de recuperar, verificar y procesar la información. En este capítulo se analiza con detalle un circuito diseñado para decodificar y transferir los datos hacia la computadora.

Se escribieron varios programas para computadora, que desde el centro de procesamiento permiten monitorear en forma remota la operación del acelerógrafo en la estación de campo y almacenar en distintos archivos los valores máximos de aceleración presentados y transmitidos durante un sismo. Estos programas se describen en el capítulo 7.

En el capítulo 8 se muestra el equipamiento y características de una estación prototipo.

Los resultados obtenidos hasta la fecha se presentan en el capítulo 9.

Adicionalmente se incluyen 3 anexos conteniendo las especificaciones técnicas del ADII, los conceptos sobre la modulación FSK y por último la escala de intensidad de Mercalli. Este último como referencia para entender la aplicación que tendrá este trabajo en el proyecto de estimación temprana de intensidades sísmicas.

II DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA

En México existe una vasta red de acelerógrafos digitales, operada por distintas instituciones, que permite obtener registros de la aceleración del terreno en el lugar donde se encuentra instalada cada estación. Una estación de registro consta esencialmente de un sensor que capta la aceleración del terreno y la transforma en una señal eléctrica y un acelerógrafo, que recibe dicha señal y la codifica en palabras digitales (utilizando un conversor A/D) que posteriormente almacena en una unidad de memoria. El acelerógrafo evalúa el valor de la aceleración detectado, con un algoritmo llamado de disparo, para registrar únicamente movimientos fuertes. La información almacenada se encuentra disponible hasta que el usuario se traslade a la estación de registro y la recupere. Para conocer la aceleración del terreno en el mismo momento en que se genera, es preciso añadir al instrumento y a la estación de registro los dispositivos necesarios de procesamiento y comunicación.

El sistema desarrollado se muestra en la figura 2.1. Consta de una estación remota de registro encargada de medir, codificar y transmitir la señal de aceleración máxima del terreno. El centro de adquisición, supervisión y procesamiento la recibe y almacena en una computadora. Por último, para supervisar y probar el correcto funcionamiento de los enlaces de comunicación, se tiene una unidad móvil que permite la recepción y monitoreo desde cualquier sitio.

En la estación de registro, a través del sensor y del acelerógrafo ADII, se almacena la información de la aceleración del terreno en una memoria de estado sólido, dentro del ADII,

y además se serializa y envía por el canal de comunicación. Se decidió utilizar como instrumento registrador en este sistema el acelerógrafo digital ADII ya que su funcionamiento es conocido, debido a que fué diseñado por el Instituto de Ingeniería en colaboración con el CENAPRED.

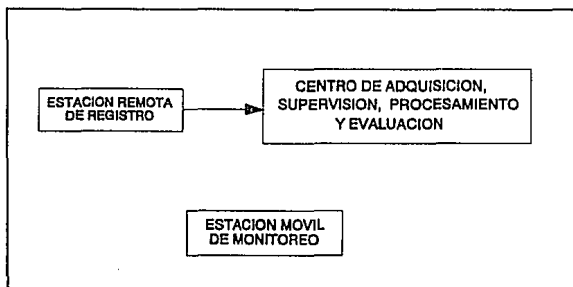


Figura 2.1 Partes que forman el proyecto

El ADII transmite los valores máximos de aceleración y algunos parámetros vitales del equipo a intervalos regulares de tiempo. Al presentarse un temblor importante se efectúa la transmisión en forma continua. Idealmente sería deseable recibir el acelerograma completo en el mismo momento de ocurrencia del sismo y no solo los valores máximos de aceleración. Esto implicaría utilizar una mayor velocidad de transmisión y un equipo de comunicación más sofisticado.

Se propone utilizar como medios de comunicación vía radio o línea telefónica. La primera estación instalada, que se describe a lo largo de este trabajo, transmite vía radio.

El centro de adquisición, supervisión y procesamiento está formado por un radio receptor que capta la señal transmitida y un circuito decodificador que la transfiere a una computadora. En ésta existe un programa de monitoreo que despliega en la pantalla las condiciones del instrumento y los valores de aceleración, almacenando en diferentes archivos la información generada durante un sismo.

La unidad móvil de monitoreo es un sistema completo de recepción instalado dentro de una maleta que contiene un radio receptor, un circuito decodificador y una computadora portátil.

Una vez conocida la aceleración máxima del terreno es posible estimar la intensidad del sismo. Varias escalas de intensidad se han desarrollado con el objeto de describir el efecto de un terremoto, entre ellas se encuentra la diseñada por el sismólogo y vulcanólogo Giuseppe Mercalli. El anexo C muestra la escala resumida y modificada de intensidad de Mercalli y la relación que existe entre la aceleración pico promedio registrada sobre terreno firme y los distintos valores de la escala.

III DESCRIPCION DE LA INFORMACION

Se mencionó que el ADII transmite básicamente las aceleraciones máximas alcanzadas durante un sismo. Con estos valores máximos se construye una señal que se denomina curva creciente de aceleración máxima. En la figura 3.1 se presenta un ejemplo en el cual se compara el acelerograma completo registrado en la memoria interna del ADII (a) con la señal de aceleración máxima transmitida (b). A continuación se describe la curva de aceleración máxima.

El primer máximo se registra cuando la aceleración rebasa el umbral de disparo del ADII, ésto ocurre en el punto A. Al presentarse un valor de aceleración mayor al primer máximo se genera un incremento en la curva de aceleración máxima. El sismo continúa y aumenta la aceleración, creciendo también la curva de aceleración máxima hasta alcanzar el mayor de los máximos (punto B). Esta última señal se sigue transmitiendo hacia el centro de procesamiento mientras dura el evento.

Las aceleraciones se transmiten en palabras digitales. El conversor A/D empleado por el ADII utiliza palabras de 12 bits y requiere de 2 bytes para codificar el valor de aceleración de cada canal del sensor (3 ejes ortogonales); el bit más significativo se utiliza como signo. Como se verá más adelante, se envían los 6 bytes que representan las aceleraciones máximas de los tres canales junto con 2 bytes de control, generando así un paquete de 8 bytes por muestra. Para la velocidad de transmisión seleccionada, 1200 bauds, se observará (capítulo 4) que el ADII transmite un byte cada 10 ms, y el tiempo de transmisión de una muestra completa de aceleración máxima es:

$$\frac{\text{Tiempo}}{\text{muestra}} = 8 \frac{\text{bytes}}{\text{muestra}} \times 10 \frac{\text{ms}}{\text{byte}}$$

$$\frac{\text{Tiempo}}{\text{muestra}} = 80 \frac{\text{ms}}{\text{muestra}}$$

es decir,

$$\frac{1}{80 \text{ ms}} = 12.5 \frac{\text{muestras}}{\text{seg}}$$

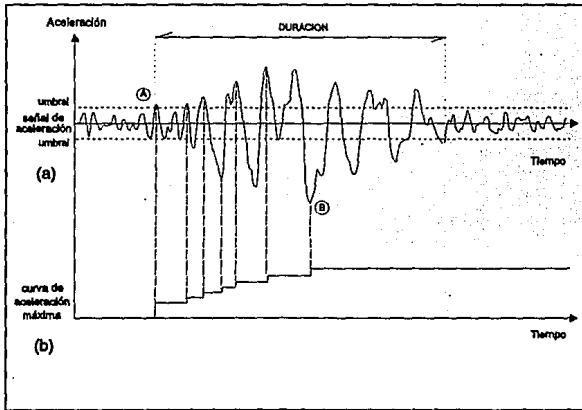


Figura 3.1 Curva creciente de aceleración máxima

A pesar de que se genera una muestra cada 80 ms, la aceleración contenida en esta última representa el máximo acumulado en dicho intervalo de tiempo. Cabe señalar que la frecuencia de muestreo del ADII es de 100 muestras/segundo.

Para reconstruir la curva de aceleración máxima al ir recibiendo cada muestra, es preciso

conocer además de la velocidad de muestreo de esta última señal, el factor de conversión de la aceleración del valor en binario a gal (1 gal = 1 cm/s², 981 gals = 1 g).

La aceleración máxima es un valor absoluto codificado en palabras de 11 bits (2048 combinaciones) y representa una fracción de la escala completa de aceleración utilizada por el conversor:

$$\text{Aceleración [gal]} = \frac{\text{Valor binario}}{2048} \times \text{Escala [gal]}$$

Dicha escala de aceleración está dada por el rango de valores posibles registrados por el sensor, expresados en fracciones de g (aceleración terrestre), y la amplificación previa al conversor:

$$\text{Escala [gal]} = \frac{\text{Rango del sensor [g]} \times 981 \left[\frac{\text{cm/s}^2}{1 \text{ g}} \right]}{\text{Ganancia del amplificador}}$$

Junto con la curva de aceleración máxima se transmiten una serie de parámetros que describen las condiciones del instrumento registrador. Éstos se describirán detalladamente en el capítulo 5.

IV ESTACION DE CAMPO Y SISTEMA DE TRASMISION

4.1 Estación de registro

La función de la estación de registro es la siguiente: medir el nivel de aceleración del terreno, codificar esta información junto con una serie de variables que describen las condiciones del equipo y enviarlas a la central de procesamiento por un medio adecuado de comunicación. La figura 4.1 muestra las partes que forman dicha estación: un sensor, un acelerógrafo ADII, un circuito que acondiciona la señal del ADII, un radio trasmisor y una antena. Se requiere además de un suministro continuo de energía para operar la estación sin interrupciones.

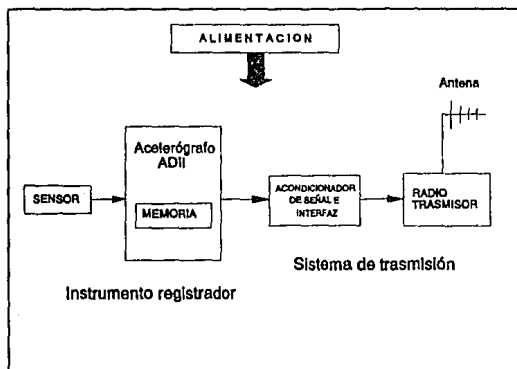


Figura 4.1 Estación remota de campo

El sensor tiene como función convertir el movimiento del suelo en una señal eléctrica proporcional a la aceleración. Éste es esencialmente una masa suspendida por un resorte y amortiguada por algún medio mecánico o eléctrico, todos estos unidos a una estructura fija al suelo. El movimiento relativo entre la estructura y la masa es una medida del movimiento del terreno y es convertido a una señal eléctrica utilizada posteriormente por el ADII. El sistema utiliza el acelerómetro triaxial FBA-23, fabricado por Kinematics, que consta de 3 acelerómetros montados ortogonalmente. Esto permite obtener registros en tres componentes, vertical, longitudinal y transversal.

El ADII es un dispositivo que registra únicamente movimientos fuertes. Comienza a registrar al detectar un nivel de aceleración mayor a un umbral preestablecido (modo de disparo del equipo) y deja de hacerlo después de un tiempo durante el cual la aceleración es menor al umbral. Se dice que opera en modo normal mientras no se presente un disparo. Los datos registrados son almacenados en su memoria interna y permanecen allí hasta que el usuario se traslade al lugar donde se encuentra instalado el equipo y los recupera utilizando una computadora conectada al puerto serie del ADII. Para coordinar las tareas de registro y almacenamiento el ADII cuenta con un microprocesador y un programa de control.

Se modificó el ADII para transmitir a intervalos regulares de tiempo las aceleraciones y el estado general de la estación cuando se encuentra en modo normal y continuamente en modo de disparo. Fué necesario incluir en el programa de control del ADII las rutinas que actualizan las aceleraciones máximas y las instrucciones para la transmisión por el puerto serie. Asimismo, se modificó parte de la arquitectura del ADII para añadir una nueva terminal que pudiera ser utilizada a través del medio de comunicación empleado. Se seleccionó un equipo

modem con un tipo de modulación FSK¹, que puede ser empleada en la línea telefónica o en radios de voz de manera confiable.

Antes de modificar el ADII se realizó un módulo de prueba de transmisión de datos digitales con el fin de evaluar la transmisión serie asíncrona y las modificaciones del ADII.

4.2 Módulo de prueba de transmisión

El módulo de prueba de transmisión sirvió para establecer un enlace completo de comunicación como se muestra en la figura 4.2. Este módulo genera una secuencia conocida de datos que es serializada y modulada para producir una señal FSK simulando la estación remota de campo en donde se origina la información. La señal FSK es transmitida vía radio o por la línea telefónica para ser recibida en la central de procesamiento donde un circuito demodulador y decodificador recupera los datos y los transfiere a una computadora. Con ayuda de un programa de captura se verifica la correcta secuencia de los datos.

Se diseñó un circuito transmisor con las siguientes características:

- Los datos son una serie continua y creciente de 0 a 127.
- Utiliza velocidades de transmisión de 600 y 1200 bauds, sin paridad y con un bit de fin.
- Genera una señal dentro del ancho de banda de voz utilizando modulación FSK.
- Se incluyó un acoplamiento para utilizar equipos de radio calidad voz o la línea telefónica conmutada o dedicada.

¹ El anexo B describe las características de la modulación FSK.

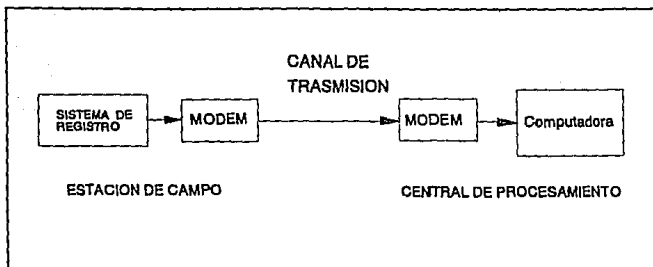


Figura 4.2 Proceso de comunicación

El diagrama electrónico del circuito de transmisión del módulo de prueba diseñado se muestra en la figura 4.3. A continuación se describe con detalle.

El procesador utilizado por el ADII trabaja con palabras de 8 bits, por ello se decidió que el módulo de prueba generara palabras de 8 bits utilizando un contador. El circuito integrado CD4024 (IC3) es un contador binario que incrementa cada cuenta desde cero hasta 127 con la transición negativa de un pulso de reloj. La frecuencia del reloj se seleccionó a 25 Hz para asegurar que la serialización del dato anterior haya finalizado. El tiempo que tarda una palabra en ser transmitida es función de la velocidad de transmisión seleccionada y del número de bits del dato:

$$\Delta t = \frac{\text{Bits de datos} + \text{Bits de identificación}}{\text{velocidad de transmisión}}$$

Para velocidades de 600 y 1200 bauds este tiempo es:

$$\Delta t_1 = \frac{8 \text{ bits} + 1 \text{ bit de inicio} + 1 \text{ bit de fin}}{600 \text{ bauds}}$$

$$\Delta t_1 = 16.6 \text{ ms}$$

$$\Delta t_2 = \frac{8 \text{ bits} + 1 \text{ bit de inicio} + 1 \text{ bit de fin}}{1200 \text{ bauds}}$$

$$\Delta t_2 = 8.8 \text{ ms}$$

La frecuencia de 25 Hz, cuyo periodo de tiempo es $1/25 = 40$ ms, permite tener un amplio margen en ambos casos. El pulso de reloj lo genera el circuito temporizador LM555 (IC2) que en modo astable funciona como un generador de onda cuadrada a una frecuencia y ciclo de trabajo fijo.

Para realizar la serialización se utilizó un circuito universal de transmisión y recepción asíncrona de datos (UART) IM6402 dado por IC4. Éste recibe una señal de control (-TBRL) que le indica el momento en que debe comenzar la serialización de la palabra digital presente en el bus de datos. El pulso de reloj es simultáneamente utilizado como señal de control para el UART. Además, el UART requiere una base de tiempo que debe ser 16 veces la velocidad de transmisión seleccionada y que a velocidades de transmisión de 600 y 1200 bauds es de 9600 y 19200 Hz, respectivamente. Esta señal la proporciona el circuito generador de baudaje MC1441 (IC1), que produce pulsos de reloj a diferentes frecuencias a partir de un oscilador principal de 1.8432 MHz. Las velocidades de transmisión se seleccionan mediante el interruptor SW1.

El diagrama de tiempos de la figura 4.4 muestra el pulso de reloj como señal de control para incrementar la cuenta de datos y para iniciar la serialización.

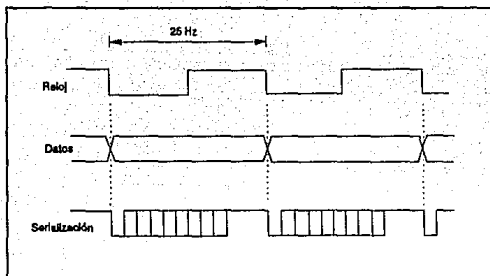


Figura 4.4 Diagrama de tiempos del módulo de prueba

La modulación FSK es realizada mediante el circuito modem TCM3105 (IC5) de Texas Instruments que opera a velocidades de transmisión de 75, 150, 600 y 1200 bauds, en modo half-duplex y cumple con las especificaciones CCITT V.23. Posee un sintetizador programable de frecuencias que divide la frecuencia del oscilador principal, proveniente de un cristal externo de 4.4336 MHz, para generar las señales senoidales correspondientes a cada valor digital. La selección de dichas frecuencias se realiza mediante el interruptor SW2 a través de las líneas de selección TRS (Transmit Standard Select), TXR1 (Bit Rate Select 1) y TXR2 (Bit Rate Select 2). En la tabla 4.1 se muestran las frecuencias asignadas para los niveles alto y bajo para velocidades de transmisión de 600 y 1200 bauds, así como los niveles lógicos requeridos en las líneas de selección. La salida FSK se obtiene en la línea TXA (Transmit Analog Output) y debe aplicarse a una impedancia de carga mínima de 50K.

TRS	TXR1	TXR2	Velocidad de transmisión	Frecuencia para nivel ALTO	Frecuencia para nivel BAJO
ALTO	BAJO	ALTO	600 bauds	1300 Hz	1700 Hz
BAJO	BAJO	BAJO	1200 bauds	1300 Hz	2100 Hz

Tabla 4.1 Señales del modem TCM3105

Finalmente, el amplificador de ganancia variable IC7 acopla la señal al radio transmisor. La amplitud se ajusta con el potenciómetro POT1.

El suministro de energía del módulo es de 12 V, con el regulador de 5 V (IC6) se obtiene el nivel de voltaje de alimentación de los diferentes circuitos integrados.

Las primeras pruebas de transmisión se realizaron utilizando un radio transmisor VHF de 156.425 MHz de 1 watt de potencia y una antena yagui. Se estableció un enlace entre el Instituto de Ingeniería y el CENAPRED, ubicado aproximadamente a una distancia de 2 km. En el CENAPRED se instaló un sistema de recepción con un circuito que detecta y demodula la señal FSK y la transfiere a una computadora. Este circuito y el sistema de recepción se describirán con detalle en el capítulo 6. Un sencillo programa para computadora fue desarrollado para recibir los datos, verificar la correcta secuencia y llevar una cuenta de los errores.

Los resultados de las pruebas realizadas mostraron que de cada 100 bloques con la secuencia de 128 bytes transmitidos, en promedio 2.5 bloques al menos recibieron un dato erróneo que no permitió recibir la secuencia de datos completos. Esto es equivalente a una tasa de error de un byte en 5000.

Se realizó también una prueba de comunicación vía telefónica utilizando el circuito mostrado en la figura 4.5. Los teléfonos sirvieron para establecer la comunicación en la línea mediante los discos de marcado, y al activar los interruptores SW1 y SW2 se inició la transferencia de datos. Las pruebas realizadas durante varios minutos no mostraron ningún error.

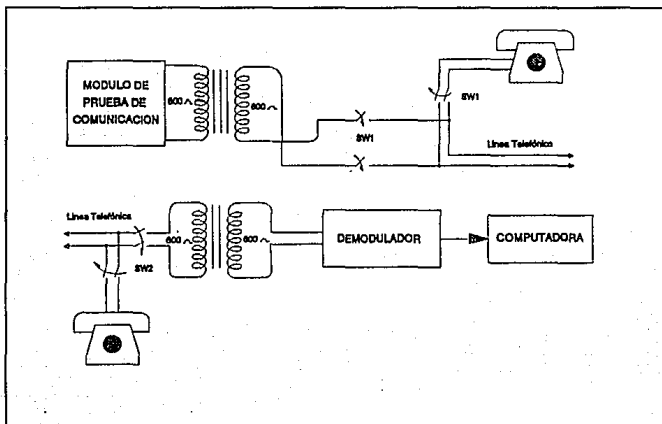


Figura 4.5 Conexión vía telefónica

Para una futura aplicación en la que se desee utilizar una línea telefónica se deberá considerar que el ADII debe establecer la comunicación a través de la línea utilizando

circuitos electrónicos² que directamente la controlen.

4.3 Circuito periférico de comunicación del acelerógrafo ADII

El acelerógrafo ADII opera de la siguiente forma: la señal eléctrica proporcional a la aceleración que proviene del sensor es amplificada y filtrada antes de realizar la conversión analógico-digital. Cada 10 ms (100 muestras/seg.) se toma una muestra del valor de la señal analógica de cada uno de los 3 canales del sensor. Solo cuando se cumple el algoritmo de disparo el acelerógrafo almacena los datos en su memoria, y más tarde pueden ser recuperados a través del puerto serie. La conversión A/D, codificación, almacenamiento y reproducción de los datos en el ADII es controlada por un microprocesador y un sistema operativo. Para comunicarse con el usuario el ADII tiene un visualizador numérico y un teclado a través del cual se pueden ver e inicializar los parámetros del instrumento, asimismo un puerto serie RS-232 para la transferencia de archivos a una velocidad fija de 9600 bauds hacia una computadora externa. El diagrama funcional del ADII se muestra en la figura 4.6.

Para utilizar el ADII en este sistema de telemetría se tuvo que desarrollar un nuevo módulo destinado a las tareas de comunicación con una salida FSK. El diagrama electrónico de este circuito se muestra en la figura 4.7.

² El circuito integrado MC145412, de Motorola, realiza las tareas de marcado por tonos o pulsos y controla la línea telefónica; o bien, el MC34010, también de Motorola, es un teléfono completo con interfaz a microprocesador y teclado, red de habla incluida, generador de tonos y conexión directa con la línea telefónica [Ref. 12].

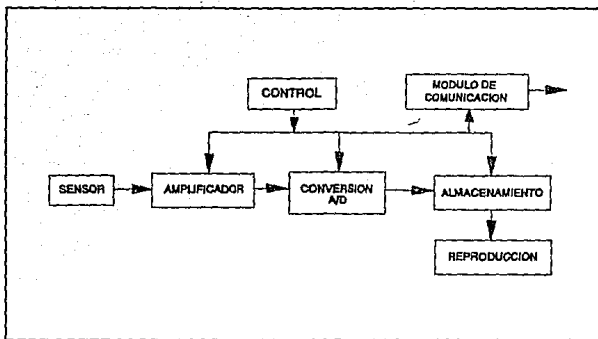


Fig. 4.6 Diagrama funcional del ADII

Primeramente se decidió cambiar el UART original IM6403 por el circuito integrado ACIA (Asynchronous Communication Interface Adapter) R65C51 (IC1) que realiza la misma función, debido a que este último es controlado a través de instrucciones dadas por el microprocesador y el UART mediante interruptores físicos. Se pueden seleccionar velocidades desde 50 hasta 19200 bauds, la longitud de palabra de datos, la paridad y el número de bits de finalización a través de los registros de comando y control del ACIA. Mediante el registro de status se controla la transmisión y recepción, y en ambos casos se tiene un registro de datos donde se almacena la palabra digital.

La señal serie asíncrona es por una parte modulada para la transmisión a través del canal de comunicación y por otra transformada a los niveles de voltaje recomendados por la interfaz RS-232 para la transferencia de datos a la computadora. Para la transmisión de datos por telemetría se utilizó el modem TCM3105 (IC2) y un par de amplificadores IC4 e IC5. Aún

cuando el ADII por ahora únicamente transmite y no espera recibir datos, se incorporó una línea de entrada para una señal FSK para que el instrumento pueda ser utilizado en distintas aplicaciones que requieran medición y control remoto del equipo. Una descripción más detallada del modem se dará en el capítulo 6. Por otro lado, la señal serie asíncrona es transformada a los niveles de voltaje utilizados en la interfaz RS-232 mediante el circuito integrado MAX-232 (IC3).

Finalmente, se añadió una salida de control RADSR utilizada para conmutar el radio de modo transmisión a recepción. Ésta proviene de uno de los puertos de salida del ADII, y mediante el transistor IC6 se obtienen 12 V.

El módulo completo de comunicación se desarrolló en una tarjeta conectada con el ADII a través de un cable plano de 26 terminales que llevan el bus de datos, las líneas de selección, las líneas de lectura y escritura y las líneas de control.

Los puertos de entrada y salida de datos una vez modificado el ADII se muestran en la figura 4.8, y se tiene acceso a ellos a través de un conector DB-25 macho.

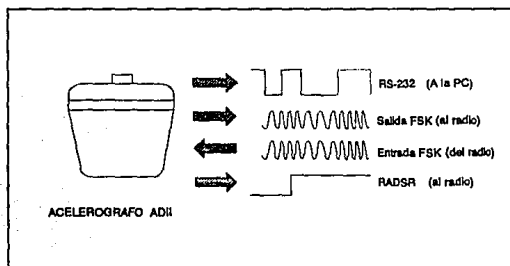


Figura 4.8 Puertos de entrada y salida del ADII modificado

4.4 Modificaciones al programa de control del ADII

Ligado a las modificaciones de la arquitectura del ADII y para la aplicación de telemetría hubo que modificar también su programa de control.

La figura 4.9 muestra el diagrama de flujo general del programa de control del ADII incluidas las rutinas que realizan la comunicación de datos. Antes de mencionar las modificaciones realizadas se describirá brevemente como opera el programa.

La rutina I es ejecutada por el microprocesador al recibir un reset. Aquí es donde se inicializan las variables y solamente se ejecuta al encender el equipo o al autoinicializarse. La rutina II controla los modos de operación del sistema y permite la inicialización de parámetros a través del teclado. La rutina III constituye la parte central del programa y maneja la conversión analógico-digital, el control de disparo, visualización de datos, actualización del reloj fechador, almacenamiento, etc., a través de 3 rutinas denominadas A, B y C que se ejecutan en secuencia. En ellas se realizan las tareas asignadas a cada uno de los canales del sensor. El ADII procesa 100 muestras por segundo, lo que significa que cada 10 ms se ejecutan las 3 rutinas A, B y C.

En la rutina de inicialización se incluyeron las instrucciones para definir la velocidad y formato de transmisión programando los registros de comando y control del ACIA. Se fijó la velocidad a 1200 bauds, tamaño de palabra a 8 bits, un bit de finalización y ninguna paridad.

La aceleración máxima de cada canal se evalúa en la rutina III después de cada conversión analógico-digital. Los valores de aceleración máxima junto con las variables que definen las condiciones del instrumento, que son transmitidas en diferentes bloques de datos como se verá con detalle en el capítulo 5, se almacenan temporalmente antes de transmitir. La rutina III-A realiza la transferencia hacia el puerto de comunicación, y cada vez que se

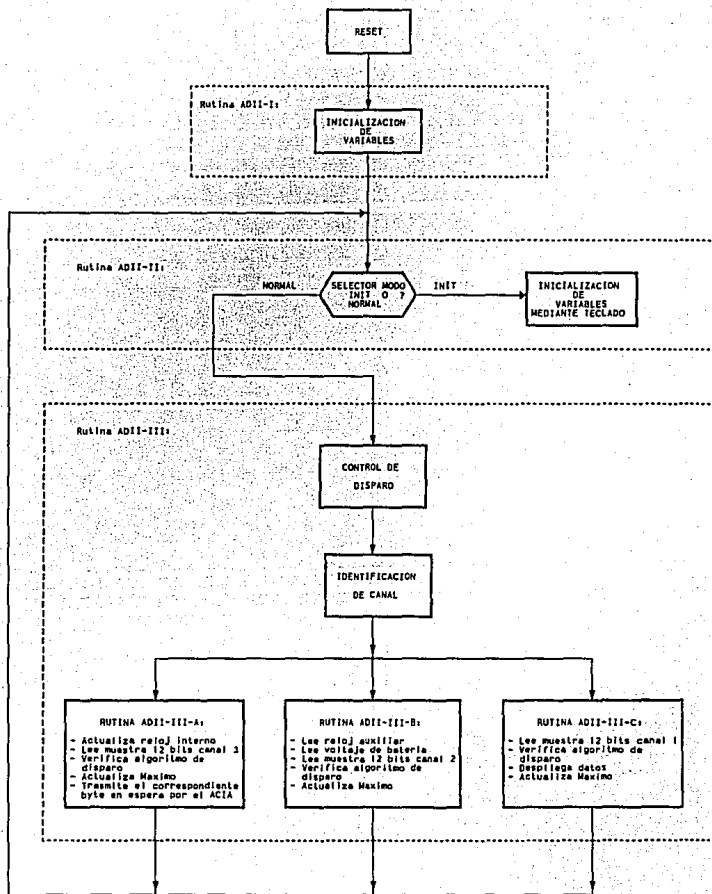


Figura 4.9 Diagrama de flujo del programa de control del ADII

ejecuta (10 ms) envía un byte por el puerto serie hasta completar el bloque de datos. Así se asegura que el dato anterior haya sido serializado ya que a 1200 bauds el tiempo que tarda en hacerlo es 8.8 ms, como se analizó en el inciso 4.2.

V FORMATO Y MODOS DE COMUNICACION

5.1 Formato de comunicación

Mediante una comunicación serie asncrona es posible transmitir una palabra de N bits añadiéndole elementos de sincronía e identificación. Para enviar un bloque de información con una gran cantidad de datos son necesarios adicionalmente elementos de control y sincronía para ordenar y distinguir los datos dentro de una secuencia continua de palabras. Para ello el trasmisor y el receptor deben estar de acuerdo en las reglas seleccionadas para la transferencia de información. Para definir dichas reglas se debe tomar en cuenta lo siguiente:

1. Establecer una vía adecuada de comunicación
2. Establecer un protocolo entre el trasmisor y el receptor para identificar en qué momento comienza y termina un bloque completo de información
3. Definir un formato o código apropiado para los datos
4. Proteger la integridad de los datos estableciendo códigos detectores y correctores de error

Para el enlace de telemetría desarrollado se estableció un sistema simplex, es decir, solo es necesario transmitir en una sola dirección.

Para identificar un bloque de información, se añadió a los datos una marca de inicio de transmisión (MIT) y otra marca de fin de transmisión (MFT). La marca de inicio consiste de

cinco veces la palabra \$AA, en hexadecimal, para el modo normal y \$DD para el modo disparo. La marca de fin de transmisión se definió como cinco veces la palabra \$EE.

La información que envía el acelerógrafo está compuesta por los valores máximos de aceleración, fecha y hora de registro y parámetros generales del instrumento. Esta información se codifica convenientemente en palabras digitales.

Debido a que el medio de transmisión puede verse perturbado por diversas fuentes de ruido (interferencia, descargas eléctricas, etc.) que ocasionan errores y a veces pérdida de la comunicación, debe añadirse a los datos alguna forma para detectar los errores y determinar la confiabilidad de la transmisión e integridad de la información. La información a su vez está agrupada en bloques o muestras cada uno asociado con un código de error.

El formato así compuesto se muestra en la figura 5.1.

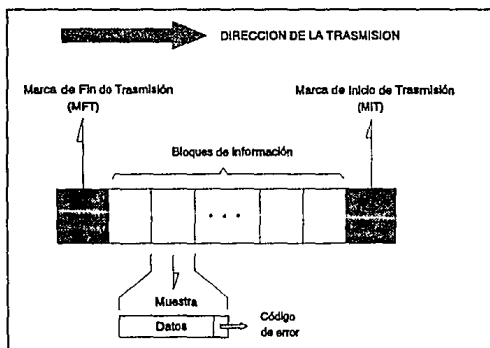


Figura 5.1 Formato de transmisión

Cada muestra está compuesta por 8 bytes y cuyo contenido se da en la tabla 5.1.

Byte	Contenido		Descripción
1	SYN = \$FF		Sincronía
2	NC	MAX3H	Nibble de control Máximo canal 3, 4 bits altos
3	MAX3L		Máximo canal 3, 8 bits bajos
4	NDM	MAX2H	Nibble de datos multiplexados Máximo canal 2, 4 bits altos
5	MAX2L		Máximo canal 2, 8 bits bajos
6	\$E	MAX1H	Nibble de sincronía Máximo canal 1, 4 bits altos
7	MAX1L		Máximo canal 1, 8 bits bajos
8	CHK		Byte de detección de error o CHECKSUM

Tabla 5.1 Contenido de cada muestra

El primer byte, de sincronía, es una referencia para indicar el inicio de la muestra y siempre tiene el valor \$FF hexadecimal.

El segundo byte está dividido en dos partes: los 4 bits más significativos forman un nibble de control (NC) y los 4 bits menos significativos contienen la parte alta del dato de aceleración máxima del canal 3. Los 8 bits bajos de este dato se colocan en el byte 3. Cabe recordar que cada muestra de aceleración del acelerógrafo ADII es de 12 bits, por lo que se requieren 1.5 bytes para su codificación.

En forma similar a los bytes 2-3, en los bytes 4-5 y 6-7 se codifican las aceleraciones máximas de los canales 2 y 1 del sensor, respectivamente. También se definen 2 nibbles, uno con datos multiplexados, NDM y otro fijo con valor \$E.

El nibble de control, NC puede tomar los valores mostrados en la tabla 5.2 y se utiliza para identificar el modo de operación del acelerógrafo ADII y el número de la muestra para decodificar los datos multiplexados (nibble NDM).

Valor (Hex)	Descripción
0	Modo normal inicio (primera muestra)
3	Modo normal (siguientes muestras)
C	Modo disparo inicio (primera muestra)
F	Modo disparo (siguientes muestras)

Tabla 5.2 Contenido del nibble de control, NC

En el nibble NDM se multiplexan distintos datos referentes al tiempo y al estado operativo del ADII. Los parámetros que se transmiten son los siguientes: número de eventos registrados en el acelerógrafo, número de "glitches" o interrupciones del programa, memoria disponible del acelerógrafo en minutos, voltaje de alimentación en volts, días transcurridos del año (calendario Juliano), año, hora, minutos, segundos del reloj fechor e información sobre el estado de la alimentación. Todas estas variables se representan en el nibble en código BCD. A cada muestra, de una secuencia de 22, le corresponde un dato específico como se observa en la tabla 5.3.

MUESTRA	Nibble NC Normal - Disparo		CONTENIDO	DESCRIPCION
1	\$0	\$C	CE10	Contador de eventos (decenas)
2	\$3	\$F	CE1	Contador de eventos (unidades)
3	\$3	\$F	GL10	Contador de Glitches (decenas)
4	\$3	\$F	GL1	Contador de Glitches (unidades)
5	\$3	\$F	MEML10	Memoria libre en minutos (decenas)
6	\$3	\$F	MEML1	Memoria libre en minutos (unidades)
7	\$3	\$F	MEML0	Memoria libre en minutos (parte decimal)
8	\$3	\$F	VBAT10	Voltaje de la batería en volts (decenas)
9	\$3	\$F	VBAT1	Voltaje de la batería en volts (unidades)
10	\$3	\$F	VBAT0	Voltaje de la batería en volts (parte decimal)
11	\$3	\$F	D100	Días transcurridos (centenas)
12	\$3	\$F	D10	Días transcurridos (decenas)
13	\$3	\$F	D1	Días transcurridos (unidades)
14	\$3	\$F	A10	Año (decenas)
15	\$3	\$F	A1	Año (unidades)
16	\$3	\$F	H10	Hora (decenas)
17	\$3	\$F	H1	Hora (unidades)
18	\$3	\$F	M10	Minutos (decenas)
19	\$3	\$F	M1	Minutos (unidades)
20	\$3	\$F	S10	Segundos (decenas)
21	\$3	\$F	S1	Segundos (unidades)
22	\$3	\$F	VAC	0=O.K. 1=no hay

Tabla 5.3 Datos Multiplexados en el nibble NDM

Para la decodificación de esta información basta esperar la primer muestra de la secuencia a través del nibble de control (NC=0 ó NC=SC, de acuerdo al modo) y decodificar a partir de allí sucesivamente, muestra a muestra, los 22 datos multiplexados.

El nibble alto en el byte 6 contiene un valor constante, \$E en hexadecimal, y es usado como una sincronía adicional.

La gran mayoría de los métodos de detección de errores añaden bits o una variable que de alguna forma representa el contenido del mensaje y se trasmite junto con él. El procedimiento para generar dicha variable para la detección de errores es también realizado al recibir los datos produciendo una nueva variable que se compara con la transmitida.

A cada bloque o muestra se añadió un byte para la detección de errores denominado byte de CHECKSUM. El CHECKSUM representa el contenido de cada muestra y es enviado al final de la misma. Se genera mediante la función OR exclusiva¹ de los 7 bytes de la muestra de la siguiente forma:

	SINCRONIA
	NC - MAX3H
	MAX3L
	NDM - MAX2H
	MAX2L
	\$E - MAX1H
	MAX1L
XOR	-----
	CHECKSUM

¹La tabla de verdad de la OR exclusiva es la siguiente:

0	XOR	0	=	0
0	XOR	1	=	1
1	XOR	0	=	1
1	XOR	1	=	0

Para determinar si hubo errores en la transmisión se calcula la XOR de los 7 datos de la muestra recibida generándose un nuevo CHECKSUM que se compara con el valor del CHECKSUM recibido. Si los dos no son iguales hubo un error en la transmisión. En una comunicación bidireccional se podría retransmitir la información al detectarse algún error, pero en una transmisión simplex como la que se utiliza no es posible. La decisión que se debe tomar al evaluar el CHECKSUM es aceptar o desechar la muestra completa ya que no se sabe cual byte fué afectado. Un código corrector más sofisticado puede utilizarse, sin embargo requerirá más datos por muestra, lo que comprometería la velocidad de transmisión.

5.2 Modos de transmisión

Se mencionó que el ADII opera en dos modos: normal y disparo. A partir de estos modos de operación se definieron también dos modos de transmisión y uno adicional, de calibración, como se muestra en la figura 5.2.

5.2.1 Modo normal

En modo normal se transmiten cada 10 segundos los valores máximos de aceleración registrados en el intervalo anterior, el tiempo y el estado del equipo. Para hacerlo se envía un paquete completo de información compuesto por la marca de inicio de transmisión definida para modo normal, 22 muestras de 8 bytes cada una y finalmente la marca de fin de transmisión. En total se transmiten:

$$\text{No de bytes} = 5 \text{ bytes de MIT} + 22 \text{ muestras} \times 8 \frac{\text{bytes}}{\text{muestra}} + 5 \text{ bytes de MFT}$$

$$\text{Total de bytes} = 186$$

La duración de la transmisión del paquete completo a 1200 bauds es:

$$\text{Duración} = 186 \text{ bytes} \times 10 \frac{\text{ms}}{\text{byte}}$$

$$\text{Duración} = 1.86 \text{ seg}$$

5.2.2 Modo disparo

En el modo de disparo se transmite la misma información del modo normal pero en forma continua durante el tiempo que dura el evento. Primero se envía la marca de inicio de transmisión definida para modo disparo, y en seguida las muestras. La secuencia de datos multiplexados correspondientes al estado de la estación se repite cada 22 muestras indicando el inicio de dicha secuencia mediante el nibble de control. Una vez que termina el evento se transmite la marca de fin de transmisión y se regresa al modo normal de operación.

5.2.3 Modo de calibración

Por último, se incluyó un modo especial de transmisión denominado modo de calibración en el cual cada 10 segundos se envía una secuencia numérica que va de 0 a 255 junto con la marca de inicio de transmisión y la marca de fin de transmisión (266 bytes en total). Este modo de operación se selecciona a través del teclado de control del ADII. Se utiliza básicamente para fines de prueba y evaluación del sistema. La duración de transmisión es la siguiente:

$$\text{Duración} = 266 \text{ bytes} \times 10 \frac{\text{ms}}{\text{byte}}$$

$$\text{Duración} = 2.6 \text{ seg}$$

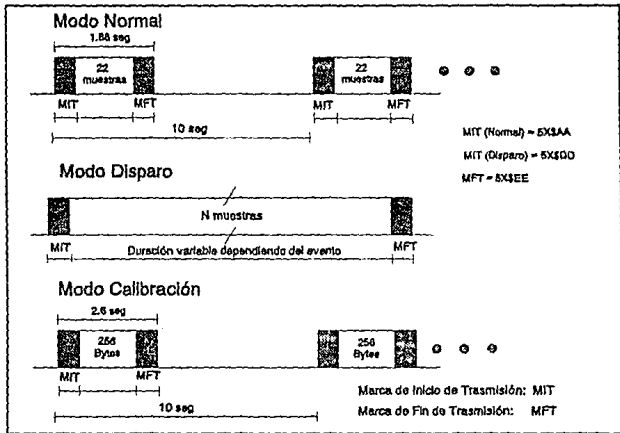


Figura 5.2 Modos de transmisión del acelerógrafo

VI SISTEMA DE RECEPCION

6.1 Central de procesamiento

En el centro de procesamiento se recibe la señal enviada ya sea por radio o por línea telefónica desde la estación acelerográfica remota y se procesa mediante una computadora. Este centro está compuesto por los bloques que se muestran en la figura 6.1.

La señal FSK es transmitida a través de la línea telefónica o a altas frecuencias vía radio. El equipo receptor, ya sea un radio o un modem, recupera dicha señal FSK que es demodulada, y a través de una interfaz se transfiere a una computadora. Un programa especial demultiplexa las variables y las muestra en la pantalla para así monitorear el estado del equipo y los valores de aceleración máxima. Cuando hay un disparo, es decir, cuando ocurre un sismo que se hubiese detectado en la estación, la información se procesa y se almacena en disco.

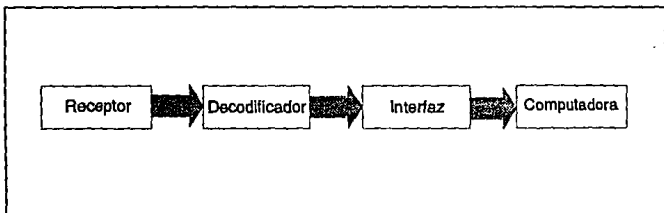


Figura 6.1 Sistema de recepción

6.2 Circuito demodulador y acondicionador

El circuito desarrollado recibe la señal FSK, la demodula y la envía a la computadora por medio de una interfaz adecuada.

El diagrama electrónico del circuito demodulador se muestra en la figura 6.2. Mediante un amplificador (IC1) se acopla y limita la amplitud de la señal analógica de entrada al modem (IC2), el cual especifica que no debe ser mayor a 0.78 V_{p-p} . Se utilizó el amplificador operacional LM308 en una configuración de inversor y su ganancia se ajusta con el potenciómetro POT1. Para evitar voltajes mayores a 0.7 V se añadieron los diodos limitadores D1 y D2.

Para la demodulación se utiliza al igual que en la estación transmisora, el circuito modem TCM3105. Su diagrama de bloques funcional se muestra en la figura 6.3 y se describe a continuación.

El temporizador y control genera todas las señales de reloj que requiere el modem a partir de un oscilador de 4.4336 MHz . Además, se genera una señal de reloj externa 16 veces el baudaje seleccionado. Un amplificador y filtro, que reciben la señal FSK a través de la línea RXA, eliminan la interferencia de frecuencias no deseadas. El equalizador compensa la distorsión en la fase. En seguida, se transforma la señal a una FSK de onda cuadrada mediante un limitador. La demodulación se realiza mediante un disparador de flancos que genera pulsos de longitud constante con cada cruce con cero de la señal FSK, de tal forma que la componente de DC de dichos pulsos es un valor proporcional a la frecuencia de la señal FSK. Dicha variación de nivel de DC es presentada a un comparador cuyo umbral se fija externamente con la entrada de ajuste de polarización de recepción externa (RXB) a través del potenciómetro POT2. Este comparador minimiza la distorsión de la señal demodulada,

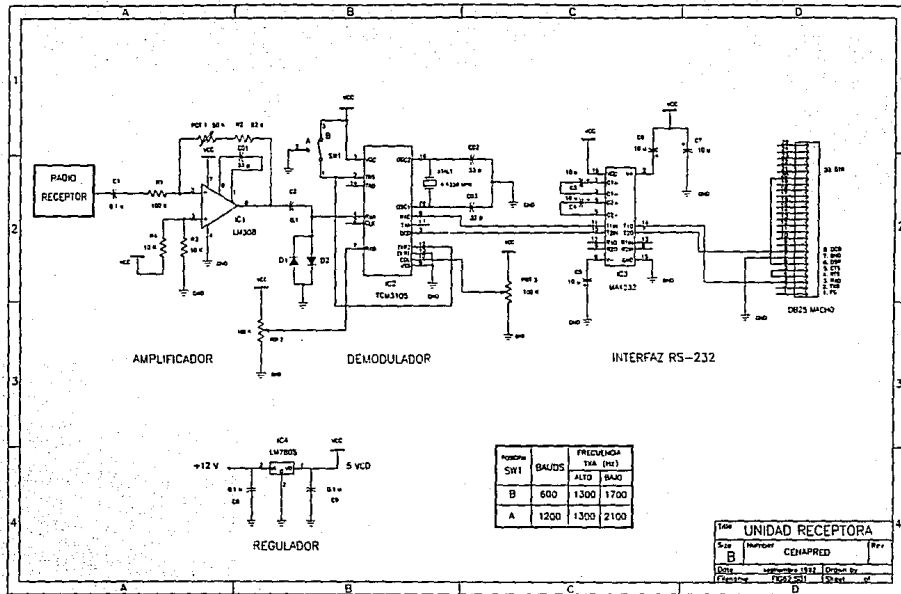


Figura 6.2 Circuito de recepción

es decir, cuando no está ajustada, la duración de los pulsos para niveles alto y bajo es diferente de la correspondiente duración para la velocidad de transmisión seleccionada. El modem posee además un circuito que compara la amplitud de la señal de salida del filtro interno con un umbral externo aplicado a la entrada de ajuste de nivel de portadora (CDL) a través del potenciómetro POT3. La salida de este comparador, llamado detector de portadora, es una variable que adquiere únicamente dos valores indicando si una señal está presente en la línea de transmisión y es llamada señal de detección de portadora (Carrier Detect CDT). Un nivel bajo en esta línea indica una falla o ausencia de la portadora. El umbral del comparador se fijó para que se habilite al recibir una señal analógica con amplitud menor a un valor mínimo.

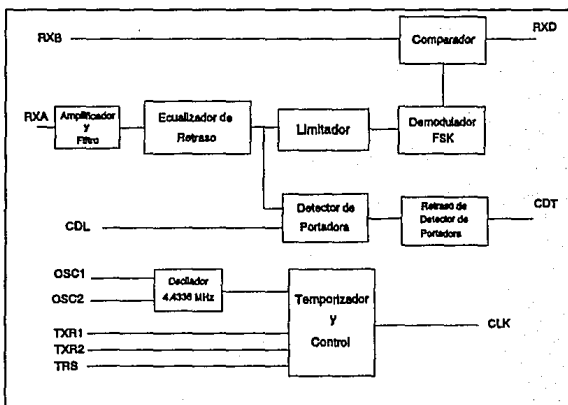


Figura 6.3 Diagrama funcional a bloques del modem TCM3105

El procedimiento para ajustar el demodulador es el siguiente:

1. Fijar la velocidad de transmisión y frecuencia deseada con las entradas de selección de velocidad de transmisión y frecuencia (TXR1, TXR2 y TRS). Se fijó la velocidad de transmisión a 1200 bauds y las frecuencias a 1300 Hz y 2100 Hz para niveles alto y bajo, respectivamente (interruptor SW1 en posición A).
2. Aplicar una señal menor a $0.78 V_{p-p}$ a la entrada analógica del modem (RXA) con una frecuencia igual a la mitad de las frecuencias asignadas. Por ejemplo una señal de $0.5 V_{p-p}$ y frecuencia de 1700 Hz.
3. Aplicar un voltaje de 3.5 V en la entrada de ajuste RXB. La señal digital demodulada RXD debe ser un valor alto. Con el potenciómetro POT2 se reduce el voltaje de ajuste hasta que RXD cambie a un valor bajo, entonces se vuelve a incrementar el voltaje en la entrada hasta que RXD presente nuevamente un valor alto. El demodulador se encuentra ahora ajustado a un mínimo de distorsión.

El procedimiento para el ajuste del umbral del comparador (CDL) de detección de portadora es el siguiente:

1. Aplicar 4 V mediante el potenciómetro POT3 a la entrada CDL.
2. Fijar la velocidad de transmisión y frecuencia deseada con las entradas de

selección de velocidad de transmisión y frecuencia (TXR1, TXR2 y TRS). En este caso 1200 bauds y frecuencias de 1300 Hz y 2100 Hz para valores alto y bajo, respectivamente.

3. Aplicar una señal senoidal a la entrada analógica del modem (RXA) con una amplitud igual al valor mínimo que se desea detectar y con una frecuencia igual a la mitad de las frecuencias seleccionadas, por ejemplo una senoidal de $0.05 V_{pp}$ y 1700 Hz.
4. La señal de detección de portadora debe estar en estado bajo.
5. Reducir el voltaje del umbral CDL con POT3 hasta que la señal de detección de portadora cambie a un nivel alto. El ajuste de umbral del detector de portadora queda así fijo al valor de amplitud mínima seleccionado.

Los procedimientos antes descritos se deben a que el comparador posee dos umbrales diferentes, uno cuando la señal a comparar disminuye de valor y otro cuando crece. Por ello es comúnmente llamado comparador con histéresis. Si se utiliza el modem con una velocidad de transmisión diferente a la empleada para el ajuste, no es necesario realizar este último nuevamente.

Los datos digitales (Receiver Digital Output, RXD) son convertidos al nivel de voltaje de la interfaz RS-232 para conectarse al puerto serie de la computadora mediante el circuito integrado MAX-232 (IC3). La salida se obtiene a través de un conector DB-25 macho. Se observa en el diagrama de la figura 6.2 que las terminales DTR, DSR y CTS, RTS están unidas en este conector ya que no se tiene comunicación bidireccional, sino un flujo continuo de datos hacia la computadora, de esta forma se ignoran las líneas de control o handshake.

Esta conexión también se conoce como configuración de modem nulo.

El cable de conexión entre la computadora y el circuito demodulador es similar a un cable comercial modem-computadora, y es el siguiente:

Conector DB-25 (Circuito Receptor)	Descripción	Conector DB-9 (Computadora)
Pin 3	RXD (Receive Data)	Pin 2
Pin 4	RTS (Ready to Send)	Pin 8
Pin 5	CTS (Clear to Send)	Pin 7
Pin 6	DSR (Data Set Ready)	Pin 6
Pin 7	GND (Tierra Común)	Pin 5
Pin 8	DCD (Data Carrier Detect)	Pin 1
Pin 20	DTR (Data Terminal Ready)	Pin 4

Tabla 6.1 Cable modem - computadora

VII PROGRAMA DE RECEPCION Y MONITOREO DE DATOS

7.1 Descripción general del programa de monitoreo

Una vez instalada la primera estación, acelerógrafo y sistema de comunicación, fué necesario diseñar un programa de computadora para recibir la información transmitida por el ADII. Este último, realizado en lenguaje C, decodifica las variables recibidas de acuerdo al formato descrito en el capítulo 5, detecta los errores mediante la revisión del CHECKSUM, despliega en la pantalla de la computadora el estado general del ADII y la aceleración máxima registrada, y al haber un disparo almacena en un archivo los valores de aceleración máxima. Tiene además una opción para graficar en pantalla o impresora el archivo generado durante un sismo, observándose una curva creciente de aceleración tal y como se describió en el capítulo 3.

La operación del programa está directamente ligada a los modos de transmisión del acelerógrafo. En modo normal, que se transmite cada 10 segundos, se despliegan en la pantalla los parámetros del ADII y las aceleraciones máximas. En modo disparo se realiza una transmisión continua y el programa despliega las aceleraciones máximas cada segundo e indica el modo de disparo con un sonido mientras dura el evento. Al final del evento se genera un archivo con todos los valores de aceleración recibidos.

En ejecución, el programa trabaja en un ciclo en el que continuamente se leen los datos del puerto serie y se procesan de acuerdo al modo de operación del ADII. El ciclo se ve interrumpido cuando el usuario desea graficar algún archivo o terminar la ejecución del programa.

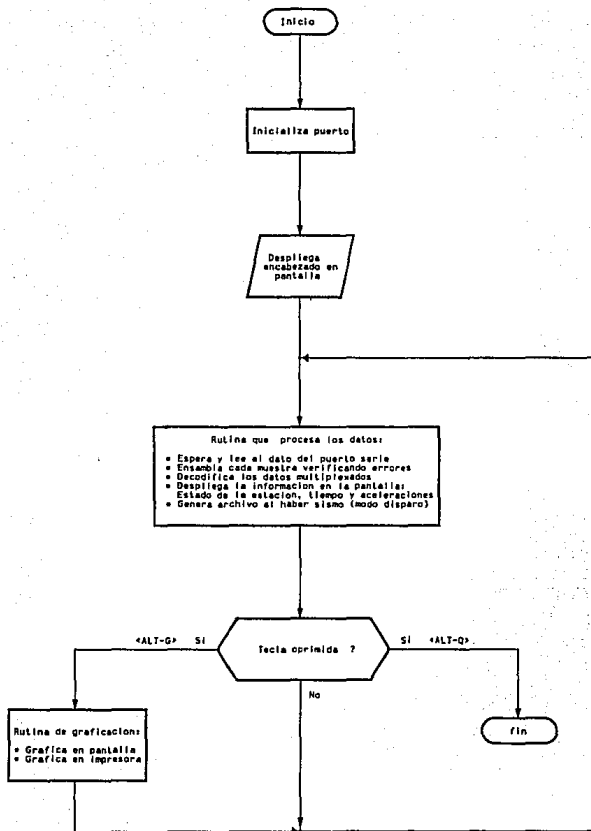


Figura 7.1 Diagrama general de flujo del programa de recepción

El diagrama general de flujo del programa se muestra en la figura 7.1. Primeramente se definen las variables a utilizar y se inicializa el puerto serie de comunicación de la computadora a 1200 bauds, 8 bits de datos, sin paridad y 1 bit de fin. Enseguida se imprime en la pantalla un encabezado y se inicia el ciclo en el cual se revisa si se ha oprimido alguna tecla y se llama la rutina que lee el dato del puerto y lo procesa. La rutina de procesamiento es la parte central del programa. Al oprimir Alt-G se suspende el ciclo para realizar las rutinas de graficación, ya sea en la pantalla de la computadora o en papel mediante una impresora. Al oprimir Alt-Q se termina la ejecución del programa.

7.2 Rutina de procesamiento

El diagrama de flujo de la rutina de procesamiento de datos se muestra en la figura 7.2. Opera de la siguiente forma:

Primeramente se verifica si el UART ha recibido algún dato y si es el caso, éste se guarda en una variable temporal. La bandera de recepción de datos es una variable que indica que se ha recibido la marca de inicio de transmisión (ver figura 5.1). Mientras dicha bandera esté habilitada, todo dato recibido por el puerto es considerado como parte de las muestras. La rutina de procesamiento compara el dato recibido con los valores definidos para la marca de inicio de transmisión en ambos modos y cuando se ha recibido correctamente habilita la bandera. No se decodifican ni almacenan datos cuando está deshabilitada la bandera de recepción de datos. Sin embargo, esta bandera se habilita al detectar 3 muestras válidas consecutivas en modo disparo. De esta forma no se pierde el evento en caso de recibirse incompleta o con errores la marca de inicio de transmisión en modo disparo.

Una segunda bandera, llamada bandera de recepción de muestras, se habilita al recibir el

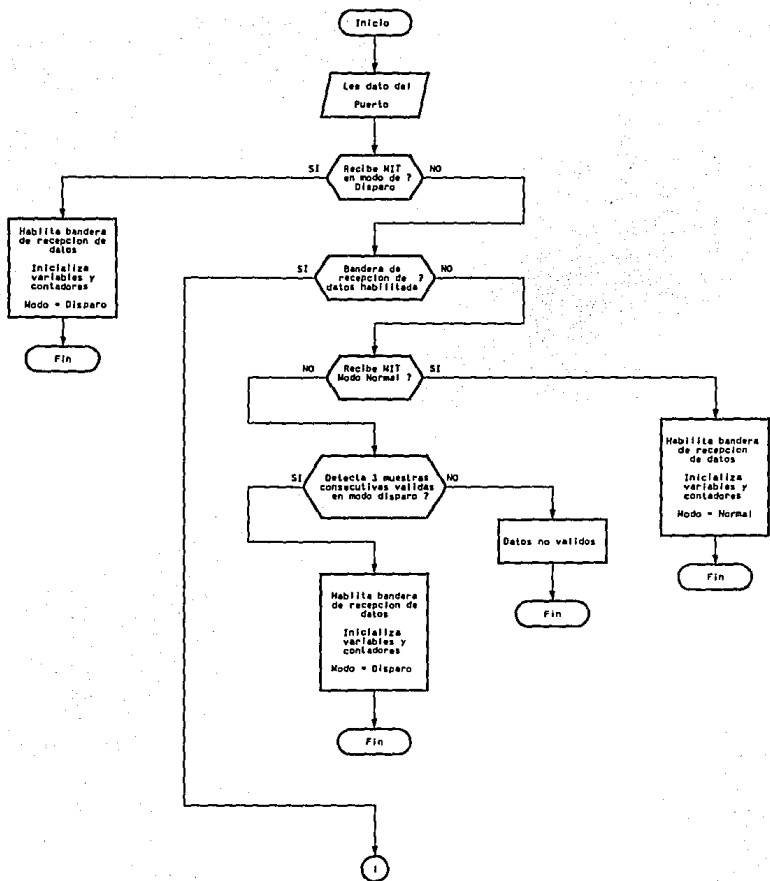


Figura 7.2 Rutina de procesamiento

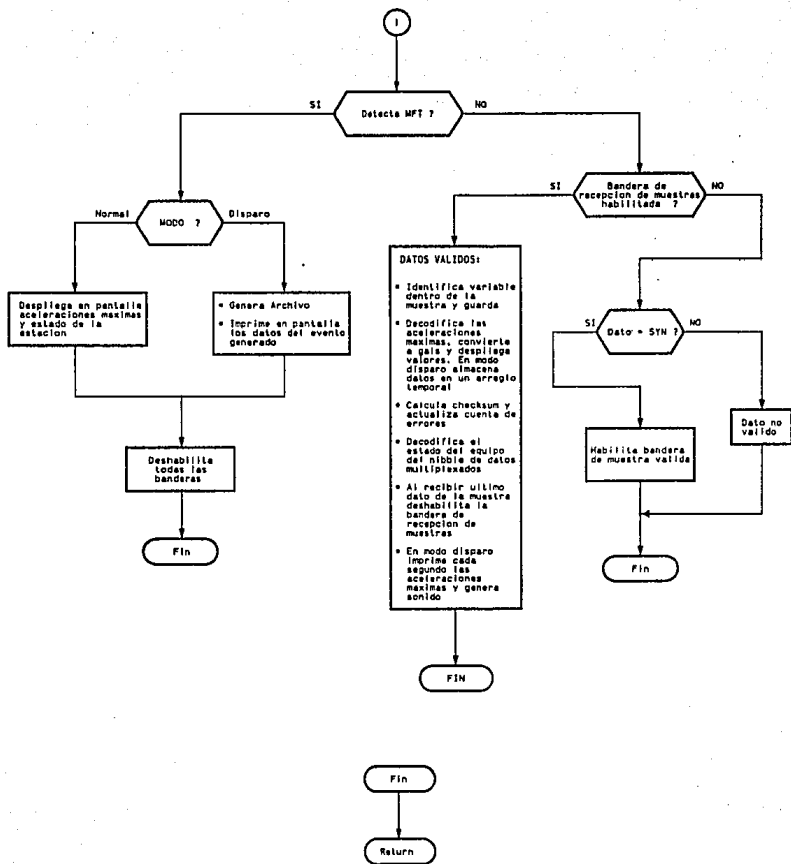


Figura 7.2 Rutina de procesamiento (continuación)

primer byte, de sincronía, de cada muestra; al mismo tiempo se inicializa un contador de muestras. Al estar habilitada esta última bandera se indica que cada dato recibido es parte de una muestra, y con ayuda del contador es posible identificar la variable de acuerdo a la tabla 5.1. Las aceleraciones máximas, enviadas en cuentas, se convierten a valores reales en gal (cm/s^2). En modo normal se despliegan estos valores en la pantalla. En modo de disparo se almacenan los datos en un arreglo con espacio de memoria suficiente para un evento de hasta 5 minutos, terminado el evento se guarda en un archivo. En ambos modos se recuperan los datos multiplexados y se ensamblan las variables correspondientes al estado general del ADII (fecha, hora, número de evento, etc.). Con cada dato recibido se actualiza el CHECKSUM y se incrementa el contador. Al recibirse el último dato de la muestra se compara el valor del CHECKSUM calculado con el recibido y se deshabilita la bandera de recepción de muestras. Las muestras que contienen errores en el CHECKSUM se desechan incrementándose la cuenta del total de errores para evaluar así la eficiencia de la transmisión. Este procedimiento se repite 22 veces en modo normal y el tiempo que dura el evento en modo de disparo.

Al recibirse la marca de fin de transmisión (MFT) se deshabilita la bandera de recepción de datos y no se vuelven a procesar datos sino hasta que se reciba nuevamente la marca de inicio de transmisión de una nueva muestra o un evento.

7.3 Despliegue de datos

En la figura 7.3 se muestra una imagen del programa tal y como se observa en la pantalla de la computadora al desplegar la información recibida. Se tienen tres ventanas: la ventana superior izquierda muestra el modo de operación en que se encuentra el equipo, normal o disparo. En modo de disparo esta señal parpadea a intervalos de dos segundos y se activa una

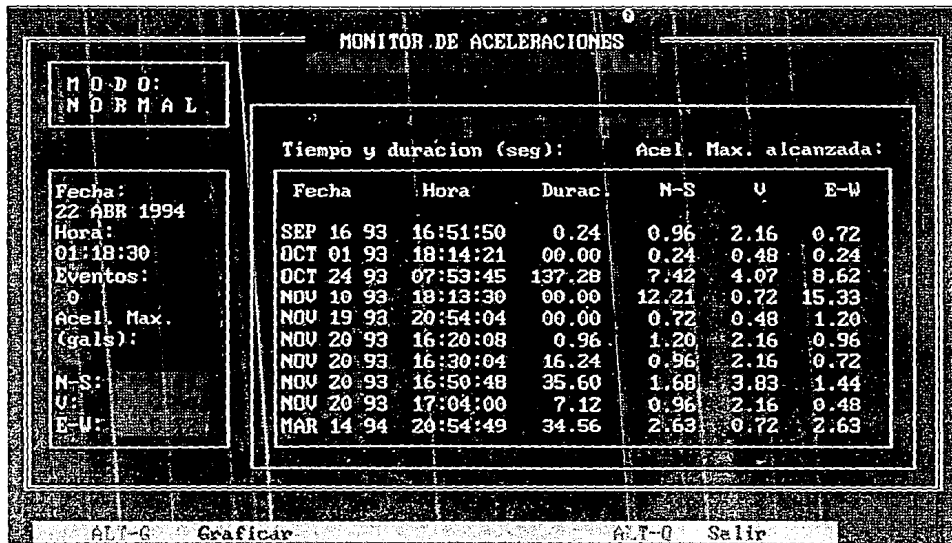


Figura 7.3 Vista en la pantalla del programa de monitoreo

señal auditiva de alertamiento. La ventana inferior izquierda muestra la fecha, hora, número de eventos del acelerógrafo y aceleraciones máximas registradas en gals. Los datos de esta ventana se actualizan cada 10 segundos en modo normal y cada segundo durante el tiempo que dura el evento en modo de disparo. La ventana central contiene la historia de los eventos registrados indicando la fecha y hora de inicio del evento, la duración y las aceleraciones máximas alcanzadas en los tres componentes del sensor.

Una barra inferior en la pantalla indica los comandos para graficar o salir del programa.

7.4 Archivos generados por el programa

Los archivos que genera el programa son tres: un archivo llamado DIRECT.DAT que contiene la lista de los eventos ocurridos, un archivo de aceleraciones máximas generado al haber un disparo y un archivo llamado GRAFIC.PXY con el formato requerido por el paquete PLOTXY para graficación en una impresora. Todos son archivos ASCII. A continuación se describe cada uno de ellos.

a) Archivo DIRECT.DAT

Contiene la información de los eventos ocurridos. Se genera la primera vez que se ejecuta el programa y se actualiza su contenido cada vez que se presenta un nuevo evento. Un ejemplo del contenido de este archivo es el mostrado en la figura 7.4, donde los datos almacenados son los siguientes:

Día: Días transcurridos del año (calendario Juliano)

No: Número de eventos ocurridos en ese mismo día

Archivo: Nombre del archivo que contiene la curva de aceleración máxima

Ev: Número de evento registrado en el acelerógrafo

Mes Día Año: Fecha en que ocurrió el evento

Hora: Hora registrada de inicio del evento (hora de Greenwich)

N-S: Aceleración máxima en gals alcanzada en la dirección norte - sur

V: Aceleración máxima en gals alcanzada en la dirección vertical

E-W: Aceleración máxima en gals alcanzada en la dirección este - oeste

Duración: Duración del evento en segundos

```
C:\SETIS> TYPE DIRECT.DAT
      Eventos registrados desde: JUN 23 1993
```

Día	No	Archivo	Ev	Mes	Día-año	Hora (GMT)	N-S (acel. en gals)	V (acel. en gals)	E-W (acel. en gals)	Duración (seg)
0253	01	S1091093.E01	01	SEP	10	1993 19:17:23	1.92	0.48	2.16	21.84
0259	01	S1091693.E01	02	SEP	16	1993 16:51:50	0.96	2.16	0.72	0.24
0274	01	S1100193.E01	03	OCT	01	1993 18:14:21	0.24	0.48	0.24	0.00
0297	01	S1102493.E01	01	OCT	24	1993 07:53:45	7.42	4.07	8.62	137.28
0314	01	S1111093.E01	01	NOV	10	1993 13:13:30	12.21	0.72	15.33	0.00
0323	01	S1111993.E01	01	NOV	19	1993 20:54:04	0.72	0.48	1.20	0.00
0324	01	S1112093.E01	01	NOV	20	1993 16:20:00	1.20	2.16	0.96	0.96
0324	02	S1112093.E02	02	NOV	20	1993 16:30:04	0.96	2.16	0.72	16.24
0324	03	S1112093.E03	03	NOV	20	1993 16:50:40	1.68	3.83	1.44	35.60
0324	04	S1112093.E04	04	NOV	20	1993 17:04:00	0.96	2.16	0.48	7.12
0073	01	S1031494.E01	01	MAR	14	1994 20:54:49	2.63	0.72	2.63	34.56

```
C:\SETIS>
```

Figura 7.4 Contenido del archivo DIRECT.DAT

b) Archivo de aceleración máxima

Este archivo contiene los datos de la curva de aceleración máxima recibida en modo disparo. A cada evento el programa le asigna un nombre de archivo diferente de acuerdo a la estación, la fecha y el número de eventos ocurridos el mismo día. El nombre tiene el siguiente formato: *S c mm dd aa . E nn* en donde,

c Clave de la estación: 0 = Cenapred y 1 = Zócalo

mm Mes

dd Día del mes

aa Año

nn Número de eventos ocurridos en ese día

El archivo contiene un encabezado inicial con los datos del evento generado: nombre del archivo, fecha, hora y número de muestras recibidas. Las aceleraciones se almacenan en unidades de gal con un formato de 3 x F10.2. El intervalo de muestreo es de 80 ms. En la figura 7.5 se muestran las primeras líneas de un archivo generado por el programa.

c) Archivo GRAFIC.PXY

Contiene los comandos y parámetros requeridos por el paquete PLOTXY para graficar en papel utilizando una impresora. Dichos parámetros son: nombre del archivo que contiene la curva de aceleración máxima, formato de lectura de datos, incrementos de tiempo entre dato y dato, número de muestras a graficar, los límites de la gráfica en los ejes vertical y horizontal evaluados automáticamente por el programa a partir de la duración y máximo alcanzado, gráfica lineal, coordenadas dentro del espacio de papel para cada una de las gráficas y finalmente las variables contenidas dentro del encabezado.

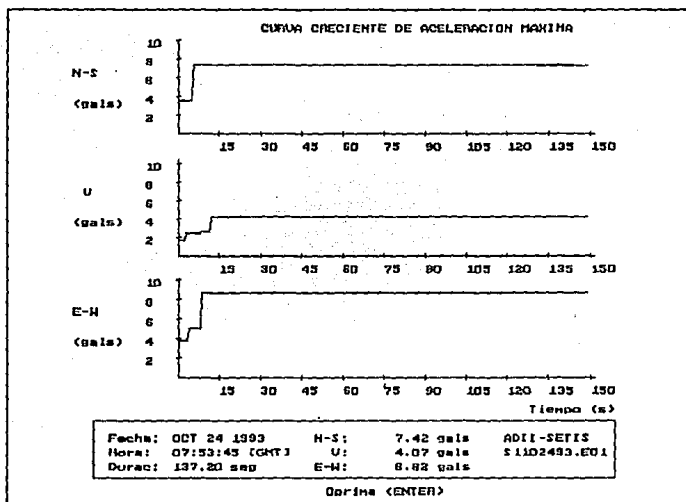


Figura 7.6 Graficación en pantalla

VIII SISTEMA PROTOTIPO Y ESPECIFICACIONES

8.1 Estación prototipo

Hasta aquí se han descrito las características de los equipos en la estación remota de registro, el centro de procesamiento y el formato con que se envían los datos. A continuación se describe la estación prototipo instalada en el CENAPRED.

Para la estación remota se utilizó la estación acelerográfica ubicada en el jardín del CENAPRED. Esta estación ya tenía como registrador un acelerógrafo ADII al cual solo hubo que acondicionar la nueva interfaz de comunicaciones desarrollada. Para fines de prueba se interconectó con la estación central de procesamiento, ubicada en el laboratorio de instrumentación del propio centro, tanto por radio como por cable.

Las figuras 8.1 a 8.3 muestran detalles de la estación remota de campo. Consta de una caja metálica de protección colocada sobre una base firmemente anclada a la roca basáltica. En su interior aloja el acelerógrafo ADII, el sensor triaxial, el transmisor, el cargador y una batería automotriz. La antena de radio se colocó sobre un tubo, junto a la caseta.

Como muestra la figura 8.4, en el centro de procesamiento se instalaron los equipos de recepción (parte superior del gabinete izquierdo), el decodificador y la computadora.

Los equipos de la unidad móvil de monitoreo se muestran en la figuras 8.5 y 8.6.

Finalmente, se instaló otra estación ubicada en el zócalo de la ciudad de México. Consta de los mismos elementos que la primera: acelerógrafo ADII con la interfaz de comunicaciones, el sensor triaxial, el cargador, una batería automotriz, el transmisor y antena. Se ha tenido una transmisión continua desde septiembre de 1993 a la fecha.

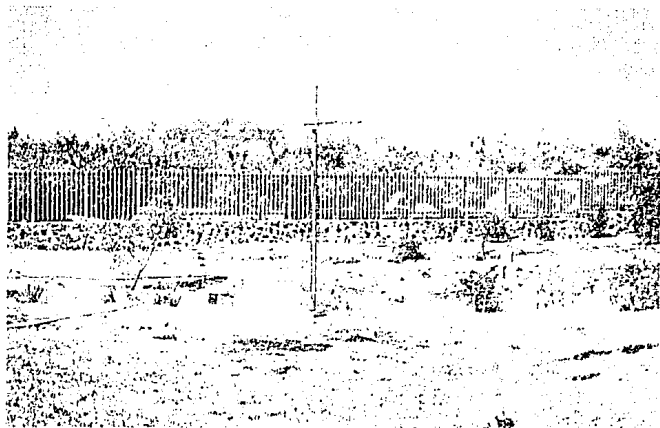


Figura 8.1 Estación en el patio del CENAPRED



Figura 8.2 Acelerógrafo ADII y sensor

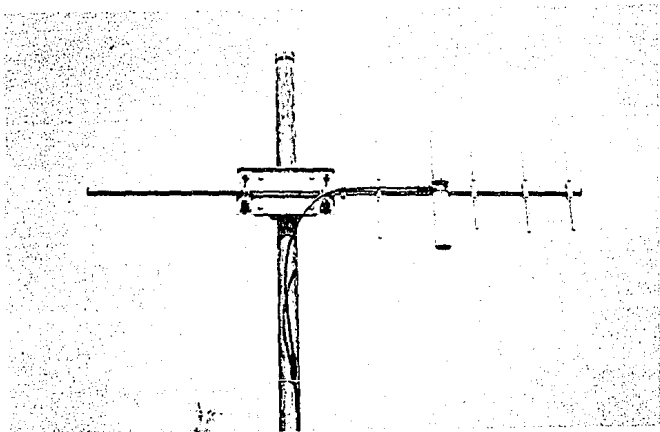


Figura 8.3 Antena trasmisora

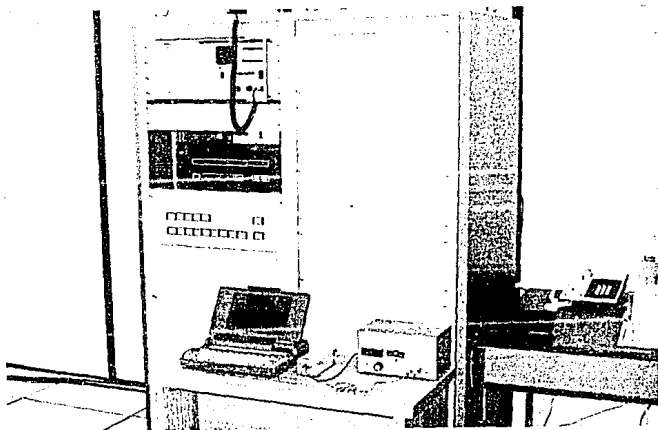


Figura 8.4 Central de procesamiento

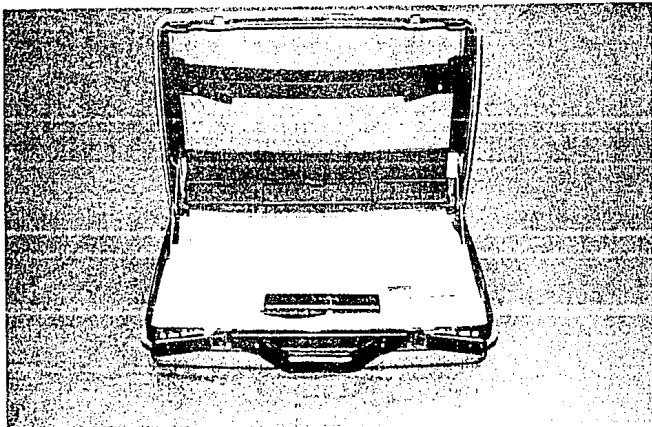


Figura 8.5 Unidad móvil de monitoreo

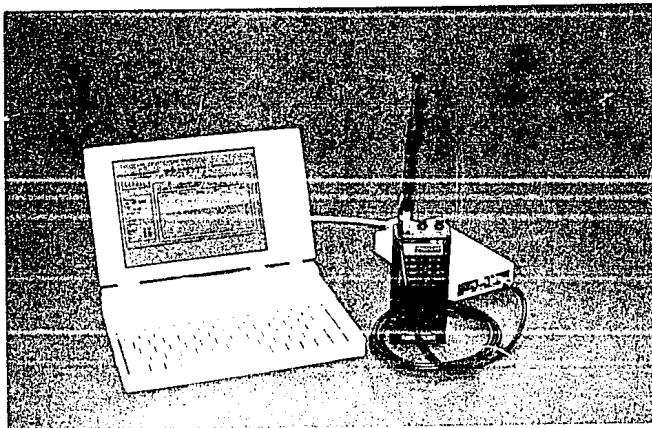


Figura 8.6 Elementos de la unidad móvil

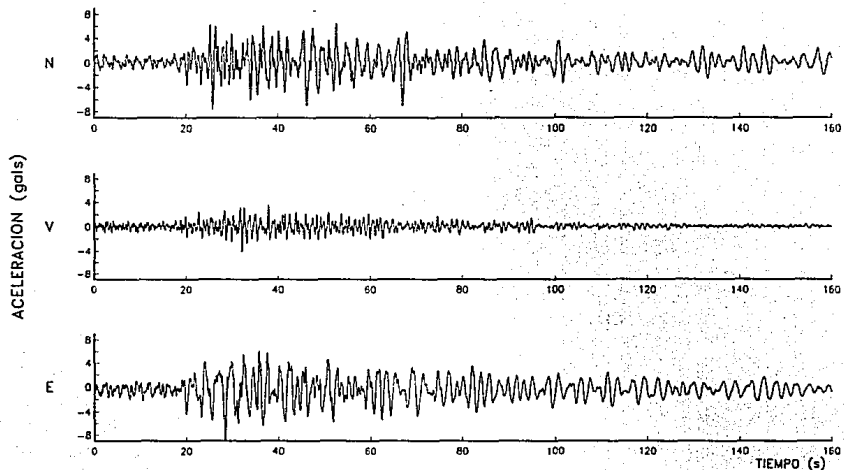
8.2 Especificaciones generales

Descripción:	Sistema de telemetría formado por una estación remota de registro de aceleración, un centro de procesamiento y una unidad móvil de monitoreo.
Función:	Monitorear y registrar la aceleración del terreno a fin de estimar la intensidad del movimiento.
Instrumento registrador:	Acelerógrafo digital de estado sólido ADII-4/C, alimentado con una batería de 12 V.
Sensor:	Servoacelerómetro triaxial FBA-23.
Tipo de comunicación:	Serie asíncrona, 1200 bauds y modulación FSK.
Canal de comunicación:	Vía radio (UHF a 415.687 MHz) o línea telefónica (estándar CCITT V.23).
Radios de comunicación:	Radio UHF Shinwa, 25 Watts, calidad voz, alimentación de 110V/60Hz.
Circuito demodulador:	Señal de entrada FSK de 1-2V _{p-p} , impedancia de entrada 100K, alimentación 9-12 V, consumo 10.5 mA @ 9V, interfaz RS-232.
Unidad móvil:	Radio receptor portátil Realistic alimentado con 9 V, circuito demodulador alimentado con 9 V y computadora portátil Lap-Top marca toshiba T2200 con batería interna.
Software:	Programa general de monitoreo, almacenamiento y graficación.

IX RESULTADOS

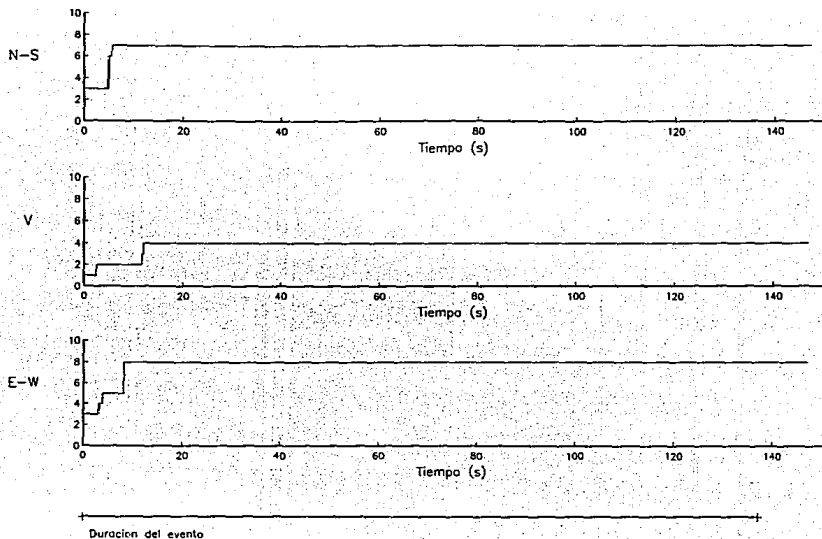
El sismo ocurrido el 24 de octubre de 1993, cuya magnitud fué de 6.7 y localizado en las costas de Guerrero, fué detectado y registrado por la estación recién instalada en el Zócalo. Los datos fueron transmitidos correctamente al CENAPRED. Allí la computadora recibió la información del temblor y generó el archivo correspondiente. El acelerograma completo del temblor tal y como lo almacenó localmente el ADII en su memoria interna se muestra en la figura 9.1. En la figura 9.2 se presenta la curva creciente de aceleración máxima transmitida por el sistema de telemetría y recibida en la computadora. De la figura 9.1 se ve que el punto de disparo ocurrió a los 20 segundos cuando comienza la fase mas intensa del movimiento. La hora de disparo fué 07:53:43.40. Durante los 13 segundos aproximadamente después del disparo (figura 7.2) la señal comienza a crecer hasta alcanzar el mayor de los valores máximos y permanece constante hasta que termina el evento. Para comparar la curva creciente con el acelerograma, en las figuras 9.3 a 9.5 se presentan 3 gráficas más detalladas, una para cada canal del sensor, mostrándose únicamente la ventana de tiempo de los primeros 20 segundos del evento, es decir, el intervalo donde crece la curva de aceleración máxima. Se observa que cada incremento en el valor recibido corresponde a un nuevo máximo en el acelerograma.

De igual forma, el sismo ocurrido el 14 de marzo de 1994, cuya magnitud fué de 6.1 y localizado en la frontera de México con Guatemala, fué registrado y transmitido por el sistema. En la figura 9.6 se muestra la gráfica de aceleración registrada en el ADII y en la figura 9.7 la curva creciente de aceleración máxima.



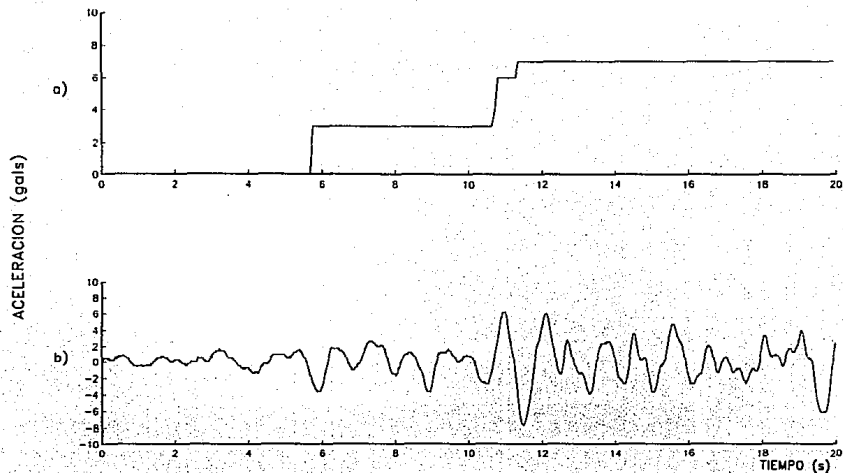
ESTACION ZOCALO		ACELERACION	
Fecha:	24 Octubre, 1993	Amax (N):	-7.67 ADII-4/C-103
Hora:	07:53:23.40 [GMT]	[gals] (V):	-4.07 G=2 dec. 1
Duracion:	167.56 s	(E):	-8.86 DF011024.3X1

Figura 9.1 Acelerograma del sismo del 24 de Octubre de 1993



Estacion CENAPRED	ADII-SETIS-ZOCALO	
Fecha: OCT 24 1993	A. max N-S: 7.42	
Hora: 07:53:45 [GMT]	[Gals] V: 4.07	S1102493.E01
Duracion: 137.20 seg	E-W: 8.62	CENAPRED

Figura 9.2 Curva de aceleración máxima del sismo del 24 de Octubre de 1993, datos recibidos con el sistema de telemetría



a) Curva de aceleración máxima – b) Acelerograma

Fecha: 24 Octubre, 1993

Dirección: N – S

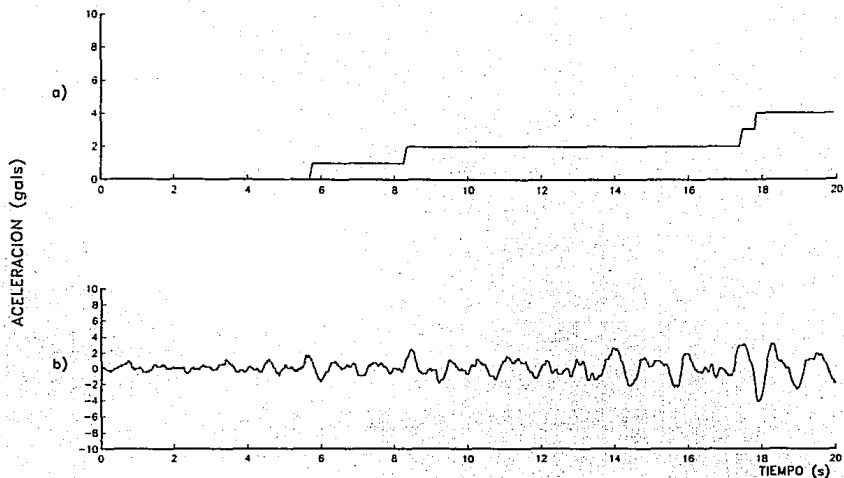
Hora: 07:53:25 [GMT]

Máximo [gals]:

Duración: 167.56 s

a) 7.42 b) -7.67

Figura 9.3 Acelerograma y curva de aceleración máxima de la componente N-S



a) Curva de aceleracion maxima - b) Acelerograma

Fecha: 24 Octubre, 1993

Direccion: Vertical

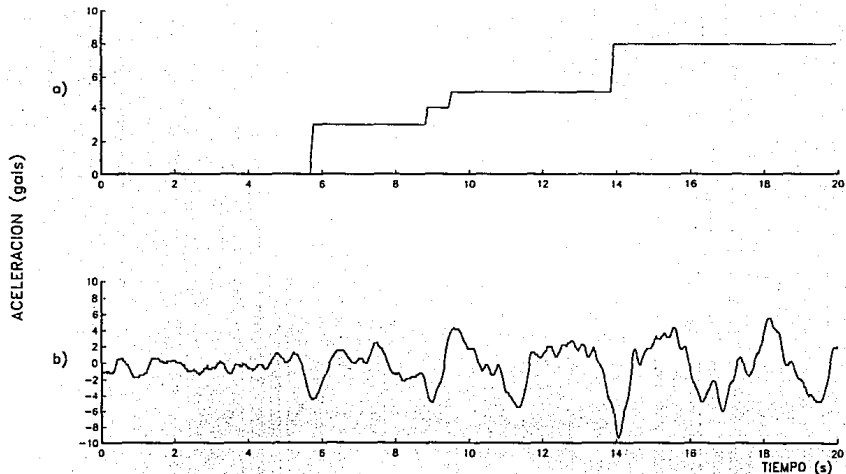
Hora: 07:53:25 [GMT]

Maximo [gals]:

Duracion: 167.56 s

a) 4.07 b) -4.07

Figura 9.4 Acelerograma y curva de aceleración máxima de la componente vertical



a) Curva de aceleración máxima - b) Acelerograma

Fecha: 24 Octubre, 1993

Dirección: E - W

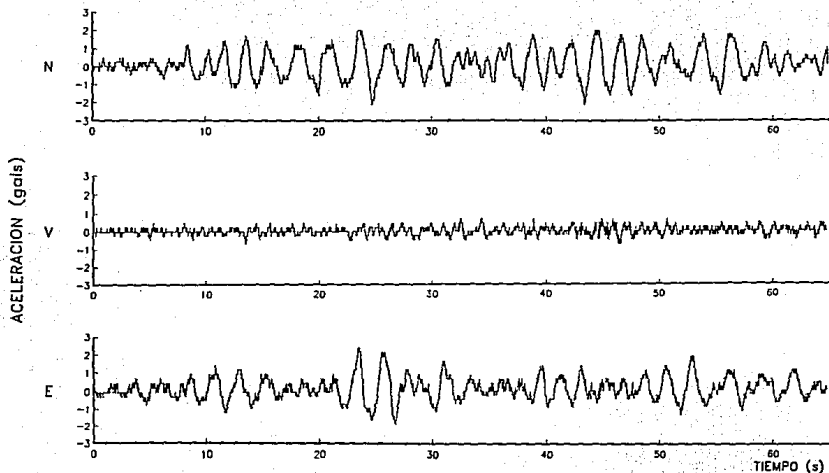
Hora: 07:53:25 [GMT]

Máximo [gals]:

Duración: 167.56 s

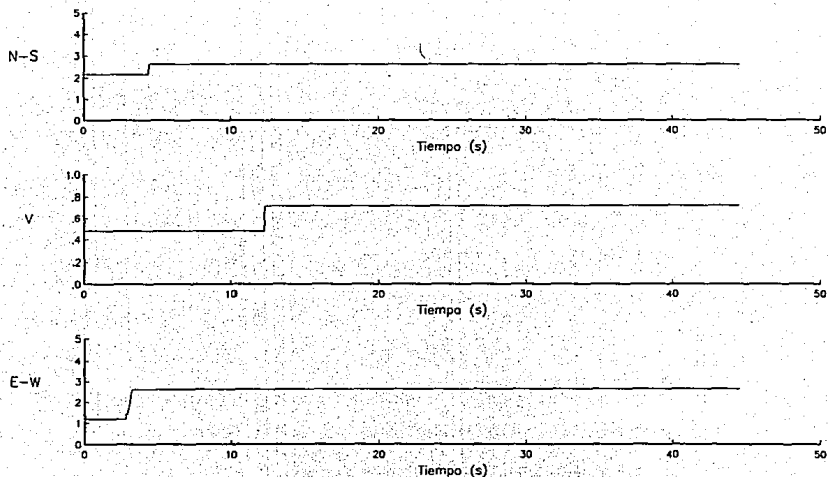
a) 8.62 b) -8.86

Figura 9.5 Acelerograma y curva de aceleración máxima de la componente E-W



ESTACION ZOCALO		ACELERACION	
Fecha:	14 Marzo, 1994	Amax (N):	-2.14 ADII-4/C-103
Hora:	20:54:26.05 [GMT]	[gals] (V):	0.72 G=2 dec. 1
Duración:	64.82 s	(E):	2.34 DF010314.4X1

Figura 9.6 Acelerograma del sismo del 14 de Marzo de 1994



Duración del evento

Estacion CENAPRED	ADII-SETIS-ZOCALO	
Fecha: MAR 14 1994	A. max N-S: 2.63	
Hora: 20:54:49 [GMT]	[Gals] V: 0.72	S1031494.E01
Duración: 34.56 seg	E-W: 2.63	CENAPRED

Figura 9.7 Curva de aceleración máxima del sismo del 14 de Marzo de 1994, datos recibidos por el sistema de telemetría

X CONCLUSIONES

Se ha cumplido el objetivo central del proyecto que es tener un sistema de monitoreo remoto de la aceleración del terreno y estado general del equipo de registro. Con la instalación y puesta en marcha de la estación prototipo se han corregido los formatos de comunicación y se ha actualizado y mejorado el programa de monitoreo. Dos estaciones están ya en operación, una en el CENAPRED y otra ubicada en el Zócalo.

Sin embargo, la aplicación final que tendrán estas estaciones es en un sistema para estimación de intensidades sísmicas en el Distrito Federal. Para lograrlo se incorporará una estación más ubicada en la colonia Roma.

El recibir la información asíncrona de varios acelerógrafos remotos a la vez, implica un nuevo problema: detectarla sin pérdidas y transferirla ordenadamente a la computadora. Se ha iniciado el diseño de un procesador de comunicaciones o concentrador de datos. Las tareas se realizarían por dos microcontroladores, uno destinado a leer los puertos de recepción de hasta 5 estaciones y el otro a ordenar, decodificar y transferirlos a una computadora dedicada, que procesará el algoritmo de intensidades sísmicas.

Las modificaciones realizadas al acelerógrafo ADII dieron lugar a una nueva versión del instrumento y se trabaja actualmente en el diseño de una tarjeta de circuito impreso que incluya todos los dispositivos de comunicación descritos. Esto permitiría utilizar el acelerógrafo con este periférico en aplicaciones que requieran medición remota modificando únicamente el programa de control del ADII.

La experiencia obtenida en el diseño de este proyecto proporciona las bases para mejorar los dispositivos seleccionados. La velocidad de transmisión de los modems utilizados es relativamente baja, pero teniendo acceso a dispositivos más avanzados se puede incrementar. Se propone lograr en un futuro la transmisión de los tres componentes de un acelerograma completo en tiempo real e inclusive operar varias estaciones a la vez y recibir los acelerogramas para ser procesados centralmente por una computadora.

XI RECONOCIMIENTOS

Agradezco a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, que me diera la oportunidad de cursar allí los estudios profesionales.

Quiero agradecer a los Ingenieros Enrique Guevara y Ricardo González, quienes colaboraron directamente en el diseño y desarrollo de este proyecto. También a las personas que me han brindado su apoyo: Ing. Salvador Medina, Ing. Bertha López, Ing. David Almora, Ing. Ricardo Vázquez, Ing. Miguel Franco y Luis Fierro. Y al Dr. Mario Ordaz y M. en I. Carlos Montoya, deseando que este trabajo contribuya al desarrollo del proyecto de estimación temprana de intensidades sísmicas.

De manera especial agradezco al M. en I. Roberto Quaa W. por brindarme la oportunidad de trabajar con él. El apoyo, consejo y motivación que recibí de él permitieron lograr los resultados obtenidos, y en lo personal fueron de gran utilidad.

XII BIBLIOGRAFIA Y REFERENCIAS

- [1] Bolt B. A., 1978. Earthquakes, understanding and mitigating their effects. Freeman and Company.
- [2] Bryce Walker, 1982. Earthquake, serie "Planet earth" de Time Life Books.
- [3] Campbell Joe, 1987. Programmer's guide to serial communications. SAMS.
- [4] Douglas V. Hall, 1988. Microprocessors and Interfacing. Mc Graw Hill.
- [5] Franco Sergio, 1988. Design with operational amplifiers and analog integrated circuits. Mc Graw Hill.
- [6] González R. Quaas R. Guevara E., 1992. Sistema de telemetría digital para monitoreo remoto del acelerógrafo ADII. Coordinación de investigación CENAPRED.
- [7] Guevara E. González R., 1992. Desarrollo de un sistema para el registro de temblores fuertes. Tesis profesional, Facultad de Ingeniería UNAM.

- [8] Hatfield Dale N., 1992. Data communications networks and systems. Second edition. Thomas C. Bartee editor. SAMS.
- [9] Kernighan B. Ritchie D., 1986. El lenguaje de programación C. Prentice Hall.
- [10] Mc Quillan J., 1993. Protocols. Data communications networks and systems. Second edition. Thomas C. Bartee editor. SAMS.
- [11] Medina M. S., 1986. Un método para obtener la correspondencia entre una fecha y los días cronológicos. Volúmen II sis-2. Instituto de Ingeniería UNAM.
- [12] Motorola semiconductor Master Selection Guide. Rev. 6. 1993.
- [13] Motorola University Press, 1991. The Basics Book of Information Networking.
- [14] National Semiconductor, 1989. General Purpose Linear Devices. Databook.
- [15] National Semiconductor, 1988. CMOS Logic Databook.

- [16] Noll Michael, 1991. Introduction to Telephones & Telephone Systems. Artech House.
- [17] Ordaz M. Montoya C. Meli R., 1990. Data base for seismic risk assesment in Mexico City. Simposio Internacional sobre prevención de desastres sísmicos CENAPRED.
- [18] Pickholtz R., 1992. Modems, multiplexers and concentrators. Data communications networks and systems. Second edition. Thomas C. Bartee editor. SAMS.
- [19] PLOTXY, Manual del usuario.
- [20] Stephen J., 1991. Understanding telephone electronics. SAMS. Third edition.
- [21] Texas Instruments, 1989. Telecommunications circuits transmission, switching, subscriber and transient supresors. Databook.

ANEXO A. ESPECIFICACIONES TECNICAS DEL ACELEROGRAFO ADII-4

Descripción:	Acelerógrafo digital autónomo de estado sólido para el registro de temblores fuertes.
Medio de Registro:	Memoria de estado sólido, respaldada con batería.
Capacidad de memoria:	128 Kbytes expandible a 1 Mbyte.
Tiempo de retención:	6 meses mínimo.
Sensores:	Externos, configuración estándar para acelerómetros triaxiales modelo FBA-23, opcionales otros modelos.
Número de canales:	3 (longitudinal, vertical y transversal).
Rangos de entrada:	± 12.5 V, opcional ± 5 V ó 0-5 V.
Rango dinámico:	72 db.
Longitud de palabra:	12 bits, 11 bits mas signo.
Resolución:	Una parte en 4096.
Velocidad de muestreo:	100 muestras por segundo por canal.
Filtro anti-alias:	2 polos, 50 Hz, Butterworth.
Ruido:	± 1 bit, bit menos significativo.
Tiempo de registro:	29 minutos con 1 Mbyte de memoria.
Formato de datos:	Datos multiplexados no comprimidos.
Registro de tiempo:	Reloj-fechador interno, reloj-fechador auxiliar de respaldo, entrada para marcas externas de tiempo y señales de sincronía.

Sistema de disparo:	Omnidireccional, interno, umbrales programables independientemente para cada canal (de 1 a 500 gals), entrada para señal externa de disparo (flanco positivo de un pulso de 0 a 3-15V, y 100 ms de duración).
Señal de disparo:	Pulso de salida 5 V, duración de 1/2 segundo para cada disparo y redisparo.
Memoria de preevento:	Programable de 0 a 49 segundos.
Tiempo de postevento:	15 a 99 segundos a partir del último redisparo.
Despliegue de datos:	Visualizador LCD de 8 dígitos, datos desplegados: días, horas, min., seg. del reloj interno, días, horas, minutos, seg. del reloj de respaldo, contador de eventos e interrupciones, N.º de serie del aparato, datos de cada canal, rango de los sensores, umbrales de disparo, contenido de la memoria.
Reproducción de datos:	Serial, a través de un puerto RS-232, 9600 bauds, 8 bits, 1 ó 2 bits de fin, paridad opcional. Paralelo 8 bits con señal de control.
Tiempo de reproducción:	15 minutos para 1Mbyte por puerto serie, 1 min. aproximadamente para 1 Mbyte por el puerto paralelo.
Programas de utilidad:	Programa básico para computadora PC para recepción, decodificación, almacenamiento y conversión a ASCII de los datos transmitidos por el puerto serie del ADII. Diversas rutinas para inspección y revisión de los datos en memoria.
Alimentación:	Externa, 11 a 15 VDC, nominal 12 VDC, supervisión de voltaje e inhibidor, protección contra transitorios. Batería de litio de 3 volts para el reloj auxiliar, 3 baterías tipo AA de 1.5 V para la memoria de datos.
Consumo:	70 mA en operación normal incluyendo acelerómetros, y 6 uA apagado (consumo de retención de datos).
Tecnología:	Microprocesador y circuitos integrados CMOS estándar.
Rango de temperatura:	0 a 40 grados centígrados.
Dimensiones:	Gabinete plástico con cerradura 40 x 23 x 22 cm, 2 kg aproximadamente.

ANEXO B. MODULACION FSK

La palabra MODEM es la unión de las palabras MODulador y DEModulador, que representan las principales operaciones de transmisión y recepción. La función del modulador es convertir una cadena de datos en una secuencia de símbolos físicos que los representan. La función del demodulador es reconocer la cadena original de datos a partir de los símbolos físicos. Éstos se seleccionan de manera que cumplan con las limitantes del canal de comunicación, por ejemplo una señal senoidal con una frecuencia dentro del ancho de banda del canal. Si se tiene la siguiente función:

$$A(t) = \cos(2\pi f(t) + \theta(t))$$

donde:

$A(t)$: *Amplitud*

$f(t)$: *Frecuencia*

$\theta(t)$: *Fase*

es posible modificar cualquiera de los parámetros de la senoidal con la información que se desea transmitir. La señal senoidal se denomina portadora y la información que la modifica se llama señal moduladora. Las combinaciones posibles son: señal modulada en amplitud (Amplitud Shift-keying o ASK), señal modulada en frecuencia (Frequency Shift-Keying o FSK) y señal modulada en fase (Phase Shift-Keying o PSK), como se muestra en la figura

b.1. En la modulación FSK se modifica la frecuencia con cada valor digital, marca o espacio, transmitiéndose exclusivamente dos señales senoidales, una para cada dígito binario. El demodulador tiene como función recuperar la señal digital utilizando circuitos detectores de frecuencia.

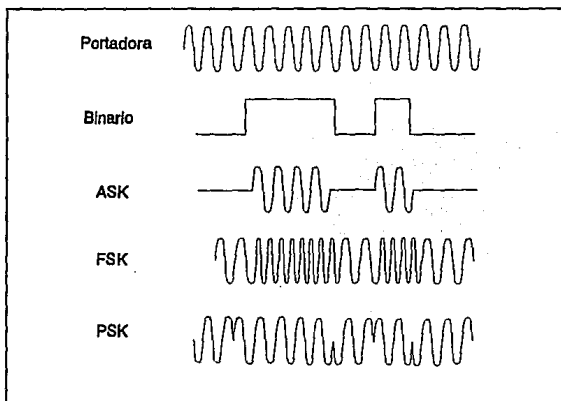


Figura b.1 Tipos de modulación binaria

La figura b.2 muestra el espectro de frecuencia para la transmisión simplex, half-duplex y full duplex utilizando una señal FSK. Las frecuencias para marca y espacio están bien definidas y también el ancho de banda de la señal FSK.

La separación de frecuencias entre marca y espacio es para permitir una discriminación confiable y está dada por:

$$f_0 - f_1 = (2/3) R$$

donde:

R: Es la velocidad en pbs

f_1 : Es la frecuencia para el dígito 1 o marca

f_0 : Es la frecuencia para el dígito 0 o espacio

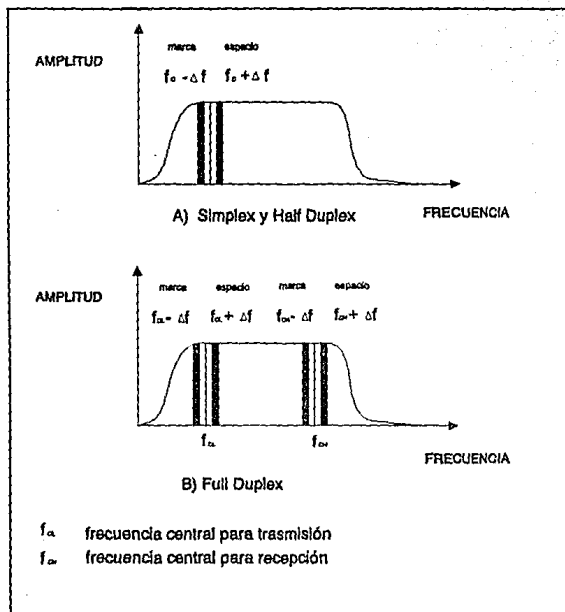


Figura b.2 Espectro de la señal FSK

Un procedimiento comunmente usado para demodular es generar pulsos de alta frecuencia en cada cruce con cero de la señal FSK, y medir la componente de DC de dichos pulsos, debido a que la información está contenida en la frecuencia de los cruces con cero de la señal FSK. Este tipo de detección es independiente de la fase de la señal y por ello se llama detección 'Incoherente'.

La línea telefónica comunmente utilizada, o línea conmutada, está formada por un par de cables conductores (llamados de dos hilos). Las compañías telefónicas ofrecen también líneas privadas o dedicadas, que operan bajo características especiales y utilizan 4 hilos. Todo equipo conectado a la línea telefónica debe cumplir con ciertas especificaciones. México se rige por las normas propuestas por el CCITT (Comité Consultivo Internacional para la Telegrafía y la Telefonía). Existen diferentes tipos de modems de acuerdo a las recomendaciones propuestas por el CCITT, como se muestran en la tabla b.1, en función de la velocidad de transmisión y tipo de comunicación. El modem TCM3105 de Texas Instruments utilizado y descrito en este trabajo cumple con las especificaciones del tipo CCITT V.23. Este modem opera en modo Half-Duplex a 2 hilos, a velocidades de hasta 1200 bauds, y las frecuencias asignadas para esta velocidad son: 1300 Hz para marca (1) y 2100 Hz para espacio (0). Además, se puede tener un modo Full-Duplex de operación donde el canal denominado de retorno opera a velocidades de 75 y 150 bauds.

Tipo	Velocidad (bauds)	Modo de Trasmisión	Aplicación de datos*
V.23	1200	HDX (2 hilos)	A
V.22 bis	2400	FDX (2 hilos)	A,S
V.27	4800	HDX (2 hilos) FDX (4 hilos)	S
V.29	9600	HDX (2 hilos) FDX (4 hilos)	S
V.32	9600	FDX (2 hilos)	S
V.33	14400	HDX (2 hilos) FDX (4 hilos)	S

*Tipo de comunicación: A asíncrona S síncrona
HDX : Half-Duplex
FDX : Full-Duplex

Tabla b.1 Tipos de modems

ANEXO C. ESCALA RESUMIDA Y MODIFICADA DE INTENSIDAD DE MERCALLI

Se incluye la aceleración máxima promedio registrada sobre terreno firme en fracciones de g ($1g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

- | | | |
|------|--|-----------------|
| I. | No es percibido, excepto por pocas personas bajo circunstancias favorables. | |
| II. | Es percibido por pocas personas, especialmente en pisos altos y descansando. Objetos suspendidos se pueden balancear. | |
| III. | Es percibido notoriamente en el interior de casas, especialmente en pisos altos de edificios, pero muchas personas no lo reconocen como temblor. Dentro de vehículos puede haber un ligero balanceo. Las vibraciones se pueden confundir con el paso de un camión. | |
| IV. | Durante el día se percibe en los interiores de las casas. Vajillas, ventanas y puertas vibran, y las paredes crujen. Sensación de un camión pesado cruzando la calle. Hay un balanceo notorio en vehículos. | 0.015g - 0.02g. |
| V. | Es percibido casi por todos, muchos que duermen despiertan. Algunas ventanas y vajillas se rompen. En algunas paredes surgen grietas en el yeso y objetos inestables se voltean. Hay oscilación notoria en árboles, postes y objetos altos. Relojes de péndulo pueden detenerse. | 0.03g - 0.04g. |
| VI. | Es percibido por todos, muchos se aterran y corren. Algunos muebles pesados pueden moverse. En algunos casos cae yeso y se dañan chimeneas. | 0.06g - 0.07g. |

VII.	<p>Todos corren al exterior. Hay daño despreciable en edificios de buen diseño y construcción, de ligero a moderado en estructuras ordinarias bien construídas y considerable en estructuras pobres y mal diseñadas. Es percibido por personas manejando vehículos.</p>	0.10g - 0.15g.
VIII.	<p>Daño ligero en estructuras especialmente diseñadas, considerable en edificios ordinarios con colapso parcial y grande en estructuras pobremente construídas. Algunas paredes caen de la estructura. Se derrumban chimeneas, columnas o monumentos. Muebles pesados se voltean.</p>	0.25g - 0.30g.
IX.	<p>Daño considerable en estructuras bien diseñadas, que pueden salir de la vertical, y gran daño con colapso parcial en edificios. La tierra sufre cuarteaduras visibles. Tuberías subterráneas se rompen</p>	0.50g - 0.55g.
X.	<p>Algunas estructuras de madera bien construídas se destruyen, algunas estructuras de ladrillo se derrumban junto con los cimientos. El suelo sufre serias cuarteaduras. Rieles de trenes se doblan. Derrumbes en las orillas de ríos, pendientes y declives. Hay arena y lodo desplazado. El agua se sacude sobre las orillas de los ríos.</p>	Más de 0.60g.
XI	<p>Pocas, si hay alguna, estructuras permanecen en pie. Los puentes se destruyen. Amplias fisuras en el suelo. Tuberías subterráneas quedan completamente fuera de servicio. Hundimientos de tierra y deslizamientos del suelo en terreno suave. Vías de tren se doblan enormemente.</p>	
XII.	<p>Daño total. Las ondas se ven en la superficie del suelo. Las líneas de vista y nivel se distorsionan. Objetos son lanzados al aire.</p>	