



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTRUMENTACION Y AUTOMATIZACION DEL MONITOREO
DEL PUENTE VEHICULAR LA IMPULSORA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
(AREA ELECTRICA Y ELECTRONICA)
P R E S E N T A:
ORTIZ CASTRO JAVIER



DIRECTOR DE TESIS:
M. I. MAURICIO ALBERTO ORTEGA RUIZ

MEXICO. D. F.

2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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

**Mi mamá: María Isabel Castro Medrano,
por todo lo que me ha dado a lo largo de mi vida**

**A mi papá y mis hermanos,
y de manera especial a Cris, por su apoyo y consejos.**

ÍNDICE

	PÁG
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO II DESCRIPCIÓN DEL PUENTE	5
CAPITULO III INSTRUMENTACIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA	8
3.1 Acelerómetros	8
3.1.1 Descripción general de un acelerógrafo	9
3.1.2 El acelerómetro de fuerza balanceada	10
3.1.3 Acelerómetros instalados en el Puente La Impulsora	10
3.2 Transductores de desplazamiento	12
3.2.1 Transformador Diferencial Lineal Variable (LVDT)	12
3.2.2 Transductores de desplazamiento del Puente La Impulsora	15
3.3 Deformímetros	17
3.3.1 Descripción general	17
3.3.2 Deformímetros eléctricos instalados en el Puente	21
CAPITULO IV SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS	24
4.1 Introducción	24
4.2 Cableado	27
4.3 El registrador K2 y los acelerómetros	30
4.4 El registrador CR9000	31
4.5 Programa de control del CR9000 y programa para conversión de archivos ASCII	35
4.6 Programa para graficación y conversión de datos del K2	38
CAPITULO V SISTEMA DE MULTIPLEXAJE	41
CAPITULO VI PROGRAMA DEL SISTEMA MULTIPLEXOR	47
6.1 Introducción	47
6.2 Configuración del módem	47
6.3 Recepción de comandos	47
6.4 Identificación y ejecución de comandos	50
CAPITULO VII COMENTARIOS Y CONCLUSIONES	52

APÉNDICE A. ESPECIFICACIONES Y CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SENSORES Y EQUIPOS	54
A1. Especificaciones técnicas del acelerógrafo K2 de kinemetrics	55
A2. Especificaciones técnicas del adquisidor CR9000	56
A3. Valores de calibración de los transductores de desplazamiento	58
A4. Especificaciones técnicas de los deformímetros	61
A5. Datos de calibración de los acelerómetros	65
APÉNDICE B CALIBRACIÓN Y RESPUESTA DE LOS SENSORES	68
B.1 Caracterización de medidores de desplazamiento	69
B2 Pruebas de operación de los acelerómetros	73
APÉNDICE C PROGRAMA FUENTE DEL ADQUISIDOR CR9000	78
GLOSARIO	84
BIBLIOGRAFÍA	86
RECONOCIMIENTOS	88

I. Introducción

México está localizado en una de las regiones sísmicas más activas del mundo; en los últimos años, gracias a una red de acelerógrafos instalados en el Valle de México y en la zona de Guerrero, 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.

Los fuertes daños producidos por el temblor del 19 de septiembre de 1985 en la Ciudad de México se debieron, entre otros factores, a que la ciudad está situada en una cuenca cubierta por una gruesa capa de sedimentos. Esta capa tiene la característica de amplificar las vibraciones del suelo producidas por los temblores. 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 con el fin de establecer las condiciones de seguridad y reglamentos de construcción apropiados.

En la Ciudad de México, con el fin de resolver los problemas viales, se han construido en los últimos años una gran cantidad de puentes vehiculares utilizados como libramientos de las grandes avenidas y líneas del tren metropolitano. Dichos puentes tienen una cimentación del tipo mixto, la cual está constituida por un cajón de cimentación y pilotes de fricción. Este tipo de cimentación sufrió grandes daños en la Ciudad de México durante los sismos de 1985 debido a las características del suelo de la Ciudad de México, y por eso resulta de gran interés conocer el comportamiento general de dichos puentes. La experiencia de los sismos de Northridge (1994, ver fig 1.1) y Kobe (1995), durante los cuales se dañaron varios puentes, ha despertado mayor interés en estudiar a fondo y mejorar las técnicas de diseño y construcción de puentes.

Con el fin de estudiar mejor el comportamiento de los puentes durante un sismo, se decidió instrumentar el puente vehicular La Impulsora. El siguiente paso fue

elegir las variables a medir, seleccionar los sensores y los adquirentes para el almacenamiento de datos, un lugar para resguardar éstos, planear cómo llevar las señales desde los sensores hasta los registradores, cómo transmitir la información almacenada a un centro de investigación y cómo procesar los datos para finalmente tener información que describiera el comportamiento del puente.

La Coordinación de Instrumentación del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), colaboró con el área de Ingeniería Estructural y Geotecnia del mismo centro para realizar la instrumentación de la subestructura y superestructura del puente *La Impulsora*. Dicha instrumentación consta de transductores de desplazamiento para medir el movimiento relativo entre las traveses, deformímetros eléctricos instalados en las varillas de 3 columnas del puente (previo al colado) y acelerómetros triaxiales situados dentro de las traveses del puente. Al ocurrir un sismo fuerte, se almacenan de manera automática, en 2 registradores, las series de tiempo de estos sensores (aceleración, desplazamiento y deformación) sumando un total de cincuenta y ocho variables. El resto de los sensores, poco más de 100 deformímetros, se miden manualmente. El sistema de instrumentación, situado en una caseta debajo del puente, puede ser interrogado con una computadora portátil directamente en el sitio, o bien, puede realizarse remotamente vía módem utilizando un sistema multiplexor, que permite seleccionar a cada uno de los adquirentes instalados, y que fue diseñado específicamente para éste propósito.

Este sistema complementa la instrumentación de la cimentación del puente realizada en 1995 durante su proceso de construcción, la cual estuvo a cargo del Área de Mecánica de Suelos del CENAPRED en coordinación con el Instituto de Ingeniería de la UNAM [M. Mendoza, 1997]. Esta instrumentación consta de un acelerómetro en la superficie, sobre el cajón de cimentación, celdas de carga, celdas de presión y piezómetros en los pilotes de cimentación [M. Mendoza, 1997]. Ambos sistemas de instrumentación generan una valiosa fuente de información para el estudio de puentes en la Ciudad de México.

El presente trabajo se inició cuando ya estaba construido el puente pero aún no se habían instalado los transductores de desplazamiento ni los acelerómetros, sin embargo ya se tenían en laboratorio, de manera que todavía restaba por hacer pruebas con los sensores, el cableado de todo el sistema, la configuración de los sistemas de registro, el diseño e implementación de un sistema de multiplexaje para la interrogación remota via modem y algunos programas para facilitar el procesamiento de los datos registrados. En el siguiente capítulo se describen de manera general las características del puente La Impulsora. En el capítulo 3 se presenta la instrumentación de la superestructura, los tipos de sensores utilizados, el principio de operación en que se basa cada uno de ellos y su instalación. Los

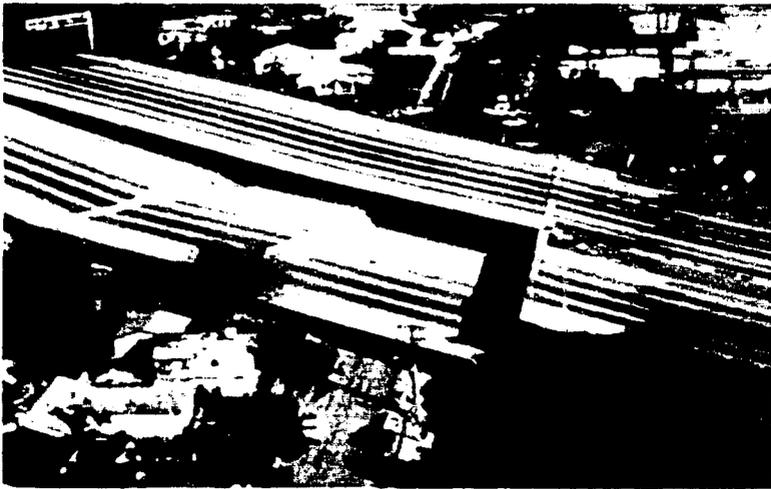


Fig. 1.1 Foto de un puente de la autopista de Sta. Mónica después del sismo de Northridge en 1994

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

diferentes adquirentes de datos que almacenan la información, así como las conexiones entre ellos son explicados en el capítulo 4. La descripción del sistema de interrogación, el hardware asociado y el software con que opera se presenta en los capítulos 5 y 6 respectivamente. Finalmente, los resultados y conclusiones obtenidos con el presente trabajo son presentados en el capítulo 7.

(figura. 2.2), que cuentan con tramos en cantilever, en cuyos extremos se apoyan isostáticamente las traves centrales; lo que permite absorber asentamientos diferenciales entre uno y otro apoyo.

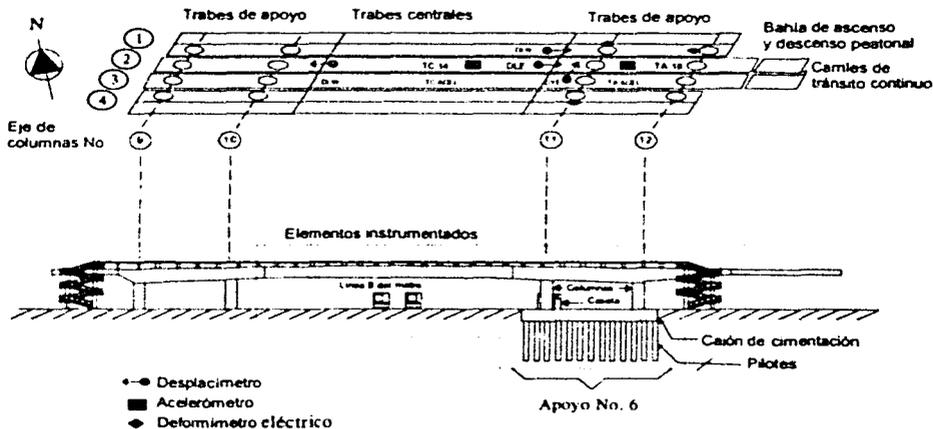


Figura 2.2. Vista frontal y superior del puente *La Impulsora* con los elementos instrumentados

El claro oeste al apoyo No. 6 (claro central) es de 56.8 m de columna a columna, en tanto que el claro este es de sólo 43.0 m; esta diferencia determina una menor longitud del cantilever oeste, respecto al del lado opuesto. Este apoyo, tiene 8 columnas oblongas en dos líneas, cuatro en cada una, separadas 17.0 m, su cimentación fue resuelta mediante un cajón hueco con una forma romboidal en planta. El cajón es bastante rígido en virtud de sus contratraves colocadas de manera longitudinal y transversal al puente.

Las columnas son de concreto reforzado de 7 m de altura y están reforzadas longitudinal y transversalmente. El refuerzo longitudinal de las columnas está formado por 48 barras, mientras que el refuerzo transversal lo está por juegos de estribos y ganchos espaciados cada 20 cm a lo largo de la columna. Sobre las columnas descansan las traveses de apoyo, y en los extremos de éstas se colocan las traveses centrales. Estos elementos estructurales prefabricados son vigas T de sección cajón los cuales son pretensados con torones de acero de alta resistencia. Las traveses del claro central tienen una longitud de 39 m de longitud y 17 m en su anchura máxima, lugar donde se encuentran dos carriles de tránsito continuo, dos bahías de ascenso y descenso de pasaje y dos accesos peatonales a la estación del metro ubicada debajo del puente.



Figura 2.3 Puente vehicular *La Impulsora*

III. Instrumentación de la superestructura

La instrumentación del puente la impulsora consta de 2 acelerómetros triaxiales instalados dentro de las traveses del puente, 4 transductores de desplazamiento tipo LVDT (Linear Voltage Displacement Transducer), para registrar el desplazamiento relativo entre las traveses, 150 deformímetros eléctricos en el refuerzo de 3 columnas y 38 en una de las traveses centrales, que permiten medir los esfuerzos a que se encuentran sometidos dichos elementos.

En el presente capítulo se presenta una explicación del principio de operación de cada uno de estos sensores y sus ventajas, así como su localización y la forma en que se instalaron en el puente.

3.1 Acelerómetros

3.1.1 Descripción general de un acelerómetro.

Un acelerómetro es un dispositivo que proporciona una medición del cambio de la velocidad de un objeto determinado en función del tiempo. A la salida de dicho dispositivo se obtiene una señal de voltaje proporcional a la aceleración. El valor estándar de la aceleración es la unidad $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, que es la aceleración gravitatoria al nivel del mar.

La mayoría de los acelerómetros consisten de un sistema masa-resorte-amortiguador, con un transductor que genera una señal eléctrica de salida proporcional a la aceleración del movimiento relativo de la masa. Los parámetros del sistema mecánico que son de interés para poder analizar e interpretar los resultados del acelerómetro adecuadamente son la frecuencia natural de oscilación y el factor de amortiguamiento.

La señal de voltaje obtenida puede almacenarse directamente en cintas magnéticas (de manera analógica) ó bien convertirse a información digital mediante un convertidor A/D y almacenarse en memorias de estado sólido

3.1.2 El acelerómetro de fuerza balanceada

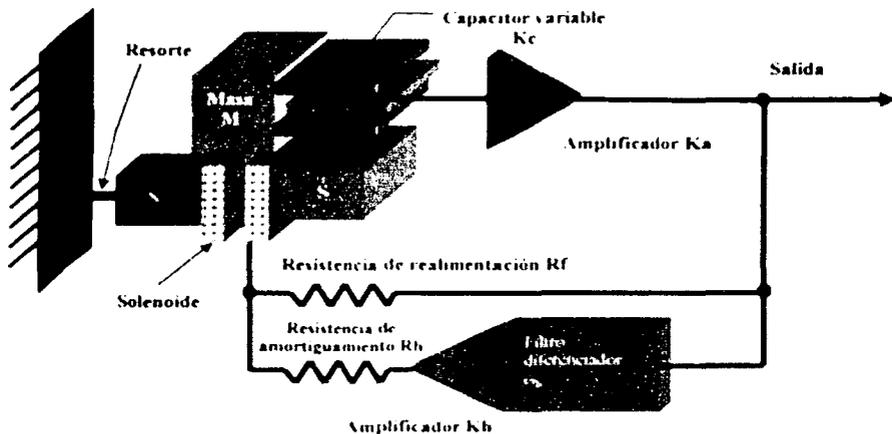


Figura 3.1. Diagrama simplificado de un acelerómetro de fuerza balanceada

Un acelerómetro de fuerza balanceada es un sistema masa-resorte que utiliza la capacitancia como transducción, como se muestra en la figura 3.1. Una porción de la corriente de salida es realimentada a un solenoide, que es parte integral de la masa y tiene el efecto de estabilizar el sistema incrementando la frecuencia natural hasta 50 Hz. Otra porción de la salida se pasa a través de un derivador, luego es filtrada para finalmente realimentarse al solenoide de la masa. Esto controla el amortiguamiento del sistema que normalmente es ajustado a 0.7

3.1.3 Acelerómetros instalados en el puente La Impulsora.

Se instalaron 2 servoacelerómetros de fuerza balanceada modelo FBA-23, fabricados por Kinemetrics, conectados a un registrador de datos modelo K2. El FBA-23 es un acelerómetro de fuerza balanceada triaxial; los tres acelerómetros están montados ortogonalmente en un solo chasis y los canales 1 y 3 corresponden a las direcciones longitudinal y transversal respectivamente, mientras que el canal 2 de cada FBA es el vertical. El rango total de los acelerómetros es de $\pm 2g$, lo que corresponde a un voltaje de salida de $\pm 2.5 V$. La conversión de volts a gals está dada por la siguiente ecuación

$$gal = -1 \cdot \frac{981 \cdot 2}{2.5}$$

donde V es voltaje de salida del acelerómetro. En el apéndice A se presentan las especificaciones técnicas del registrador y las hojas de calibración de los sensores proporcionada por el fabricante. Antes de instalar los sensores se realizaron pruebas de funcionamiento y de inclinación. Para ello se conectaron los acelerómetros al equipo adquirente, y el sensor se fijó en una tabla unida a otra a través de una bisagra para utilizarla como plano inclinado; a continuación se procedió a hacer las inclinaciones. En el caso de los canales horizontales (1 y 3), se inclinó el sensor a -90° , -30° , 0° , $+30^\circ$ y $+90^\circ$ cada canal esperando alrededor de 20 segundos en cada posición para tener un buen registro, dichas inclinaciones son equivalentes a aplicar $1g$, $0.5g$, $0g$, $-0.5g$ y $-1g$ en cada sensor; terminada la prueba, se bajaron los archivos del adquirente y observamos los valores registrados, que correspondieron a $+1.25$, $+0.625$, 0 , -0.625 y -1.25 Volts. Las gráficas obtenidas con estas pruebas se muestran en el apéndice B.

Para el canal 2 (Vertical) únicamente se verificó la inclinación a 180° , es decir a $-1 g$, obteniéndose un voltaje de 2.5 volts, el máximo de la escala.

Las pruebas de polaridad se efectuaron realizando un movimiento en la dirección positiva y después en la negativa del sensor, produciéndose inicialmente, en la salida del mismo, un voltaje negativo y posteriormente uno positivo, como se ve en las gráficas respectivas (figs B8 y B12), de ahí el signo negativo en la conversión. Para el fabricante, un movimiento en la dirección positiva es aquel que causa que la masa se mueva hacia el imán permanente del sensor.

El primero de los acelerómetros, denominado *TC-ACEL*, se colocó dentro de la trabe central TC-14 cerca del diafragma localizado en el extremo este de la trabe. Para tener acceso al interior de la trabe, se dejó una escotilla metálica en el alma de la trabe central desde antes del colado y para el acceso a dicha escotilla se construyó un paso de gato. Para llegar a dicho paso de gato se emplea una escalera marina que se ubica en la cara sur de la columna 2 del eje 11.

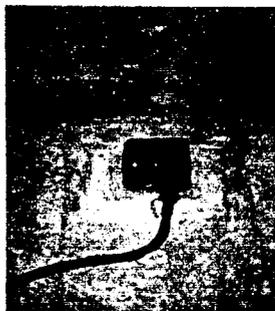
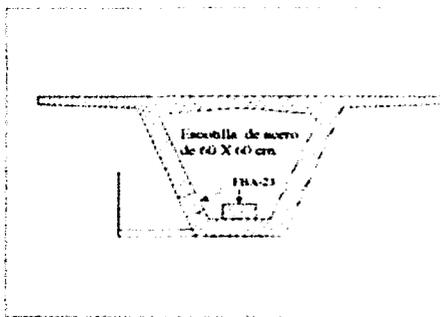


Figura 3.2 a) Sección transversal de la trabe central
b) Fotografía del acelerómetro dentro de la trabe

El segundo acelerómetro *TA-ACEL* se ubicó dentro de la trabe de apoyo TA-16, cerca de la conexión de esta trabe con el diafragma transversal del eje 11. De modo

similar al primer acelerómetro, fue necesaria la construcción de una escotilla, de un paso de gato y una escalera marina para ingresar al interior de la trabe sobre la cara sur de la columna 2 del eje 11. La figura 3.2.a muestra una sección transversal de la trabe central TC-14 en la que se observa un detalle del paso de gato, la proyección de la escotilla para ingresar al interior y la ubicación del acelerómetro. La figura 3.2b muestra una fotografía del acelerómetro dentro de la trabe.

3.2 Transductores de desplazamiento

3.2.1 El transformador diferencial lineal variable (LVDT)

El transformador diferencial es un dispositivo que convierte el desplazamiento lineal en una señal eléctrica. La figura 3.3 muestra el diagrama de un transformador diferencial. El transformador consta de un solo devanado primario y dos devanados secundarios, los cuales se colocan a cada lado del primario. Los secundarios tienen un número igual de vueltas, pero están conectados en oposición y en serie, de forma que las fems inducidas en las bobinas se oponen entre sí (la forma en que está construido el dispositivo se indica en la figura 3.4) Se aplica un voltaje alterno de entrada en la bobina central, y el voltaje de salida de las dos bobinas de los extremos depende del acoplamiento magnético entre el núcleo y las bobinas, que depende a su vez, de la posición del núcleo, por lo tanto, el voltaje de salida del dispositivo es una indicación del desplazamiento del núcleo

Con el núcleo situado en el centro, o posición de referencia, las fems inducidas en los secundarios son iguales, y de signo contrario, por tanto el voltaje de salida es 0V. Cuando una fuerza aplicada externamente mueve el núcleo hacia la izquierda, se genera más flujo magnético en la bobina izquierda que en la otra. La fem inducida

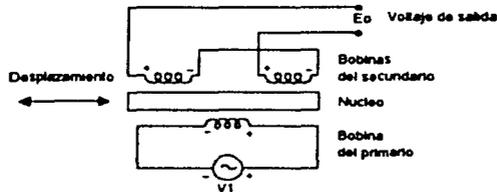


Figura 3.3. Diagrama de un transformador diferencial lineal variable

en la bobina izquierda es por consiguiente, mayor que la inducida en la derecha. Entonces, la magnitud del voltaje de salida es igual a la diferencia entre los dos voltajes secundarios y está en fase con el voltaje de la bobina izquierda. Similarmente, cuando el núcleo se desplaza a la derecha se eslabona mayor flujo en este lado y el voltaje de salida resultante está en fase con la fem de la bobina derecha y la magnitud es igual a la diferencia entre las dos fems inducidas. La figura 3.5 muestra el voltaje de salida del LVDT como una función de la posición del núcleo.

La gama lineal de los transformadores diferenciales comerciales se especifica con claridad y los dispositivos rara vez se usan fuera de este rango. Cuando se opera en la gama lineal, el dispositivo se denomina transformador lineal diferencial variable (LVDT).

Las características de inercia del dispositivo limitan la respuesta de frecuencia de los LVDT's. En general, la frecuencia del voltaje aplicado debe ser diez veces la respuesta de la frecuencia deseada.

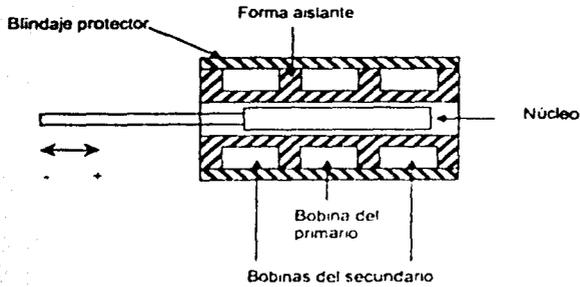


Figura 3.4. Construcción de un transformador comercial lineal diferencial variable (LVDT).

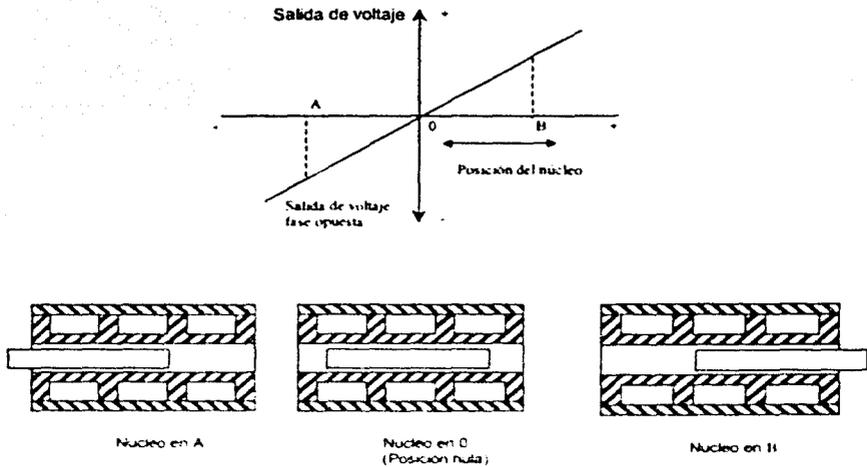


Figura 3.5. Características de salida de un LVDT.

3.2.2 Transductores de desplazamiento del puente La Impulsora

Con objeto de conocer la cinemática del puente, se colocaron dos transductores de desplazamiento en dirección longitudinal, y con ellos se miden los desplazamientos relativos entre las travesas de apoyo y la central. Esto permitirá verificar el funcionamiento de los apoyos fijo y móvil. Un sensor se encuentra situado en el extremo este de la trabe central y el segundo en el lado oeste, y se designaron como *DLE* y *DLW*, respectivamente. Con objeto de tener un registro de los desplazamientos en dirección longitudinal como transversal del puente durante la posible vibración de la superestructura en modos de torsión, se colocó un par adicional de transductores de desplazamiento. Uno de ellos denominado *DLN* se ubicó en el lado norte del puente, que es el que mide el desplazamiento longitudinal y el otro llamado *DTE* mide el posible desplazamiento transversal. La figura 3.6a presenta un diagrama con la posición del sensor *DLN* sobre la trabe y la figura 3.6b una fotografía de este sensor.

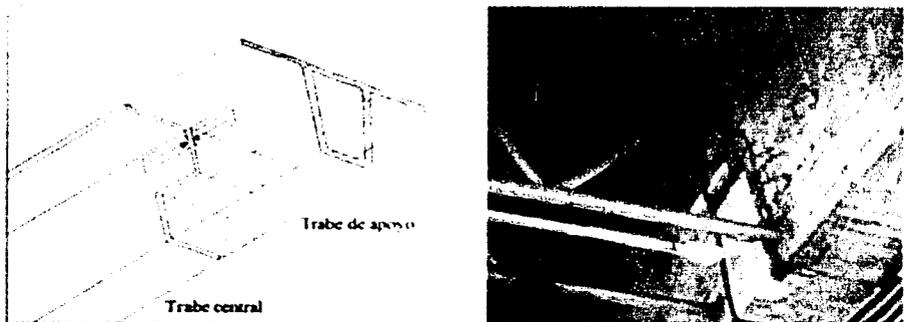


Figura 3.6. a) Ubicación del transductor de desplazamiento
b) Fotografía del sensor DLN

Los transductores de desplazamiento que se instalaron son del tipo LVDT con capacidad de medir hasta 30 cm y una precisión de 0.01 mm. Estos dispositivos son manufacturados por *Pickering Controls Inc.* (Modelo 7312-V2-A0). De acuerdo con el diseño de las secciones de apoyo de las trabes centrales en las portantes, el máximo desplazamiento que se permite es de 12 cm y 5 cm en las direcciones longitudinal y transversal del puente, respectivamente. En el apéndice A se presenta la respuesta de estos instrumentos, proporcionada por el fabricante, sin embargo, antes de instalar el sistema se hicieron algunas pruebas sobre el funcionamiento de los transductores; dichas pruebas se hicieron de la siguiente manera:

Se fijaron los transductores en una base diseñada para tal propósito; se polarizaron los sensores con una fuente regulada a 5 V. Y se comenzó a variar la posición del núcleo del lvdt centímetro a centímetro, hasta una distancia de 12 cm, midiendo el desplazamiento con un vernier y el voltaje de salida con un voltmetro digital de 4.5 dígitos; esta operación se repitió 5 veces para cada sensor, y finalmente se promediaron las lecturas.

Con los datos obtenidos de ésta prueba se procedió a obtener una ecuación que definiera el comportamiento de cada sensor utilizando para ello el método de mínimos cuadrados. Una vez obtenidas éstas ecuaciones, se añadieron al programa del registrador, para que los datos proporcionados por el registrador correspondan a distancias en cm. Finalmente se procedió a conectar los sensores al registrador, variando nuevamente el núcleo del sensor en todo el intervalo, midiendo esta vez el desplazamiento con un escalímetro y comparando las lecturas con las que mostraba el registrador, que en esta ocasión se conectó a una pc para observar las lecturas en tiempo real. Con esta prueba se comprobó, que las ecuaciones obtenidas de cada transductor corresponden efectivamente al comportamiento del sensor ya que las lecturas observadas en la pc coinciden con las medidas manualmente. En el

apéndice B se muestra la gráfica de la respuesta de los sensores obtenida en el laboratorio, así como la ecuación de cada uno de ellos.

Una vez que se tenían las ecuaciones de cada sensor, el siguiente paso fue la instalación de los mismos. Como los sensores se instalaron en la unión de 2 traveses se acondicionaron 2 cajas metálicas, una ligeramente más grande que la otra, y abiertas en un extremo, de tal manera que se puede deslizar una dentro de la otra, protegiendo así al sensor mientras se desliza el núcleo. El cuerpo del transductor se alojó dentro de una de las cajas, y se acondicionó un resorte entre el cuerpo del transductor y el extremo del núcleo para que empujara al núcleo del sensor hacia fuera, mientras que en la otra caja se colocó un tope con el fin de que el núcleo no salga completamente del sensor, de esta manera, al variar la posición relativa de una caja con respecto a la otra, varía en igual forma la posición del núcleo del transductor. Los transductores se alojaron en dichas cajas, mediante un soporte de aluminio, y cada caja se fijó en una trabe, de tal manera al variar la distancia relativa entre 2 traveses adyacentes, variará en igual forma la distancia entre las cajas que alojan al sensor y en consecuencia variará la posición relativa del núcleo del sensor, dando un voltaje de salida proporcional al desplazamiento relativo.

3.3 Deformímetros

3.3.1 Descripción general

El transductor de deformación es llamado galga extensiométrica ó Strain Gauge y convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia. Un strain gauge es un dispositivo delgado, como una oblea, que se puede unir (soldar) a una variedad de materiales con el fin de medir los esfuerzos aplicados. Las galgas extensiométricas metálicas se fabrican con alambres resistentes de diámetros muy pequeños o grabado en laminillas metálicas delgadas. La resistencia del alambre cambia con la variación de longitud a medida que el material al cual está soldada sufre tensiones ó compresiones, como se observa en la figura 3.7. Este cambio en la

resistencia es proporcional a la tensión aplicada y se mide con un puente de wheatstone.

La unidad de deformación es el strain ϵ , y se define como

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

es decir, el cambio de longitud del elemento deformado dividido entre la longitud del elemento sin deformar.

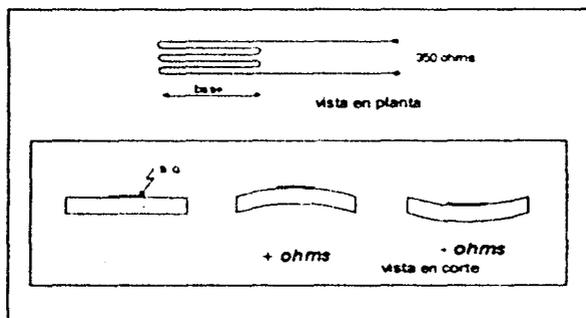


Figura 3.7. Cambio de resistencia del deformímetro

La sensibilidad de una galga extensiométrica se describe en términos de una característica llamada factor de galga ó Gauge Factor y expresa la relación del cambio de resistencia por cambio de deformación:

$$GF = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta l}{l}}$$

donde:

GF = factor de galga

R = resistencia nominal de la galga

ΔR = cambio en la resistencia de la galga

L = longitud normal del objeto (condiciones sin esfuerzos)

Δl = cambio en la longitud del objeto

es decir, un factor de 2 significa que si la longitud cambia a razón de un micrómetro por metro de longitud, la resistencia cambia 2 micro ohms por ohm de resistencia.

Para mediciones de tensión mecánica es deseable una alta sensibilidad. Un factor de galga alto significa un cambio de resistencia relativamente grande el cual se mide con más facilidad que un cambio pequeño en la resistencia.

Debido a que los cambios de resistencia son muy pequeños, un puente completo de resistencias permite tener una mayor precisión en la medición. En la figura 3.8 se muestra un puente con 4 resistencias, donde R1, R2 y R3 son fijas, mientras que Rs es el Strain Gauge. Este último representa a una cuarta parte del puente, por eso se denomina "Cuarto de puente".

La deformación se calcula en términos de la medición realizada en el puente. La lectura del puente corresponde al voltaje que existe entre las terminales H y L del puente (ver figuras 3.8 y 4.5). Esta lectura es dividida entre el voltaje de excitación V_{out} / V_x . El resultado de la primera lectura ó lectura cero es almacenado para utilizarse como referencia en el cálculo de deformación, ya que en la ecuación para calcular la deformación se involucra un voltaje diferencial V_r , el cual es la diferencia de la primera lectura, en la que la galga no se ha deformado, a la lectura en la cual la galga está deformada. La deformación se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$\mu\epsilon = \frac{-4V_r \cdot 10^6}{GF(1 + 2I_r)}$$

en donde V_r está definido como:

$$V_r = \left(\frac{V_{out}}{V_x} \right) - \left(\frac{V_{out\text{ref}}}{V_x} \right)$$

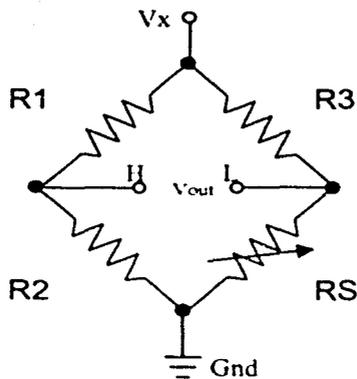


Figura 3.8. Puente de medición para los deformímetros.

3.3.2 Deformímetros eléctricos instalados en el puente.

Se instrumentaron 3 columnas del apoyo este del puente mediante deformímetros eléctricos adheridos a los refuerzos longitudinal y transversal. Se utilizaron deformímetros de 2 mm de longitud y de 350 Ω fabricados por Tokyo Sokki Kenkyujo Co., Ltd (modelo FLA-2 350-11). Las especificaciones y características eléctricas se presentan en el apéndice A. Los deformímetros con resistencia de 350 Ω resultan mejores para la conducción de señales en distancias considerables. Se colocaron en total 150 deformímetros eléctricos en las columnas 1 y 4 del eje 11, y en la columna 1 del eje 12. Las columnas del eje 11 se instrumentaron tanto en su extremo superior como inferior, mientras que la columna 1 del eje 12 solamente en su base. En la figura 3.9 se presenta la ubicación de los deformímetros tanto en los refuerzos longitudinal como transversal de la columna. En la figura 3.10 se presenta la fotografía de una columna instrumentada. En cada extremo de la columna se adhirieron 30 deformímetros, 24 corresponden a dos secciones longitudinales y los 6 restantes al refuerzo transversal. Con el fin de incrementar la redundancia en la instrumentación, debido a que los deformímetros se dañan fácilmente durante los trabajos de colocación y compactación del terreno, en algunos sitios se instalaron dos deformímetros sobre el mismo refuerzo longitudinal.

La preparación del refuerzo para la instalación de los deformímetros consistió en un esmerilado y pulido de las barras. Después de colocado el refuerzo longitudinal de cada columna, se instalaron los deformímetros correspondientes y se condujeron los cables hacia una caja metálica situada a 4 m de altura. Para cada deformímetro se utilizaron 3 cables, dos de ellos para la señal del sensor y un tercero, en paralelo a uno de los anteriores, el cual sirve para compensar variaciones de temperatura en cables de gran distancia.

De los 150 deformímetros eléctricos, 48 son monitoreados de manera continua y automática, mientras que los restantes 102 se miden manualmente dentro de una

caja de conexiones en las columnas. Además de los deformímetros adheridos al refuerzo de las columnas se instalaron otros 38 deformímetros sobre dos torones y dos barras longitudinales en la trabe TC-14, con el fin de estudiar el preesfuerzo de dicha trabe [G. Aguilar, 1997], los cuales también son medidos manualmente.

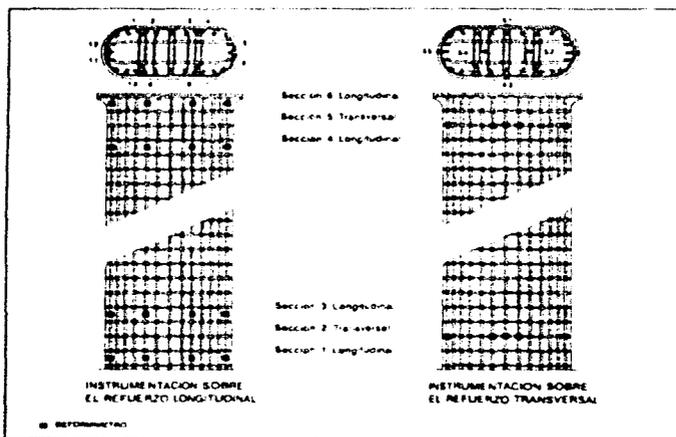


Figura 3.9. Localización de los deformímetros dentro de las columnas



Figura 3.10. Fotografía de una columna instrumentada.

IV. Sistemas de adquisición de datos

4.1 Introducción

Las señales generadas en el puente, provenientes de los deformímetros eléctricos, transductores de desplazamiento y acelerómetros, son llevadas a través de una gran cantidad de líneas de cable hasta una caseta de control ubicada entre las columnas 2 y 3 del eje 11 de columnas del puente, donde son almacenadas. Se utilizaron 2 sistemas de adquisición de datos: un registrador modelo K2 fabricado por Kinometrics para la aceleración y un adquisidor multi-canal modelo CR-9000 fabricado por Campbell para los deformímetros eléctricos y transductores de desplazamiento. Las figuras 4.1.a y 4.1.b muestran fotografías de estos adquisidores.



Figura 4.1 a) Fotografía del adquisidor CR9000
b) Fotografía del CR900 y del K2 instalados en el Rack del puente

Los dos equipos se encuentran conectados entre si y operan en un modo de disparo maestro-esclavo. El K2 es el maestro, lo que significa que en cuanto los acelerómetros detectan un movimiento mayor al umbral de disparo, el K2 comienza el registro y también envía una señal de disparo para el CR9000, y éste también comienza a registrar almacenando la señal de disparo. De esta forma se sincroniza el tiempo de los registros obtenidos del CR9000 con los del K2. En ambos adquisidores se almacena también información durante un tiempo previo al disparo, llamado preevento, con lo cual se tiene un registro completo de un sismo desde antes de su inicio. Los datos se almacenan en la memoria de los adquisidores y pueden ser recuperados en el sitio, conectando una computadora portátil directamente al adquisidor, o bien de forma remota, a través de un sistema multiplexor diseñado para tal propósito y comunicado vía módem al CENAPRED. Los equipos adquisidores se alimentan a través de un cargador conectado a un sistema de respaldo de energía "no-break", el cual se alimenta directamente a la línea de 127 VAC y además cuentan con baterías en flotación. La figura 4.2 presenta un diagrama a bloques general de la instrumentación de la superestructura del puente.

92

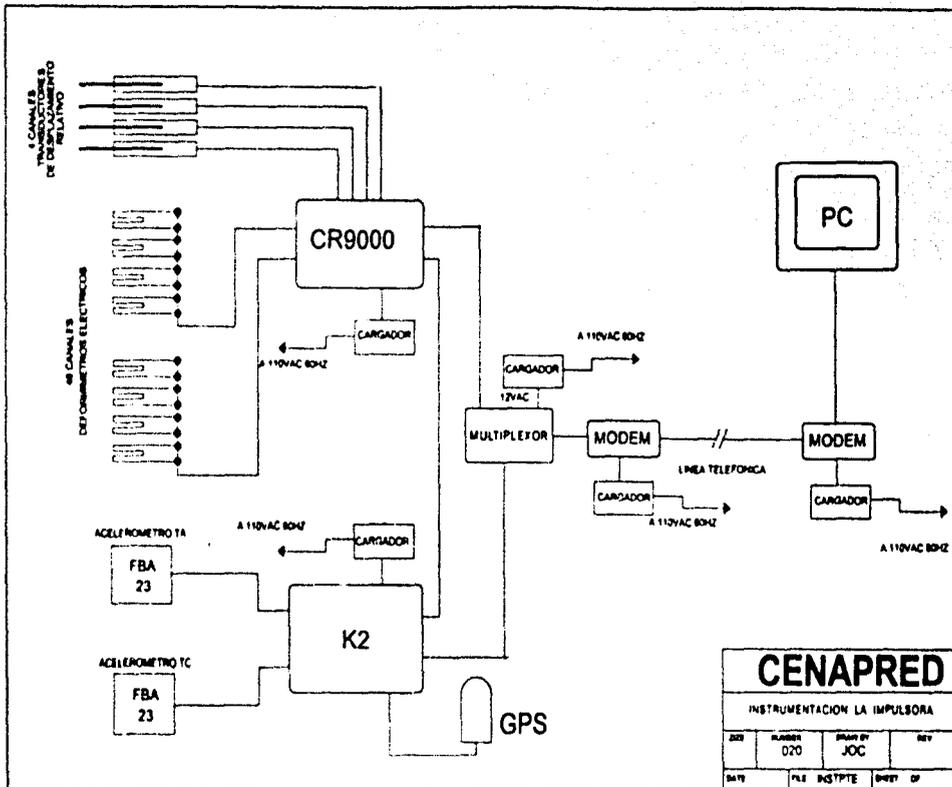


Figura 4.2 Diagrama de la instrumentación de la superestructura del puente.

4.2 Cableado.

Como se mencionó anteriormente, el envío de las señales de los sensores hasta la estación de registro requirió de una gran cantidad de líneas de cable y por ello se etiquetó cada una con un código único. Las ramas principales son 4 y se denominaron ramas A, B, C y D respectivamente, éstas se muestran en la figura 4.3. Cada rama se compone de varias líneas de cables. Se emplearon 2 tipos de cable, ambos de la marca belden, blindado, el cual tiene varias capas de aislamiento externo, internamente, cada par de conductores también está aislado y además de los conductores para señal, tiene un cable extra por cada par, el cual se utiliza para hacer la conexión a tierra; esta conexión se hizo en la caseta de registro, y es la misma a la que están conectados los adquirentes. En el caso de los transductores de desplazamiento, se usó un cable belden # 8726 de 4 hilos, es decir, se empleó un cable para cada sensor; para los acelerómetros y deformímetros se utilizó un cable belden # 9874, el cual tiene 6 pares de conductores; con un tramo de este cable se puede conectar tanto un sensor , FBA23 como 4 deformímetros, de manera que para conducir las señales de 20 deformímetros desde la columna norte se requirieron 5 tramos de cable. Además se utilizó un código para designar a cada uno de los sensores conectados al CR9000, el cual es descrito a continuación.

La rama B, que conduce las señales de los LVDT's, utiliza un código de identificación para cada uno de los sensores que consiste en 4 caracteres: los primeros 2 son una B y una D, seguidos de un guión y un número que varía entre uno y cuatro. La primer letra indica que se trata de la rama B, y la D se usa para designar a los medidores de desplazamiento, finalmente, el número que está después del guión designa a cada uno de los transductores y que son: DLE, DLN, DLW ó DTE respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, el resto de las ramas, A, C y D utilizan cables que conducen las señales de varios deformímetros cada uno. La nomenclatura

que se usó para las conexiones de los deformímetros es la siguiente: la primera letra corresponde a la rama de conexión, después se agregó una "S" para indicar que se trata de un deformímetro, a continuación sigue un número para identificar los diferentes cables de una misma rama, seguido de un punto y otro número que puede ser entre 1 y 4, que indica el deformímetro al que está conectado, finalmente se agregó una letra la cual puede ser una C ó una "S", dependiendo de la excitación que recibe ese sensor, ésta puede ser continua ó conmutada. Además de la nomenclatura empleada para cada conexión del adquisidor CR9000, se tiene otra que se refiere a la ubicación de los deformímetros dentro de las columnas. Esta nomenclatura comienza siempre con las letras SG, y a continuación hay 2 números separados por un guión. El primer número indica la sección instrumentada dentro de la columna (puesto que cada columna consta de 6 secciones instrumentadas, ya sea longitudinal ó transversalmente), de acuerdo a la figura 3.9, mientras que el segundo indica cuál de los Strains de esa sección es el que está conectado de acuerdo al corte transversal mostrado en la parte superior de la misma figura. La tabla 4.3 contiene el total de sensores monitoreados automáticamente, la línea de cable empleada así como el canal correspondiente dentro del adquisidor CR9000 como se verá más adelante.

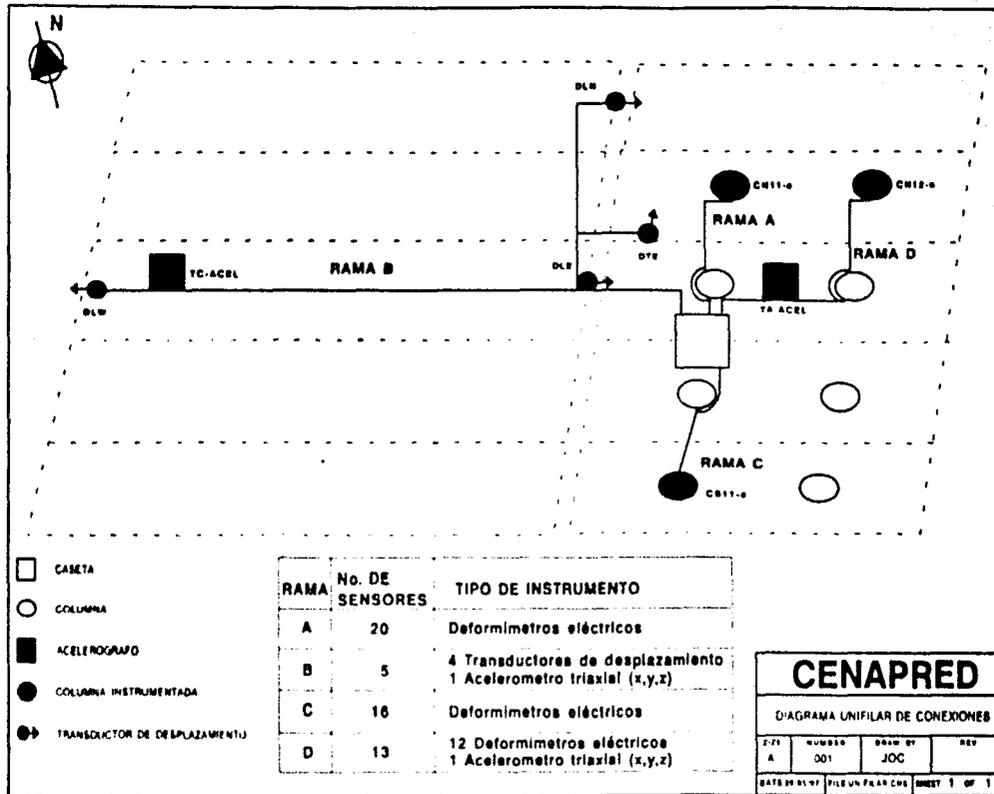


Figura 4.3. Diagrama unifilar de la instrumentación del puente vehicular La Impulsora.

4.3 El registrador K2 y los acelerómetros.

El registrador K2 tiene conectados los dos acelerómetros triaxiales FBA-23 TC-ACEL y TA-ACEL. Este instrumento tiene una resolución de 19 bits, lo que equivale a un rango dinámico de 114 dB y almacena la información en memorias de estado sólido utilizando una tarjeta PCMCIA de 10 Mbytes. La información almacenada en la memoria puede leerse directamente de la tarjeta PCMCIA conectando ésta a una PC con un puerto PCMCIA, o bien, a través de un puerto serial, utilizando una computadora portátil. La configuración e inicialización del instrumento también se realiza mediante una computadora conectada al puerto serial. El K2 tiene además un sistema de registro de tiempo mediante un receptor satelital GPS (Global Position System). La alimentación del equipo proviene de un cargador externo conectado a la línea de 127 VAC y alimenta una batería interna que proporciona un respaldo de alimentación de hasta 34 horas. El algoritmo de disparo permite comenzar a registrar información una vez que se detecta un movimiento de excitación superior al umbral definido de disparo y puede seleccionarse un valor diferente para cada canal de manera independiente. La tabla 4.1, muestra la configuración del K2 empleada para este proyecto.

Frecuencia de muestreo:	100 mps
Tiempo de preevento:	45 s
Tiempo de postevento:	30 s
Orientación del sensor 1 (CH1-CH2-CH3):	L - V - T (al puente), dentro de TA
Orientación del sensor 2 (CH4-CH5-CH6):	L - V - T (al puente), dentro de TC
Umbral CH1:	0.1% de la escala completa = 1.84 gal
Umbral CH2:	0.1% de la escala completa = 1.84 gal
Umbral CH3:	0.1% de la escala completa = 1.84 gal
Umbral CH4:	0.25% de la escala completa = 4.9 gal
Umbral CH5:	1.35 % de la escala completa = 26.4 gal
Umbral CH6:	0.25% de la escala completa = 4.9 gal

Tabla 4.1. Configuración del K2.

4.4 El registrador CR9000.

El CR9000 es un sistema de registro de datos modular basado en multiprocesadores (ver figuras 4.1.a. y 4.4) que permite mediciones de precisión de hasta 60 variables, con frecuencias de muestreo de hasta 100 muestras / segundo y con una resolución de 16 bits (96 dB). Se alimenta de baterías internas de 12 V y un cargador conectado a la línea de 127 VAC. Las especificaciones técnicas de este instrumento se presentan en el apéndice A.

Los módulos que puede utilizar el CR9000 son: un CPU (módulo 9031), que es el que controla todo el sistema y se programa utilizando un lenguaje similar al BASIC, una fuente de alimentación (9011), un módulo acondicionador de señal, un módulo (9080) para almacenamiento de datos, módulos de excitación (9060) usados para alimentar sensores externos y diferentes módulos de adquisición de datos (9050). La tabla 4.2 muestra las diferentes tarjetas empleadas en el CR9000, utilizadas en la aplicación del puente la Impulsora

Los módulos 9050 de captura de datos tienen capacidad para 14 señales cada uno. Los módulos de excitación 9060 permiten alimentar 6 sensores con excitación continua y 10 con excitación conmutada (únicamente se energiza en el instante en que se toma la lectura). Se utilizan 4 canales para los transductores de desplazamiento, 8 para deformímetros excitados de manera continua y 40 para deformímetros con excitación conmutada, sumando un total de 52 variables. Además se emplea un canal adicional para la señal de disparo generada por el K2, lo que permite sincronizar las series de tiempo del CR9000 con las de aceleración. La tabla 4.3 contiene la información de cada una de las variables registradas por el CR-9000 indicando el sensor que se está midiendo, su ubicación, el número de canal dentro del CR9000, la tarjeta a la cual está conectada dentro del adquirente, la línea de conexión, y para el caso de los deformímetros, su ubicación dentro de la columna, como se explicó anteriormente.

Slot no.	Tarjeta no.	Descripción
1	9011	Adaptador de CA y fuente de alimentación
2	9031	Módulo del CPU
3	9041	Módulo amplificador y conversor A/D
4	9080	Módulo de almacenamiento de datos en tarjeta PCMCIA
5	9050	Módulo de entradas analógicas
6	9050	Módulo de entradas analógicas
7	9050	Módulo de entradas analógicas
8	9050	Módulo de entradas analógicas
9	9060	Módulo de excitación
10	9060	Módulo de excitación
11	9060	Módulo de excitación
12	9060	Módulo de excitación

Tabla 4.2. Configuración del CR9000.

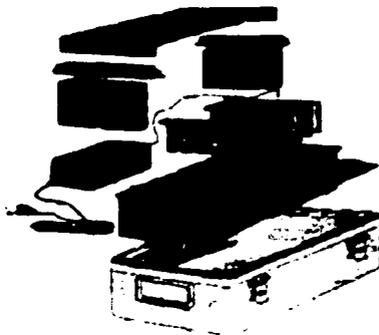


Figura 4.4 Adquisidor CR9000

No. de sensor	Ubicación	Sensor	Línea de conexión	Canal del CR900 en tarjeta 9050		Excitación en tarjeta 9060	
				No de Slot	Hi, Li	No de Slot	Hi, Li
1	TC-14 este	DLE	BD-4	5	1	9	1
2	TC-13 este	DLN	BD-2	5	2	9	2
3	TC-14 oeste	DLW	BD-1	5	3	9	3
4	TC-16 trans.	DTE	BD-3	5	4	9	4
5		K2-Trng		5	5	9	5
6		SG 1-1	AS1 1C	5	6	9	6
7		SG 1-3	AS1 2C	5	7	10	1
8		SG 1-5	AS1 3C	5	8	10	2
9		SG 1-7	AS1 4C	5	9	10	3
10		SG 2-2	AS2 1C	5	10	10	4
11		SG 1-12	AS2 2C	5	11	10	5
12		SG 2-1	AS2 3C	5	12	10	6
13		SG 2-6	AS2 4C	5	13	11	1
14		SG 3-1	AS3 1S	5	14	9	7
15		SG 3-5	AS3 2S	6	1	9	8
16		SG 3-10	AS3 3S	6	2	9	9
17		SG 3-11	AS3 4S	6	3	9	10
18		SG 4-2	AS4 1S	6	4	9	11
19		SG 4-9	AS4 2S	6	5	9	12
20		SG 5-3	AS4 3S	6	6	9	13
21		SG 5-5	AS4 4S	6	7	9	14
22		SG 6-4	AS5 1S	6	8	9	15
23		SG 6-6	AS5 2S	6	9	9	16
24		SG 6-8	AS5 3S	6	10	10	7
25		SG 6-12	AS5 4S	6	11	10	8
26		SG 1-1	CS1 1S	6	12	10	9
27		SG 1-4	CS1 2S	6	13	10	10
28		SG 1-9	CS1 3S	6	14	10	11
29		SG 1-11	CS1 4S	7	1	10	12
30		SG 2-2	CS2 1S	7	2	10	13
31		SG 3-4	CS2 2S	7	3	10	14
32		SG 3-6	CS2 3S	7	4	10	15
33		SG 3-8	CS2 4S	7	5	10	16
34		SG 3-11	CS3 1S	7	6	11	7
35		SG 4-4	CS3 2S	7	7	11	8
36		SG 4-8	CS3 3S	7	8	11	9
37		SG 4-10	CS3 4S	7	9	11	10
38		SG 5-4	CS4 1S	7	10	11	11
39		SG 5-5	CS4 2S	7	11	11	12
40		SG 6-2	CS4 3S	7	12	11	13
41		SG 6-9	CS4 4S	7	13	11	14
42	Columna Norte 12	SG 1-2	DS1 1S	7	14	11	15
43		SG 1-3	DS1 2S	8	1	11	16

Tabla 4.3. Conexiones de los sensores al CR9000.

No. de sensor	Ubicación	Sensor	Línea de conexión	Canal del CR900 en tarjeta 9050		Excitación en tarjeta 9060		
				No. de Slot	Hi, Li	No. de Slot	Hi, Li	
44	Columna Norte 12	SG 1-6	DS1.3S	8	2	12	7	
45		SG 1-8	DS1.4S	8	3	12	8	
46		SG 1-12	DS2.1S	8	4	12	9	
47		SG 2-2	DS2.2S	8	5	12	10	
48		SG 2-3	DS2.3S	8	6	12	11	
49		SG 2-6	DS2.4S	8	7	12	12	
50		SG 3-2	DS3.1S	8	8	12	13	
51		SG 3-5	DS3.2S	8	9	12	14	
52		SG 3-9	DS3.3S	8	10	12	15	
53		SG 3-12	DS3.4S	8	11	12	16	
54			IDS-trig		8	12	11	2

Tabla 4.3. Conexiones de los sensores al CR9000 (continuación).

Como se mencionó en el capítulo III, los deformímetros eléctricos requieren de un puente de wheatstone para tomar su lectura debido a que las variaciones de resistencia son muy pequeñas. El CR9000, utiliza un puente llamado módulo TIM, que contiene el arreglo de resistencias para tener el puente de wheatstone. A este módulo se conectan directamente las tres líneas provenientes del deformímetro eléctrico, y éste a su vez se conecta a las entradas H-L-G de las tarjetas analógicas (9050), como se muestra en la figura 4.5.

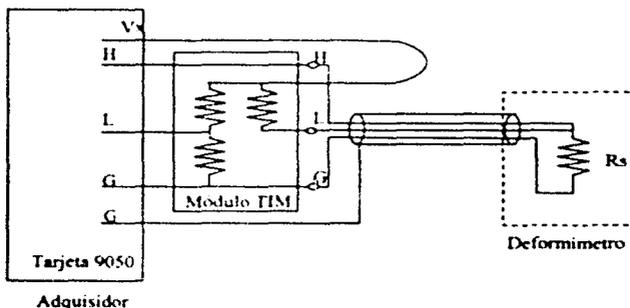


Figura 4.5 Diagrama de un módulo Tim con Strain Gauge y su conexión al adquisidor.

Las conexiones entre las tarjetas de excitación, los sensores y las tarjetas de adquisición de datos se vuelven relativamente complejas debido al gran número de sensores. El programa propio del adquisidor, genera los diagramas de cableado de las tarjetas, en estos diagramas se muestran las entradas de cada tarjeta analógica 9050 indicando el sensor que debe conectarse y, para las tarjetas de excitación 9060, se indica el sensor al que debe alimentar.

4.5 Programa de control del CR9000 y programa para conversión de archivos ASCII

El CR9000 contiene un sistema operativo que permite ejecutar una aplicación determinada de acuerdo a las tarjetas empleadas. Para ello utiliza un lenguaje de programación propio. Con este programa, se realiza la configuración del hardware, la lectura de datos y su almacenamiento. Además, se pueden efectuar funciones avanzadas tales como calcular la media, desviación estándar, deformación y transformada rápida de Fourier, entre otras.

El programa de control desarrollado para el puente consiste de dos partes: la primera es la configuración del hardware y definición de variables y la segunda, que se encargada de leer datos, evaluar la condición de disparo y guardar los datos en la memoria. Estas rutinas se describen a continuación.

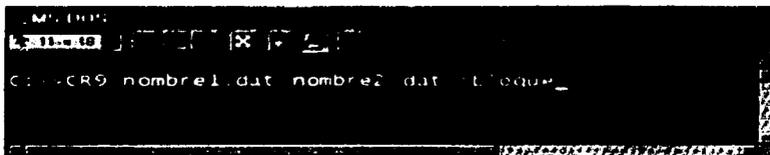
Los sensores se leen a una tasa de muestreo de 50 mps y los datos leídos se almacenan en una tabla de tamaño de 500 muestras llamada *MAIN*, la cual tiene una configuración de anillo, esto quiere decir, que cuando se inicia la tabla, el primer valor se almacena en la posición 1, y los nuevos valores se almacenan a continuación hasta llegar a la posición 500 de la tabla; cada nueva lectura se va almacenando en la posición 500 de la tabla, mientras que las muestras anteriores

van recomendándose una posición, de manera que la muestra que correspondía a la lectura 1, se pierde. De esta manera, la tabla se está actualizando continuamente con cada lectura, mientras no ocurra un evento. Después de cada lectura, se evalúa la condición de la línea de disparo y en caso de encontrarse activada se copia la tabla *MAIN* a una nueva tabla, llamada *EVENT*, comenzando nuevamente el llenado de la tabla *MAIN*. Este procedimiento se realiza durante el tiempo que permanece activa la línea de disparo. Por esta razón los registros generados tienen un número de muestras que es un múltiplo de 500 y con un preevento fijo de 500 muestras. La tabla *Event*, a diferencia de la tabla *Main* tiene un tamaño fijo, y una vez que se llena, ya no puede almacenar más datos, ni borrar los anteriores, de manera que los nuevos datos, si ocurriera un evento una vez que estuviera llena la tabla, se perderían, por esto se debe revisar periódicamente el registrador, para evitar que se llene la memoria y copiar los datos en una PC. La tabla *Event* se almacena en una tarjeta PCMCIA, la cual conserva los datos aún cuando se pierda la alimentación. El apéndice C presenta el programa fuente del adquisidor CR9000.

El formato de los archivos de datos recuperados directamente del CR9000 es el siguiente: en las primeras líneas del archivo se tienen datos del propio adquisidor, tales como la versión del sistema operativo que está corriendo, y el programa de configuración y adquisición de datos, en seguida comienza una matriz con los datos del evento. Esta matriz consta de 55 columnas, las primeras 3 columnas corresponden a la fecha, hora, y número de muestra, y las restantes columnas corresponden a los diferentes sensores. Cada línea representa a una nueva muestra. Estos archivos son archivos de tipo texto y debido a su tamaño es difícil manejarlos, para poder procesarlos mejor, se escribió un programa de cómputo en lenguaje C, denominado CR9.EXE, el cual permite separar el archivo original en archivos que agrupan un número de sensores de interés. De esta forma se genera un archivo para los transductores de desplazamiento (4 señales) y un archivo para cada bloque de 8 deformímetros (6 archivos distintos), esto quiere decir que el

archivo original puede ser dividido en siete archivos que son más fáciles de manejar.

La sintaxis para ejecutar este programa es la siguiente:



```
C:\> CR9 nombre1.dat nombre2.dat #bloque_
```

donde *nombre1.dat* indica el archivo original generado por el CR9000, *nombre2.dat* es el nuevo archivo de datos y el argumento *#bloque* se utiliza para indicar las variables que contendrá el archivo final, como se resume en la tabla 4.4. El archivo *nombre2.dat* contiene los datos con un encabezado que indica los datos del evento, tales como la fecha y hora de inicio, y a continuación las columnas de datos seleccionados

El programa *Cr9.exe* genera además un archivo llamado *bloqueN.pxy*, el cual contiene los comandos necesarios para obtener una gráfica de ese bloque de datos utilizando el programa *plotxy*. Este último es un paquete muy útil para graficar eventos sísmicos. Cuando se llama a *plotxy* es necesario proporcionarle el nombre de un archivo que contenga los comandos necesarios para hacer la graficación, tales como el número de gráficas, el tamaño de éstas, el archivo de donde tomará las muestras, la distribución de las gráficas dentro de la pantalla, la escala de los ejes, etc. Todos estos datos se encuentran en el archivo *bloqueN.pxy* generado por el programa *Cr9.exe*. De manera que para obtener una gráfica del bloque deseado se debe correr el programa *plotm* utilizando la siguiente sintaxis:



donde "N" es el número del bloque de sensores, de acuerdo a la tabla 4.4; y obtendremos la gráfica deseada.

N	Bloque de datos
1	4 LVDT's
2	8 deformímetros. AS1.1C - AS2.4C
3	8 deformímetros. AS3.1S - AS4.4S
4	8 deformímetros. AS5.1S - CS1.4S
5	8 deformímetros. CS2.1S - CS3.4S
6	8 deformímetros. CS4.1S - DS1.4S
7	8 deformímetros. DS2.1S - DS3.4S

Tabla 4.4. Registros contenidos en los archivos ASCII generados por el programa CR9 EXE.

4.6 Programa para graficación y conversión de datos del K2

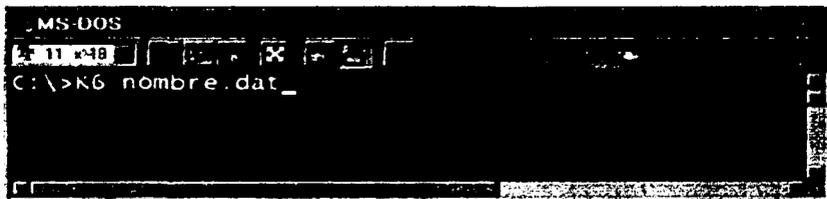
El acelerógrafo digital K2 almacena los eventos registrados en un formato binario en archivos con una extensión ".evt", el cual es muy sencillo y ocupa poco espacio dentro de la memoria del adquirente. Una vez que se transfiere un registro a una computadora es necesario convertir esa información a algún otro formato que sea más fácil de manipular. El fabricante del equipo proporciona un programa llamado KW2ASC, que sirve para convertir un evento de formato binario a un formato ascii.

Sin embargo, para facilitar la graficación mediante el programa plotxy y presentar a los investigadores de estructuras un archivo de acuerdo a sus necesidades, se generó un programa que transforma los archivos ASCII en otros archivos con diferente formato. En primer lugar se describirán los archivos generados por KW2ASCII.

EL KW2ASCII toma como entrada el nombre del evento y entrega a la salida 7 archivos en formato ascii. El nombre de los archivos de salida es el mismo que el del archivo de entrada, pero con una extensión distinta, los primeros seis archivos tienen una extensión con extensiones siguientes: "001", "002", "003", "004", "005" y "006", cada uno de estos archivos corresponde a un canal de registro del adquirente, los primeros 3 archivos corresponden al acelerómetro triaxial localizado en la trabe de apoyo y los siguientes 3 al que está localizado en la trabe central; finalmente se genera un archivo con extensión "shd", que contiene información del evento y del adquirente, tales como el nombre de la estación, sus coordenadas, el nombre asignado a cada uno de los canales, la frecuencia de muestreo, la hora de inicio y fin del registro, número de muestras, etc. Los seis primeros archivos constan de una columna de datos, que corresponden a cada muestra registrada del evento y el número de muestras varará de acuerdo a la duración que haya tenido el evento y a la frecuencia de muestreo

Con el fin de obtener una gráfica del evento registrado se utiliza el programa plotxy. Para hacer más eficiente el uso del plotxy se desarrolló un programa en lenguaje C, el cual realiza el siguiente proceso: abre uno de los archivos generados por el KW2ASCII, y saca el promedio de todas las lecturas y a continuación se lo resta a cada una de las muestras, para eliminar el offset que puedan tener las lecturas, después toma cada muestra y las multiplica por un factor convertirlas a gals; finalmente, guarda los nuevos valores en un nuevo archivo que contendrá 6 columnas de datos, una por cada canal. Una vez realizado esto, genera 2 nuevos archivos: uno llamado TA.pxy y otro TC.pxy, los

cuales contienen todas las instrucciones para que el plotxy haga las gráficas correspondientes. Este programa se denominó K6.exe. La sintaxis para ejecutar el k6.exe es la siguiente:



En donde nombre.dat es el nombre del evento sin ninguna extensión

El desarrollo de estos programas permitió facilitar el manejo de la información para el procesamiento de la información obtenida de los sensores instalados en el puente; y así obtener en unos pocos minutos las gráficas de las señales registradas por la instrumentación del puente, y agrupadas por grupos de interés

V. Sistema de multiplexaje

Como se mencionó anteriormente, cada uno de los sistemas de adquisición de datos empleados en el puente La Impulsora (K2 y CR9000), pueden ser interrogados remotamente via módem. Debido a que se requerirían 2 líneas telefónicas, se pensó en diseñar un multiplexor, que funcionara como enlace entre el módem y los adquirentes de datos; y que sirviera para interrogar a los 2 adquirentes utilizando solo una línea telefónica. Antes de comenzar el diseño del multiplexor, se sabía que los equipos podían ser interrogados de manera local o remota, pero se requería de más información para comenzar a diseñar el sistema. Se requería saber si los equipos hacen un handshake para iniciar una comunicación directa ó sólo via módem, si durante la comunicación sólo se necesitan 3 hilos Rx, Tx y Gnd o se utiliza alguna otra señal de control, si se puede establecer una comunicación empleando un programa terminal y después cambiar de software sin perder la comunicación y si se deberían hacer 2 llamadas telefónicas, una para cada equipo, o se podría hacer la interrogación de los 2 con una sola llamada. Para encontrar las respuestas, a estas preguntas, se revisaron los manuales de cada equipo; en el caso del K2, se encontró que la comunicación se establece únicamente con 3 líneas, mientras que el manual del CR9000, no mencionaba nada al respecto, por lo que se contactó al fabricante, quien nos informó que sí es posible establecer la comunicación por medio de un cable módem nulo. Las siguientes pruebas del laboratorio, consistieron en establecer una comunicación entre 2 computadoras utilizando 2 módems y después cambiando el software utilizado. Se encontró que algunos programas "terminal", al cerrarse cambian el estado del pin DTR, perdiéndose con esto la comunicación, así que se optó por un cable módem nulo, de manera que con esto fué posible establecer comunicación via módem y después cambiar el software para interrogar a cada equipo, seleccionando en el software la opción "comunicación directa".

Otro aspecto a considerar era la velocidad a la que se realizaría la comunicación, en las pruebas que se hicieron interrogando los registradores a diferentes velocidades, el K2 no mostró ningún problema de comunicación o de pérdida de datos ya que en realidad son archivos pequeños; en cambio el CR9000 tuvo varios problemas para mantener una adecuada comunicación. Debido a que el CR9000 está registrando poco más de 50 variables, genera archivos muy grandes lo que se tradujo en problemas a la hora de bajar los datos. Si la velocidad era muy baja, el tiempo de transferencia de archivos aumentaba demasiado y con frecuencia se cortaba la comunicación, si por el contrario, la comunicación se hacía a una velocidad alta, el número de errores aumentaba considerablemente, debido a esto, se eligió 19,200 bps para hacer la interrogación de ambos adquisidores

El multiplexor se encarga de configurar al módem para que reciba la llamada y conteste, y en seguida la computadora remota establece comunicación directa con el multiplexor. A continuación se elige el adquisidor a interrogar y se envía el comando correspondiente, el multiplexor identifica la opción y conmuta al adquisidor seleccionado estableciendo una conexión directa entre la PC remota y el adquisidor de tal forma que el sistema multiplexor es totalmente invisible para el usuario, pudiéndose interrogar al adquisidor en la forma normal, como si se estuviera viendo conectado directamente al equipo. La figura 5.1 muestra una fotografía del multiplexor.

El sistema multiplexor está diseñado basado en un microcontrolador (HC11) que se conecta al módem a través del puerto serial de éste. Cuenta con un adaptador de interfase de comunicación asíncrona (ACIA) para comunicarse. La velocidad a la que se realiza la comunicación es de 19200 bauds. Cuenta además con 3 puertos de comunicación (uno para cada registrador y otro propio del sistema), los cuales se habilitan de acuerdo al registrador que se quiera interrogar.

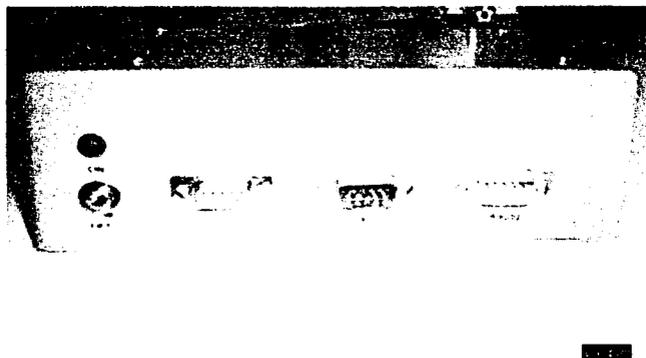


Figura 5.1 Fotografía del multiplexor del puente La Impulsora

El multiplexor se alimenta a través de un eliminador de baterías de 12 Volts, conectado al mismo no-break al que están conectados los adquisidores, sin embargo, internamente los componentes del circuito se alimentan con 5 Volts a través de un regulador de voltaje. Como se mencionó anteriormente, el multiplexor está conectado a los 2 adquisidores, gracias a esto, el sistema puede ser utilizado en el sitio, conectando una computadora portátil directamente al sistema en lugar del módem, a través del puerto serie.

En la figura 5.2 se muestra una fotografía de la tarjeta del circuito multiplexor, en la figura 5.3 el diagrama del circuito y en la tabla 5.1 la lista de componentes utilizados.

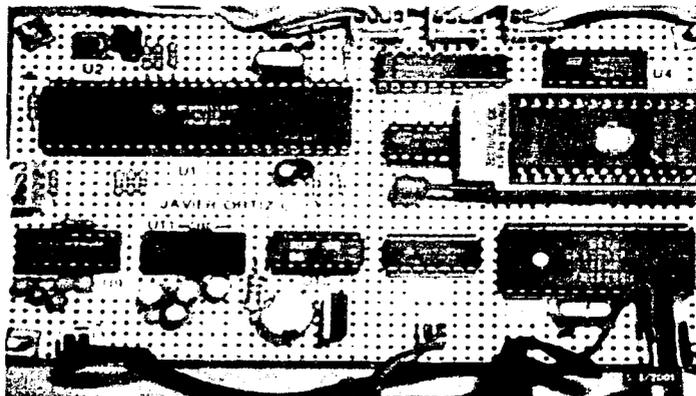


Figura 5.2 Fotografía de la tarjeta del circuito multiplexor del puente La Impulsora

REFERENCIA	DESCRIPCIÓN
U1	M68HC11A1, microcontrolador
U2	MC34064, detector de bajo voltaje
U3	74HC373, latch octal
U4	74HC138, decodificador de 3x8
U5	27C64, memoria eprom de 8 Kbytes
U6	74HC00, cuadruple compuerta NAND
U7	65C51, ACIA
U8, U10	74HC126
U9, U11	MAX232, adaptador de nivel
U12	LM7805, regulador de voltaje 5V.
C1, C2	Capacitor de 18 pF
C3	Capacitor de 1 pF
C4	Capacitor de 33 pF
C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11, C12, C13, C14	Capacitor de 18 10
C15	Capacitor de 0.33 pF
C16	Capacitor de 0.01 pF
R1	Resistencia de 1M
R2, R3, R4, R5, R6, R7, R8, R9, R10, R11	Resistencia de 4.7 Kohms
R12, R13, R14	Resistencia de 220 ohms
XTAL1	Cristal de 8 MHz
XTAL2	Cristal de 2 MHz
Sw1	Push Button normalmente abierto
J1	Conector DB9 hembra
J2, J3	Conector DB0 macho
J4	Conector de 2 pines, para alimentación.

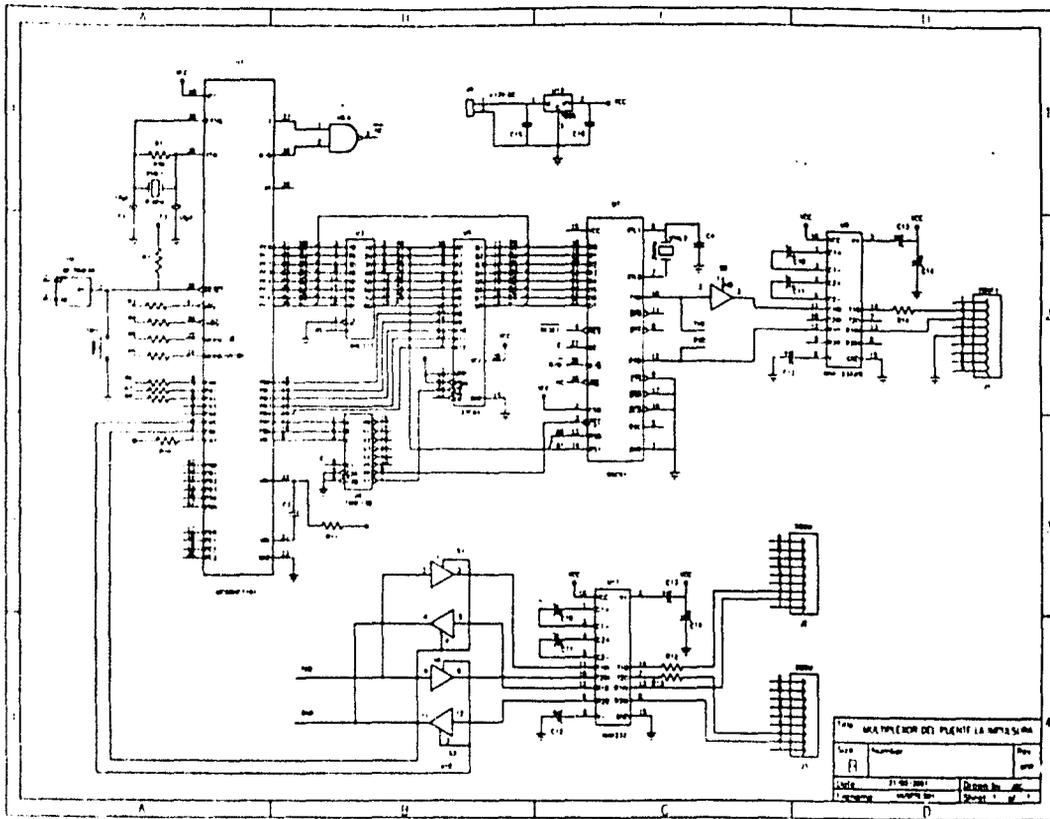


Figura 5.3 Diagrama del circuito multiplexor del puente La Impulsora

VI Programa del sistema multiplexor

6.1 Introducción

El programa de control del sistema multiplexor se encarga de configurar al módem para que conteste la llamada y se conecte a la velocidad apropiada y en seguida espera a recibir un comando válido para ejecutarlo. Las etapas principales del este programa son: inicialización, recepción de comandos y ejecución; las cuales se describen a continuación.

6.2 Configuración del módem

El circuito multiplexor envía cada 10 minutos el comando de configuración al módem, que consiste en revisar que la línea esté colgada y en ordenarle que conteste al prime tono de llamada, y a continuación espera recibir un ok como respuesta. Si el ok no ha sido recibido durante un lapso de 10 segundos, entonces el comando se envía nuevamente y esperará el ok otra vez, este ciclo se repetirá indefinidamente hasta que se reciba un ok como respuesta (ver figura 6.1).

6.3 Recepción de comandos

Una vez que el módem está configurado y listo para recibir una llamada, el micro pasa a la etapa de recepción de comandos. El sistema tiene almacenados en la memoria cuatro patrones o cadenas de caracteres que corresponden a cada uno de los comandos que puede ejecutar, estos comandos son \$adq1, \$adq2, \$help y \$exit la cual funciona de la siguiente manera (ver figura 6.2)

Como primer paso se inicializa un contador de tiempo de 10 minutos., que es el tiempo límite que estará ejecutando la subrutina de recepción de comandos, cada comando está compuesto de un caracter de inicio, que es el caracter \$, y 4 caracteres más, en caso de que no se reciba ningún caracter, el programa regresa

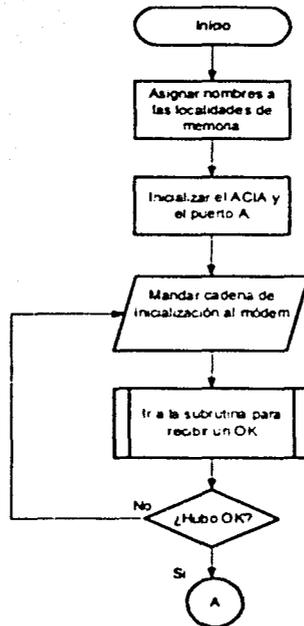


Figura 6.2 Diagrama de flujo de la primera etapa del programa del sistema multiplexor.

a la etapa anterior, es decir, a la rutina de configuración del módem. Si por el contrario, el micro recibe algún carácter, lo compara con el carácter de inicio de comandos, si la comparación resulta verdadera, entonces espera los siguientes 4 caracteres, los cuales serán almacenados en una localidad de memoria, una vez que ha recibido los caracteres, entonces procede a comparar la cadena de

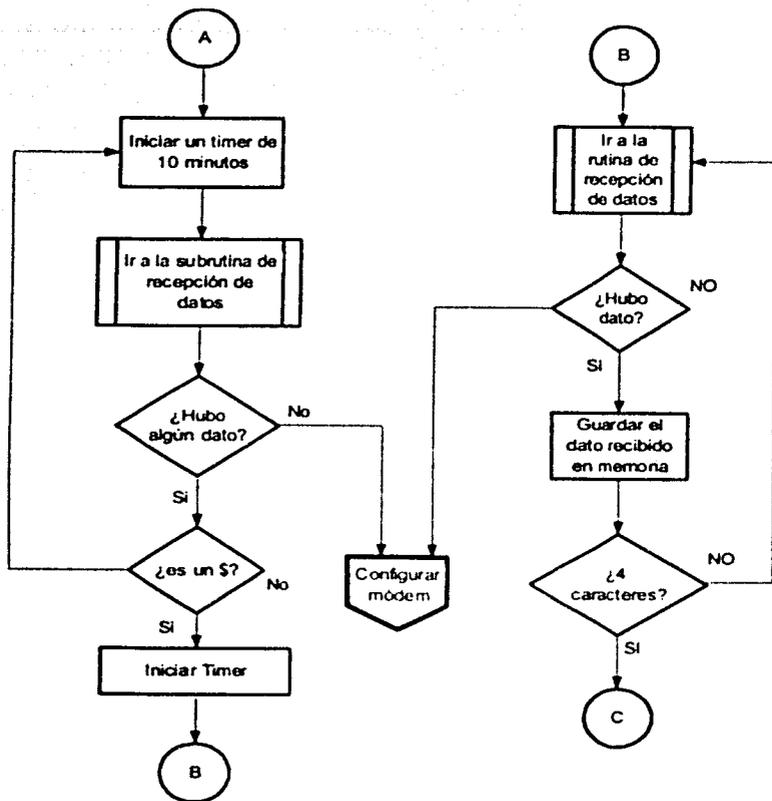


Figura 6.2 Diagrama de flujo de la etapa de recepción de comandos del sistema multiplexor.

caracteres recibida con cada uno de los comandos que puede interpretar, lo cual se hace en la siguiente etapa.

6.4 Identificación y ejecución de comandos

Para la identificación de comandos se ejecuta una subrutina en la que se compara caracter por caracter el comando recibido con cada uno de patrones preexistentes. Si el resultado de la comparación con el patrón 1 fue falso, entonces compara el comando recibido con el patrón 2, si resultara falso tomará el siguiente patrón y así sucesivamente hasta terminar con los patrones que tiene almacenados, si el comando recibido no coincide con ninguno de ellos, entonces el programa regresa a la etapa anterior, en donde espera el caracter de inicio de comando (ver figura 6.3).

En caso de que la comparación haya resultado verdadera en alguno de los casos, entonces va a ejecutar los comandos correspondientes. En el caso de que el comando recibido corresponda a los patrones \$adq1 ó \$adq2, el sistema deshabilita los puertos de comunicación con los adquirentes y habilita solamente el del propio microcontrolador. A continuación manda un mensaje indicando a qué adquirente se está conectado y en seguida conmuta al adquirente seleccionado, con lo que el enlace de comunicación está listo para iniciar la interrogación. En este momento el usuario puede ejecutar los programas Qtalk y PC9000 (los programas de comunicación del K2 y del CR9000 respectivamente) o bien desde modo terminal mandar los comandos propios de cada adquirente. Mientras tanto, el micro regresa a la rutina anterior con el fin de esperar el siguiente comando.

Si el comando recibido fué \$help, entonces aparecerá una ventana de ayuda indicando los comandos del sistema; después de lo cual, el sistema regresa nuevamente a la etapa de recepción de comandos. Si el comando solicitado fue "\$exit", entonces el sistema pregunta si realmente se desea finalizar la comunicación, en caso de que la respuesta sea afirmativa, el sistema se encarga de desconectar al módem de la línea para que finalice la llamada, regresando nuevamente a la primera etapa del sistema, es decir, a la configuración del módem.

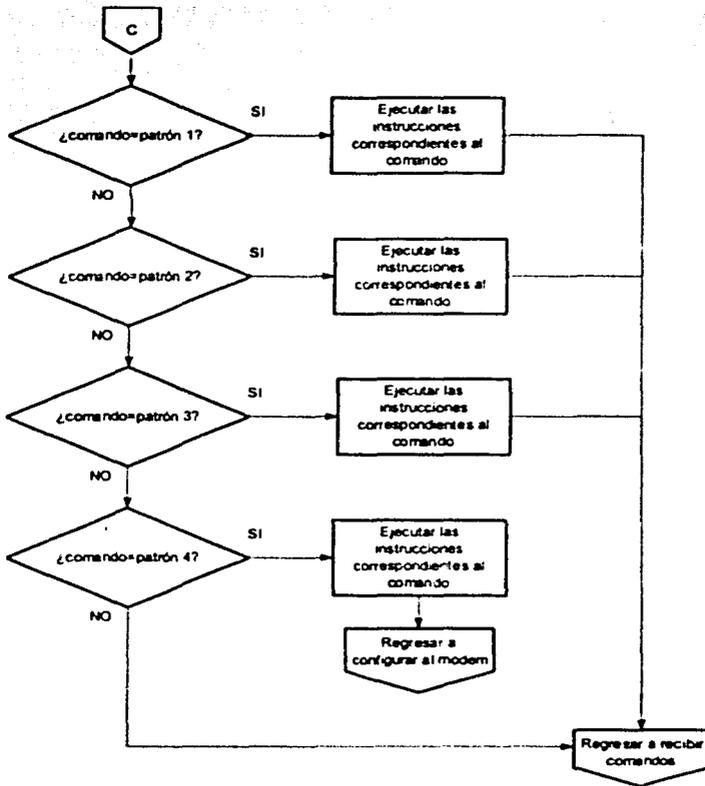


Figura 6.3 Diagrama de flujo de la etapa identificación y ejecución de comandos del programa del multiplexor.

VII. Comentarios y conclusiones

En el presente trabajo se describe la instrumentación sísmica del puente vehicular La Impulsora y durante la misma se tuvo la oportunidad de poner en práctica gran parte de los conocimientos aprendidos durante la carrera y también se aprendieron muchos conceptos en las áreas de instrumentación electrónica, comunicaciones, programación, y microprocesadores, entre otras.

Como resultado de esta instrumentación, se cuenta con un sistema formado por deformímetros, transductores de desplazamiento y acelerómetros que puede ser interrogado remotamente gracias al multiplexor. La información de las galgas extensiométricas y de los transductores de desplazamiento, es adquirida a través de un conversor analógico digital de 16 bits; con base en esto, podemos decir que la resolución mínima del sistema para el caso de los esfuerzos en las varillas es de 0.6 micro Strains, y el valor máximo es de 0.038 Strains, lo cual es un rango suficientemente grande para esta variable. En el caso de los transductores de desplazamiento, la lectura mínima que podemos obtener es de 0.01 mm; en un rango de +/- 15 cm. A diferencia de las variables anteriores, para el caso de la aceleración, se cuenta con un conversor de 19 bits, para un rango de 2g, de manera que cada cuenta del convertidor equivale a 7.4 mili gals. En caso de que ocurriera una falla en el suministro de energía eléctrica, el sistema podría seguir trabajando de manera autónoma; en el caso del K2, el sistema registraría las variables de aceleración durante 34 horas más, mientras que el CR9000, sería autónomo durante 15 horas únicamente, tomando en cuenta el respaldo proporcionado por el no-break.

El sistema ha operado desde finales de 1998, y desde entonces se han registrado varios sismos, los primeros eventos registrados sirvieron para evaluar la operación de los instrumentos y asimismo calibrar los umbrales de disparo de los acelerómetros, para evitar que el ruido ambiental disparase constantemente al

sistema, debido a que en ocasiones se han alcanzado hasta 20 gal en la trabe central.

Las señales de desplazamiento y aceleración se reciben con niveles bajos de ruido y los resultados muestran las oscilaciones de las trabes durante la ocurrencia de un sismo; sin embargo, en el caso de los deformímetros, observamos que las señales provenientes de los strain gauges instalados en las columnas tienen mucho ruido, que se debe principalmente a que existe un tablero de conexiones intermedio, en un costado de las columnas instrumentadas, el ruido se hubiera visto disminuido de manera considerable si se hubieran empleado cables directamente desde los strain gauges dentro de las columnas hasta la caseta de registro, lo cual, debido a que se colocaron durante el colado, no fue posible realizar, por lo anterior, las señales de los deformímetros son filtradas utilizando filtros digitales.

Tomando en cuenta el hecho de que el CENAPRED se localiza en la parte sur de la ciudad, mientras que el puente lo está en la parte norte, el desarrollo del sistema multiplexor representa una gran ayuda para la revisión de los equipos y obtención de la información almacenada en los adquisidores. Diariamente se realiza una revisión de la instrumentación en la que se verifica la correcta operación de los equipos, el voltaje de baterías, la memoria disponible, eventos registrados, etc. En el caso de que se haya registrado algún evento se realiza la extracción de los datos para su procesamiento y análisis posterior.

La instrumentación desarrollada durante el presente trabajo es la primera en su tipo que se hace en México y los resultados están generando valiosa información sobre el comportamiento tanto de puentes como de estructuras con una cimentación de tipo mixto, estos resultados serán de gran utilidad para el diseño de puentes y otras estructuras sismorresistentes.

Apéndice A

Especificaciones y características técnicas de los sensores y equipos

- A1. Especificaciones técnicas del registrador K2 de kinematics**
- A2. Especificaciones técnicas del registrador CR9000**
- A3. Valores de calibración de los transductores de desplazamiento**
- A4. Especificaciones técnicas de las celdas de deformación**
- A5. Datos de calibración de los acelerómetros**

A1. Especificaciones técnicas del acelerógrafo K2 de Kinematics

Sensor

Tipo: Acelerómetro triaxial tipo force balance
Rango: 2 g (g = aceleración de la gravedad terrestre).
Frecuencia natural: 50 Hz
Amortiguamiento: 70%

Sistema de Adquisición

Resolución: 19 bits
Número de canales: 3 + 1 auxiliar
Rango dinámico: > 110 dB
Muestreo: 100, 200, 250 mps

Sistema de Disparo

Algoritmo: Filtro paso - banda FIR con ancho de banda de 0.1 Hz a 12.5 Hz
Umbral: Seleccionable desde 0.01% a 100% de la escala completa
Fuente: Interna (canales 1,2,3 ó 4), externa y teclado
Preevento: 60 segundos, seleccionable
Postevento: seleccionable de 0 a 65000 segundos

Sistema de Almacenamiento

Tipo: Una tarjeta tipo PCMCIA - II de 5 Mbytes (+ 1 adicional)
Capacidad: 40 minutos utilizando palabras de 24 bits para una tarjeta de 5 Mbytes
Formato: Archivos en sistema DOS

Tiempo

Reloj interno, GPS opcional

Alimentación

Entrada: Nominal de 24 VDC con cargador externo
Cargador: 100-250 VAC 50/60 Hz
Externa: 12 VDC
Batería interna: 12 VDC, 12 Ah
Consumo: 350 mA @ 12 VDC
Autonomía: 30 horas con batería interna

Interfaz con usuario

Software de interrogación Quicktalk para Microsoft Windows

Software de graficación Quicklook para Microsoft Windows

Programas de conversión a ASCII

A2. Especificaciones técnicas del adquirente CR9000 de Campbell

The following specifications are valid for a temperature range of -25° to +50° C, unless otherwise specified.

ANALOG INPUTS

(9050 Analog Input Module)

INPUT CHANNELS PER MODULE: 14 differential or 28 single-ended.

RANGE AND RESOLUTION:

Input Range (mV)	Resolution (1 A/D count) (μ V)	Input Noise (μ V RMS)	Sample Rates (kHz)
\pm 5000	158.0	90	100
\pm 1000	32.0	30	100
\pm 200	6.3	7	50
\pm 50	1.6	4	50

Note: Measurement averaging provides lower noise and higher resolution.

ACCURACY OF VOLTAGE

MEASUREMENTS:

(Excluding noise)

Single-Ended & Differential

\pm 0.07% of reading + 4 A/D counts

Dual Differential (two measurements with input polarity reversed).

\pm 0.07% of reading + 4 A/D counts

DC COMMON MODE REJECTION: 120 dB

INPUT RESISTANCE: 2.5 gigaohms typical

RESISTANCE AND CONDUCTIVITY MEASUREMENTS

ACCURACY: 0.04% of reading + 2 A/D counts

limited by accuracy of external bridge resistors

MEASUREMENT TYPES: 6-wire and 4-wire full bridge, 4-wire, 3-wire, and 2-wire half bridge

Uses excitation reversal to remove thermal EMF errors.

ANALOG OUTPUTS

(9060 Excitation Module)

ANALOG OUTPUTS PER MODULE: 10 switched, 6 continuous

SWITCHED: Provides excitation for resistance measurements. Only one output can be active at a time.

CONTINUOUS: All outputs can be active simultaneously.

RANGE: \pm 5V

ACCURACY: \pm 0.08% of output \pm 4 mV

RESOLUTION: 12-bit D/A (2.4 mV)

OUTPUT CURRENT: \pm 50 mA

DIGITAL CONTROL OUTPUTS

(9060 Excitation module)

CONTROL CHANNELS PER MODULE: 8

OUTPUT VOLTAGES (no load):

High: 5.0 volts \pm 1 volt

Low: \pm 0.1 volt

OUTPUT RESISTANCE: 100 ohms

TRANSIENT PROTECTION

All analog and digital inputs and outputs use gas tubes and transient filters to protect against high-voltage transients. Digital I/Os also have over voltage protection clamping.

CPU MODULE

(9031 CPU module)

PROCESSORS: Main CPU is 32bit Inmos T805

Transputer with on-chip floating point unit. 30

MPS (peak) instruction rate. 4.3 MFLOP (peak)

instruction rate. Measurements timing and setup

done by hardware task sequencer with DMA type transfer to Transputer memory.

MEMORY: 2 MB Flash EEPROM, 2 MB Static

RAM

COMMUNICATIONS INTERFACE

TL925 SERIAL LINK. The TL925 CR9000 to Computer Interface converts RS232 signals from the computer into a transputer link for the CR9000. The TLINK cable can be up to 30 meters long.

PERIPHERIAL & MEMORY MODULE

(9080 Peripheral & Memory Module)

PCMCIA CARD INTERFACE: Accepts two type I/II cards or one Type III card

SERIAL I/O: Allows serial communications with CSI peripherals at up to 115,200 baud

SYSTEM POWER REQUIREMENTS

(9011 Power Supply Module)

VOLTAGE: 9.6 to 18 VDC

TYPICAL CURRENT DRAIN: Base system with

no modules is 500 mA active, 300 mA standby

Modules use from 25 mA (9050) to 300 mA

(9080) each. Power supply module can place the

system in standby mode by shutting off power to the rest of the modules.

DC CHARGING: 9.6 TO 18 VDC input charges

internal batteries at up to 2 A rate. Charging

circuit includes temperature compensation

INTERNAL BATTERIES: Sealed rechargeable with 14 Ahr capacity per charge.

EXTERNAL BATTERIES: External 12 V batteries can be connected.

PHYSICAL SPECIFICATIONS

SIZE: ENC 9L: 15.75" x 9.75" W x 8" D (40 x 24.8 x 20.3 cm)

ENC 9F: 18"L x 13.5"W x 9"D
(45.7 x 34.3 x 22.9 cm)

WEIGHT: ENC 9 L: 22 lbs (includes 6 modules) (10.0kg)

ENC 9 F: 34 LBS (includes 6 modules) (14.8kg)

Replacement Batteries: 6.4 lbs (2.9 kg)

Additional Modules: 1 lb each (0.5 kg)

WARRANTY

Three years against defects in materials and workmanship

A3. Valores de calibración de los transductores de desplazamiento

11/22/96

PICKERING CONTROLS INC.
MODEL # 7312-V2-A0

S/N 0090

Disp (Inch)	Vout
Null	-0.00046
0.500	-0.29298
1.000	-0.59986
1.500	-0.89201
2.000	-1.19449
2.500	-1.49933
3.000	-1.7757
3.500	-2.0594
4.000	-2.3502
4.500	-2.6365
5.000	-2.9332

Linearity = -0.500 %
Slope = -0.29310
Intercept = -0.01467

PICKERING CONTROLS INC.
MODEL # 7312-V2-A0

S/N 0091

Disp (Inch)	Vout
Null	-0.00001
0.500	-0.28947
1.000	-0.58826
1.500	-0.86797
2.000	-1.14799
2.500	-1.44420
3.000	-1.72330
3.500	-2.00870
4.000	-2.29170
4.500	-2.56930
5.000	-2.84200

Linearity = -0.396 %
-0.28404
Intercept = -0.01421

11/22/96

PICKERING CONTROLS INC.
MODEL # 7312-V2-A0

S/N 0092

Disp (Inch)	Vout
Null	-0.00012
0.500	-0.27155
1.000	-0.55807
1.500	-0.83407
2.000	-1.12039
2.500	-1.40700
3.000	-1.68240
3.500	-1.96840
4.000	-2.26090
4.500	-2.54920
5.000	-2.84610

Linearity = -0.440 %
Slope = -0.28463
Intercept = -0.01423

PICKERING CONTROLS INC.
MODEL # 7312-V2-A0

S/N 0093

Disp (Inch)	Vout
Null	-0.00006
0.500	-0.24259
1.000	-0.50648
1.500	-0.75736
2.000	-1.01238
2.500	-1.27834
3.000	-1.52470
3.500	-1.78060
4.000	-2.04760
4.500	-2.29900
5.000	-2.55240

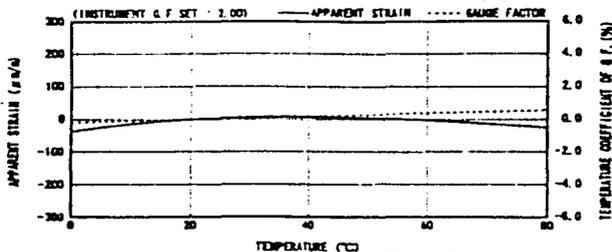
Linearity = -0.245 %
Slope = -0.25691
Intercept = -0.01276

A4. Especificaciones técnicas de los deformímetros

TML STRAIN GAUGE TEST DATA

GAUGE TYPE : FLA-2-350-11 TESTED ON : SS 400
 COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION : 11.8 $\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
 LOT NO. : 146511 TEMPERATURE COEFFICIENT OF G.F. : $+0.1 \pm 0.05 \%/10^{\circ}\text{C}$
 GAUGE FACTOR : 2.03 $\pm 1\%$ DATA NO. : A0062
 ADHESIVE : P-2

THERMAL OUTPUT (ϵ_{app} : APPARENT STRAIN)
 $\epsilon_{\text{app}} = -3.80 \times 10^{-4} + 2.65 \times 10^{-4} T + 4.63 \times 10^{-4} T^2 + 1.88 \times 10^{-4} T^3 - 2.16 \times 10^{-4} T^4$ ($\mu\text{m/m}$)
 TOLERANCE : ± 0.85 ($\mu\text{m/m}/^{\circ}\text{C}$) : T : TEMPERATURE



TYPE FLA-2-350-11		TEST CONDITION	SPC 300/300
LOT NO. 146511	GAUGE LENGTH	GAUGE FACTOR	
	2 mm	2.03	$\pm 1\%$
GAUGE RESISTANCE	JIS0 ± 1.0	TEMP. COMPENSATION FOR	11 $\times 10^{-4}\%$
QUANTITY	10	TRANSVERSE SENSITIVITY	-0.1 %

リード線 1m 当たりの往復の抵抗値
 Total Resistance per Meter of Lead Wires

〒146 東京都品川区南大井 6-8-2
 TEL. 03-3783-9811
 FAX 03-3783-8128

品名 (直径/心径) Lead wire (diameter / number of wires)	銅線径 (mm) copper wire (mm)	銅線径 (mm) copper wire (mm)	0.12/7	0.12/10	0.18/12	0.18/20
リード線の往復の抵抗値 Resistance of each meter of lead wires	$\phi 0.14$	$\phi 0.18$	0.06 mm^2	0.11 mm^2	0.3 mm^2	0.5 mm^2
1m 当たりの往復の抵抗値 Total resistance per meter	2.5 Ω/m	1.5 Ω/m	0.44 Ω/m	0.32 Ω/m	0.12 Ω/m	0.07 Ω/m

HANDLING METHOD OF TML STRAIN GAUGES

Basic Bonding Procedures

- Select substrate**
Select an adhesive most suitable for lead attachments.
- Surface treatment**
Remove grease, rust, paint, etc. from the bonding surface of a specimen. Slightly polish with an abrasive paper of #320 - 180 (#240 - 320 for stainless steel) with alumina, etc. and check gauge installation position.
- Gauge installation**
Refer to the operation manual of adhesive.
- Adhesive curing**
Refer to the operation manual of adhesive.
- Gauge installation check**
Check gauge resistance and insulation resistance.
- Lead wire attachment**
Solder lead wires to the strain gauges through connecting terminals.
If necessary, apply waterproof coating.

Influence of Lead Wires on Measured Values

- Influence of temperature variation of lead wires (2-wire system is independent of temperature.)

$$\epsilon = \frac{R_1 - R_2}{R_1 + R_2} \times \frac{\Delta T}{T} \quad \text{[Equation 1]}$$
 where
 ϵ : thermal output of lead wires
 R_1 : total resistance per meter of lead wires (1 m)
 R_2 : length of lead wires (m)
 α : temperature coefficient of resistance of lead wires (copper wire = $18 \times 10^{-4}/^{\circ}\text{C}$)
 ΔT : temperature variation
 R : gauge factor
 R : gauge resistance
- Gauge Factor Correction due to Lead Wire Attachment in case of 2-wire system

$$K_0 = \frac{R}{R + L} \times K \quad \text{[Equation 2]}$$
 In case of 3-wire system

$$K_0 = \frac{R}{R + \frac{L}{2}} \times K \quad \text{[Equation 3]}$$
 where
 K_0 : corrected gauge factor

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

8-1, Minami-On 8-Chome
 Shingongi-ku Tokyo 116

TML STRAIN GAUGE TEST DATA

TYPE FLA-2-350-11
 LOT NO. 146511
 GAUGE LENGTH 2MM
 GAUGE RESISTANCE $350 \pm 1.0 \Omega$
 QUANTITY 10

TEST CONDITION 23° 50% RH
 BATCH NO. UD12K
 GAUGE FACTOR $2.03 \pm 1\%$
 TEMP. COMPENSATION FOR $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
 TRANSVERSE SENSITIVITY -0.1%

GAUGE TYPE : FLA-2-350-11
 LOT NO. : 146511
 GAUGE FACTOR : $2.03 \pm 1\%$
 ADHESIVE : P-2

TESTED ON : SS 400
 COEFFICIENT OF THERMAL EXPANSION : $11.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
 TEMPERATURE COEFFICIENT OF G.F. : $+0.1 \pm 0.05\%/10^{\circ}\text{C}$
 DATA NO. : A0062

THERMAL OUTPUT (ϵ_{app} : APPARENT STRAIN)
 $\epsilon_{\text{app}} = -3.60 \times 10^{-1} + 2.65 \times 10^{-1} T - 4.63 \times 10^{-2} T^2 + 1.88 \times 10^{-4} T^3 - 2.16 \times 10^{-8} T^4$ ($\mu\text{m}/\text{m}$)
 TOLERANCE: ± 0.85 ($\mu\text{m}/\text{m}/^{\circ}\text{C}$), T: TEMPERATURE

TOTAL RESISTANCE PER METER OF LEAD WIRES

Lead wires (diameter/number of cores	polyimide	polyimide	0.12/7	0.12/10	0.18/12	0.18/20
Diameter or cross sectional area of lead wires	$\phi 0.14$	$\phi 0.18$	0.08 mm^2	0.11 mm^2	0.3 mm^2	0.5 mm^2
Total resistance per meter	2.5 Ω/m	1.5 Ω/m	0.44 Ω/m	0.32 Ω/m	0.12 Ω/m	0.07 Ω/m

HANDLING METHOD OF TML STRAIN GAUGES

1. **Select adhesive**
 Selected an adhesive most suitable fo test conditions.
2. **Surface treatment**
 Remove grease, rust, paint, etc. from the bonding surface of a specimen, lightly polish with an abrasive paper of #120-180 (#240-320 for aluminium), wipe with acetone, etc. and mark gauge installation position.
3. **Gauge installation**
 Refer to the operation manual of adhesive
4. **Adhesive curing**
 Refer to the operation manual of adhesive
5. **Gauge installation check**
 Check gauge resistance and insulation resistance.
6. **Lead wire attachment**
 Solder lead wires to the strain gauges through connecting terminals.
 If necessary, apply waterproof coating

INFLUENCE OF LEAD WIRES ON MEASURED VALUES

- Influence of temperature variation of lead wires (3-wires system is independent of temperature.)

$$eI = \frac{r \cdot L \cdot \alpha \cdot \Delta T}{K(R + r \cdot L)}$$

- where
- eI = thermal output of lead wires
 - r = total resistance per meter of lead wires (Ω/m)
 - L = length of lead wires (m)
 - α = temperature coefficient of resistance of lead wires (cooper wire= $3.9 \times 10^{-3}/^{\circ}C$)
 - ΔT = temperature variation
 - K = gauge factor
 - R = gauge resistance

- Gauge Factor Correction due to Lead Wire Attachment

In case of 2 wire system

$$K_0 = \frac{R}{R + r \cdot L} \cdot K$$

In case of 3 wire system

$$K_0 = \frac{R}{R + \frac{rL}{2}} \cdot K$$

where R = gauge resistance

A5. Datos de calibración de los acelerómetros

ACCELEROMETER CALIBRATION DATA

Model # FBA-23 Axis L
 Used in _____ Serial _____ Accel Serial 42249
 R_c 802 Ω R_f 3.09k Ω R_o 1.13k Ω R_h 5.23k Ω

Output:

+ .000 @ OG, - .626 @ + 1/4 F.S., -1.259 @ + 1/2 F.S.
+ .001 @ OG, + .630 @ - 1/4 F.S., +1.262 @ - 1/2 F.S.

Full Scale (F.S.) Range 2.5v = 2 G
 Natural Frequency 51.3 Hz Cal Voltage +1.25v
 Damping .66 per unit critical ISO. GND YES
 Noise .001 Vpp Cross Axis <.01 G/G
 Data Taken by A.P Date 9-4-96

(m:\admin\umaneAT&C Card)

ACCELEROMETER CALIBRATION DATA

Model # FBA-23 Axis V
 Used in _____ Serial _____ Accel Serial 42250
 R_c 802 Ω R_f 2.87k Ω R_o 1.15k Ω R_h 5.62k Ω

Output:

- .001 @ OG, + .617 @ + 1/4 F.S., +1.242 @ + 1/2 F.S.
- .001 @ OG, + .622 @ - 1/4 F.S., +1.247 @ - 1/2 F.S.

Full Scale (F.S.) Range 2.5v = 2 G
 Natural Frequency 51.0 Hz Cal Voltage +1.25v
 Damping .64 per unit critical ISO. GND YES
 Noise .001 Vpp Cross Axis <.01 G/G
 Data Taken by A.P Date 9-4-96

(m:\admin\umaneAT&C Card)

ACCELEROMETER CALIBRATION DATA

Model # FBA-23 Axis I
 Used in _____ Serial _____ Accel Serial 42251
 R_c 804 Ω R_f 2.10k Ω R_o 1.21k Ω R_h 8.45k Ω

Output:

- .001 @ OG, - .623 @ + 1/4 F.S., -1.251 @ + 1/2 F.S.
+ .001 @ OG, + .625 @ - 1/4 F.S., +1.248 @ - 1/2 F.S.

Full Scale (F.S.) Range 2.5v = 2 G
 Natural Frequency 50.4 Hz Cal Voltage +1.25v
 Damping .66 per unit critical ISO. GND YES
 Noise .001 Vpp Cross Axis <.01 G/G
 Data Taken by A.P Date 9-4-96

(m:\admin\umaneAT&C Card)

ACCELEROMETER CALIBRATION DATA

Model # FBA-23 Axis L
 Used in _____ Serial _____ Accel Serial 42252
 R_c 804 \Omega R_f 2.00 k\Omega R_o 1.24 k\Omega R_h 5.62 k\Omega

Output:
-0.001 @ OG, -0.622 @ + 1/4 F.S., -1.250 @ + 1/2 F.S.
-0.000 @ OG, +0.625 @ - 1/4 F.S., +1.255 @ - 1/2 F.S.

Full Scale (F.S.) Range 2.5v = 2 G
 Natural Frequency 50.0 Hz Cal Voltage +1.25v
 Damping .65 per unit critical ISO. GND YES
 Noise .001 Vpp Cross Axis <.01 G/G
 Data Taken by AP Date 9-4-96

(m:\admin\lmore\AT&C Card)

ACCELEROMETER CALIBRATION DATA

Model # FBA-23 Axis V
 Used in _____ Serial _____ Accel Serial 42253
 R_c 804 \Omega R_f 1.78 k\Omega R_o 1.24 k\Omega R_h 5.11 k\Omega

Output:
-0.001 @ OG, +0.623 @ + 1/4 F.S., +1.254 @ + 1/2 F.S.
-0.001 @ OG, +0.623 @ - 1/4 F.S., +1.254 @ - 1/2 F.S.

Full Scale (F.S.) Range 2.5v = 2 G
 Natural Frequency 50.1 Hz Cal Voltage +1.25v
 Damping .66 per unit critical ISO. GND YES
 Noise .001 Vpp Cross Axis <.01 G/G
 Data Taken by AP Date 9-4-96

(m:\admin\lmore\AT&C Card)

ACCELEROMETER CALIBRATION DATA

Model # FBA-23 Axis I
 Used in _____ Serial _____ Accel Serial 42254
 R_c 804 \Omega R_f 1.10 k\Omega R_o 1.24 k\Omega R_h 9.31 k\Omega

Output:
-0.000 @ OG, -0.623 @ + 1/4 F.S., -1.250 @ + 1/2 F.S.
+0.000 @ OG, +0.621 @ - 1/4 F.S., +1.255 @ - 1/2 F.S.

Full Scale (F.S.) Range 2.5v = 2 G
 Natural Frequency 50.1 Hz Cal Voltage +1.25v
 Damping .66 per unit critical ISO. GND YES
 Noise .001 Vpp Cross Axis <.01 G/G
 Data Taken by AP Date 9-4-96

(m:\admin\lmore\AT&C Card)

Apéndice B

Calibración y respuesta de los sensores

B1. Caracterización de medidores de desplazamiento

B2. Pruebas de operación de los acelerómetros

Calibración y respuesta de los sensores

B.1 Caracterización de medidores de desplazamiento

Se cuenta con cuatro medidores de desplazamiento modelo 7312-V2-AO fabricados por *Pickering Controls Inc.*, con un rango de hasta 30 cm. Las siguientes tablas presentan la respuesta del instrumento a un desplazamiento dado en centímetros, sin embargo, en el cálculo de las ecuaciones de cada sensor, se utilizó el voltaje como X y el desplazamiento como Y, ya que en la práctica, se tendrán valores de voltaje, y a partir de ellos se calculará el desplazamiento.

Calibración del LVDT con número de serie 0090

Desplazamiento [cm]	Voltaje [V]
0.00	-0.005
-1.00	-0.179
-2.00	-0.362
-3.00	-0.545
-4.00	-0.731
-5.01	-0.915
-6.00	-1.094
-7.02	-1.279
-8.00	-1.459
-9.00	-1.641
-10.00	-1.821
-11.00	-2.004
-12.00	-2.188

linealidad $r = 0.9999$
pendiente $a = 0.005488$
ordenada $b = 0.0000$

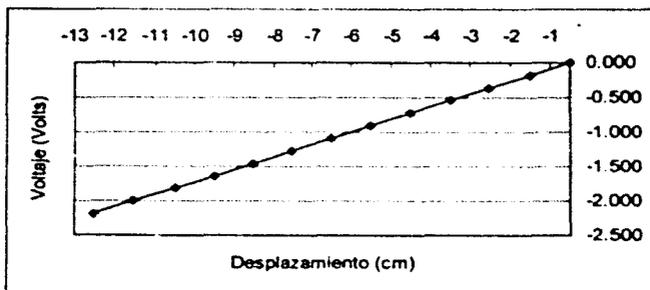


Fig B.1. Caracterización del LVDT N/S 0090

Calibración del LVDT con número de serie 0091

Desplazamiento [cm]	Voltaje [V]
0.0000	-0.002
-1.00	-0.181
-2.00	-0.362
-3.00	-0.545
-4.00	-0.728
-5.00	-0.905
-6.00	-1.087
-7.00	-1.269
-8.02	-1.454
-9.00	-1.631
-10.00	-1.812
-11.01	-1.995
-12.08	-2.173

linealidad $r = 1$
pendiente $a = 0.005525$
ordenada $b = 0.0070$

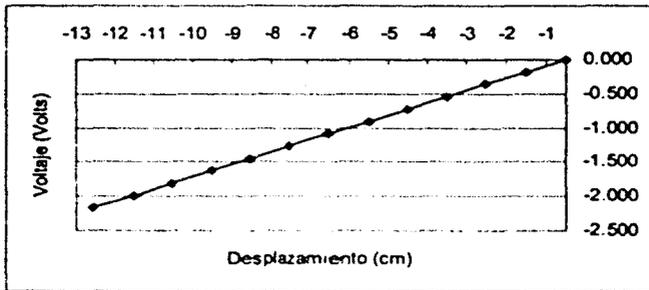


Fig. B2. Caracterización del LVDT N/S 0091

Calibración del LVDT con número de serie 0092

Desplazamiento [cm]	Voltaje [V]
0.0000	-0.005
-1.0002	-0.166
-2.0053	-0.337
-3.0014	-0.504
-4.0003	-0.682
-5.0335	-0.860
-6.0031	-1.029
-7.0127	-1.1976
-8.0540	-1.3759
-9.0041	-1.5380
-10.0011	-1.7091
-11.0324	-1.8857
-12.0030	-2.0510

linealidad $r = 0.9998$
pendiente $a = 0.005840$
ordenada $b = -0.0173$

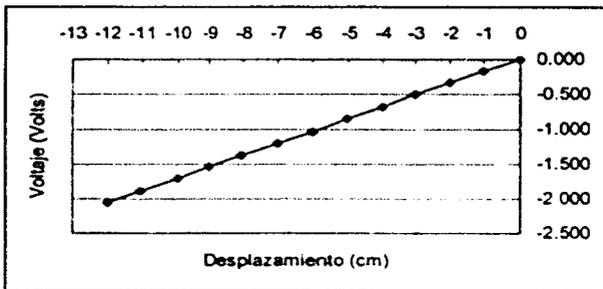


Fig. B3. Caracterización del LVDT N/S 0092

Calibración del LVDT con número de serie 0093

Desplazamiento [cm]	Voltaje [V]
0.0000	-0.006
-1.0134	-0.157
-2.0562	-0.324
-3.0043	-0.474
-4.0182	-0.645
-5.0144	-0.801
-6.0120	-0.969
-7.0274	-1.1265
-8.0212	-1.2861
-9.0106	-1.4450
-10.0266	-1.6072
-11.0028	-1.7646
-12.0330	-1.9305

linealidad $r = 0.9999$
pendiente $a = 0.006223$
ordenada $b = -0.0161$

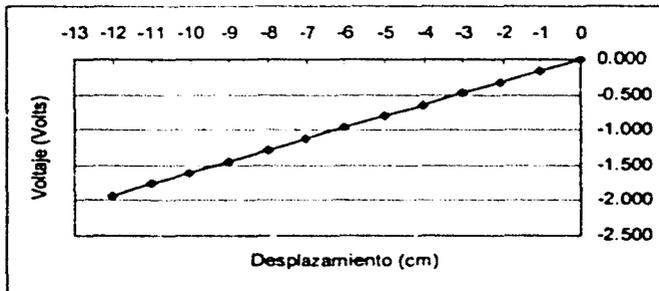


Fig. B4. Caracterización del LVDT N/S 0093

B2 Pruebas de operación de los acelerómetros.

A continuación se presentan los resultados de las calibraciones realizadas a los acelerómetros N/S 42249 al 42254.

Se realizaron pruebas de inclinación a -90° , -30° , 0° , $+30^\circ$ y $+90^\circ$, para los canales 1 y 3; dando por resultado voltajes de +1.25, +0.625, 0, -0.625 y -1.25. El rango total de los sensores es de ± 2.5 volts, y el rango de los acelerómetros de $\pm 2G$. La conversión de volts a gals está dada por la siguiente ecuación:

$$gal = -V \frac{981 * 2}{2.5}$$

donde V es voltaje de salida del acelerómetro

Para el canal 2 (Vertical) únicamente se verificó la inclinación a -1 G, obteniéndose un voltaje de 2.5 volts, el máximo de la escala. las figuras muestran los resultados correspondientes.

Las pruebas de polaridad se efectuaron realizando un movimiento en la dirección positiva y después en la negativa del sensor, produciéndose inicialmente, en la salida del mismo, un voltaje negativo y posteriormente uno positivo, como se ve en las gráficas respectivas, de ahí el signo negativo en la conversión.

Las especificaciones de los acelerómetros se presentan en la siguiente tabla:

N/S	42249 C1	42250 C2	42251 C3	42252 C1	42253 C2	42254 C3
100% F.S en G	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G	2 G
50% F.S. en G	1G	1G	1G	1G	1G	1G
25% F.S. en G	1/2G	1/2G	1/2G	1/2G	1/2G	1/2G
Frecuencia Natural(Hz)	51.3	51.0	50.4	50.0	50.1	50.1
Amortiguamiento	0.66	0.64	0.66	0.65	0.66	0.66

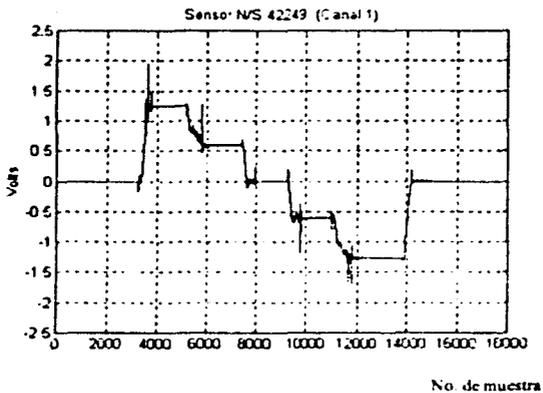


Fig. B5. Respuesta del sensor N/S 42249 a inclinaciones de -90° , -30° , 0° , $+30^{\circ}$, y $+90^{\circ}$.

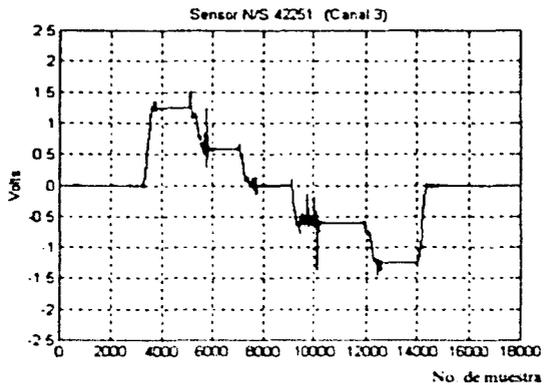


Fig. B6. Respuesta del sensor N/S 42251 a inclinaciones de -90° , -30° , 0° , $+30^{\circ}$, y $+90^{\circ}$.

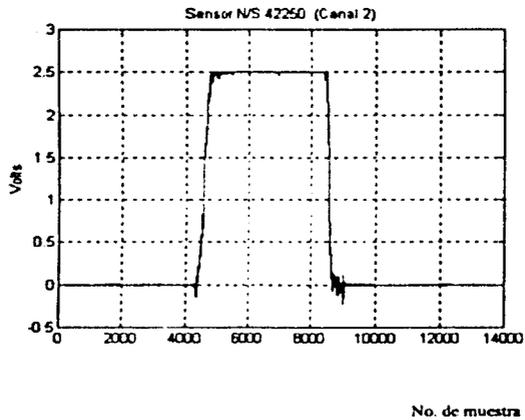


Fig. B7. Respuesta del sensor N/S 422450 a una inclinación de 180° .

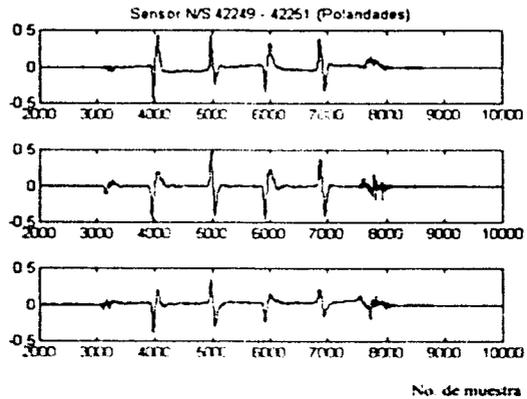


Fig. B8. Pruebas de polandad de los sensores 42249, 42250 y 42251.

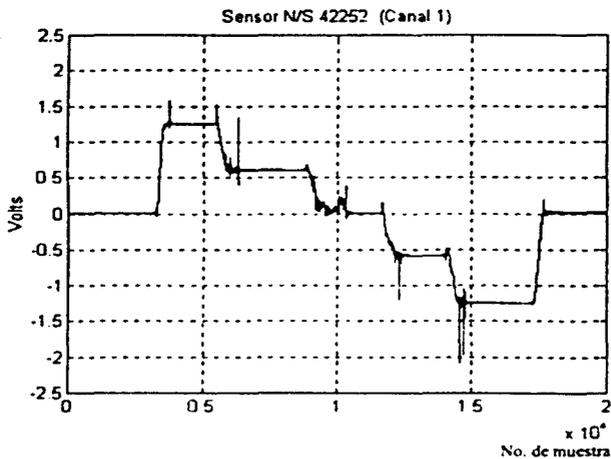


Fig. B9. Respuesta del sensor N/S 42252 a inclinaciones de -90° , -30° , 0° , $+30^\circ$, y $+90^\circ$.

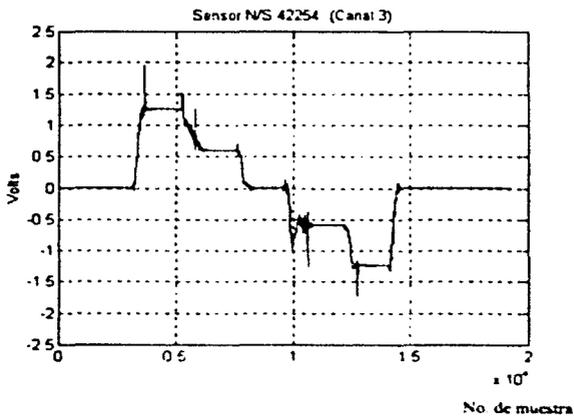


Fig. B10. Respuesta del sensor N/S 42254 a inclinaciones de -90° , -30° , 0° , $+30^\circ$, y $+90^\circ$.

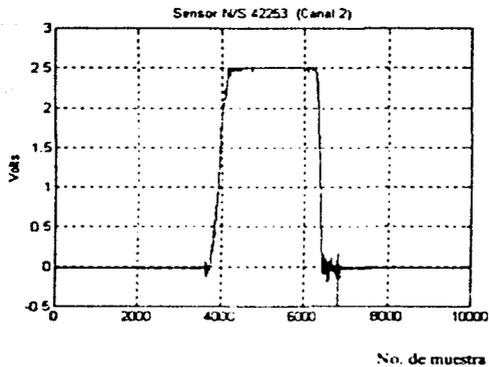


Fig. B11. Respuesta del sensor N/S 422451 a una inclinación de 180° .

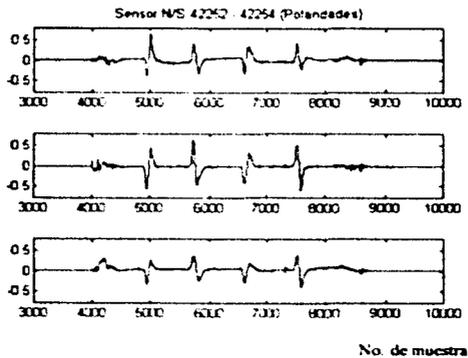


Fig. B12. Pruebas de polandad de los sensores 42252, 42253 y 42254.

Apéndice C

Programa fuente del adquisidor CR9000.

CR9000 DATALOGGER PROGRAM (C:\PC9000\IMPULSOR.DLD)

. Program name: Impulsor.DLD
. Written by: Joc
. I.D. number: puente
. Date written: 03-07-2001
. Time written: 19:05:14
. PC9000 Version: 3.20

'This program was generated using Campbell Scientific's PC9000
'program generator for the Logger Measurement & Control System.

.
. Logger CONFIGURATION
. Slot 1 = 9011 Slot 5 = 9050 Slot 9 = 9060
. Slot 2 = 9031 Slot 6 = 9050 Slot 10 = 9060
. Slot 3 = 9041 Slot 7 = 9050 Slot 11 = 9060
. Slot 4 = 9080 Slot 8 = 9050 Slot 12 = 9060

'/////////////////////////////////////////////////////////////////// TIMING CONSTANTS //////////////////////////////////////

Const PERIOD = 20 'Scan interval number
Const P_UNITS = 1 'Scan interval units (mSecs)

Const INTERVAL1 = 20 'Table 1 interval number
Const UNITS1 = 1 'Table 1 interval units (mSecs)

Const INTERVAL2 = 20 'Table 2 interval number
Const UNITS2 = 1 'Table 2 interval units (mSecs)

'/////////////////////////////////////////////////////////////////// BRIDGE CONSTANTS //////////////////////////////////////

. Bridge Block1
Const BRNG1 = 0 'Block1 measurement range (5000 mV)
Const BREP1 = 5 'Block1 repetitions
Const BEXCIT1 = 5000 'Block1 excitation mVolts
Const BSETL1 = 30 'Block1 settling time (usecs)
Const BINT1 = 40 'Block1 integration time (usecs)
Const RMULT1 = 5 'Block1 default multiplier
Const BOSET1 = 0 'Block1 default offset
Dim BB1k1(BREP1) 'Block1 dimensioned source
Dim OBB1k1(BREP1) 'Block1 dimensioned offset
Dim BB1k1ZeroMv(BREP1) 'Block1 zero mV variable
Units BB1k1ZeroMv = mVperV 'Block1 default units (mVperV)
Units BB1k1 = cm 'Block1 default units (cm)

. Bridge Block2
Const BRNG2 = 17 'Block2 measurement range (50 mV)
Const BREP2 = 8 'Block2 repetitions
Const BEXCIT2 = 5000 'Block2 excitation mVolts
Const BSETL2 = 30 'Block2 settling time (usecs)
Const BINT2 = 40 'Block2 integration time (usecs)
Const BGF2 = -2 'Block2 gauge factor
Const BCODE2 = 1 'Block2 gauge code for 1/4 bridge strain
Const RMULT2 = 1 'Block2 default multiplier
Const BOSET2 = 0 'Block2 default offset
Dim BB1k2(BREP2) 'Block2 dimensioned source
Dim GBB1k2(BREP2) 'Block2 dimensioned gauge factor
Dim BB1k2ZeroMv(BREP2) 'Block2 zero mV variable
Dim BB1k2ZeroUs(BREP2) 'Block2 zero uStrain variable
Units BB1k2ZeroMv = mVperV 'Block2 default units (mVperV)
Units BB1k2ZeroUs = uStrain 'Block2 default units (uStrain)
Units BB1k2 = uStrain 'Block2 default units (uStrain)

. Bridge Block3
Const BRNG3 = 17 'Block3 measurement range (50 mV)
Const BREP3 = 40 'Block3 repetitions

CR9000 DATALOGGER PROGRAM (C:\PC9000\IMPULSOR.DLD)

```

Const BEXCIT3 = 5000      'Block3 excitation mVolts
Const BSETL3 = 30        'Block3 settling time (usecs)
Const BINT3 = 40         'Block3 integration time (usecs)
Const BGF3 = 2           'Block3 gauge factor
Const BCODE3 = 1         'Block3 gauge code for 1/4 bridge strain
Const BMULT3 = 1         'Block3 default multiplier
Const BOSET3 = 0         'Block3 default offset
Dim BBlk3(BREP3)         'Block3 dimensioned source
Dim GBlk3(BREP3)         'Block3 dimensioned gauge factor
Dim BB1k3ZeroMv(BREP3)  'Block3 zero mV variable
Dim BB1k3ZeroUs(BREP3)  'Block3 zero uStrain variable
Units BB1k3ZeroMv = mVperV 'Block3 default units (mVperV)
Units BB1k3ZeroUs = uStrain 'Block3 default units (uStrain)
Units BBlk3 = uStrain    'Block3 default units (uStrain)

```

***** ALIASES & OTHER VARIABLES *****/

```

Alias BBlk1(1) = DLE      'Assign alias name DLE to BBlk1(1)
Alias BBlk1(2) = DLN      'Assign alias name DLN to BBlk1(2)
Alias BBlk1(3) = DLW      'Assign alias name DLW to BBlk1(3)
Alias BBlk1(4) = DTE      'Assign alias name DTE to BBlk1(4)
Alias BBlk1(5) = K2       'Assign alias name K2 to BBlk1(5)
Units K2 = mVolts        'Assign units mVolts to K2
Alias BBlk2(1) = AS1.1C   'Assign alias name AS11C to BBlk2(1)
Alias BBlk2(2) = AS1.2C   'Assign alias name AS12C to BBlk2(2)
Alias BBlk2(3) = AS1.3C   'Assign alias name AS13C to BBlk2(3)
Alias BBlk2(4) = AS1.4C   'Assign alias name AS14C to BBlk2(4)
Alias BBlk2(5) = AS2.1C   'Assign alias name AS21C to BBlk2(5)
Alias BBlk2(6) = AS2.2C   'Assign alias name AS22C to BBlk2(6)
Alias BBlk2(7) = AS2.3C   'Assign alias name AS23C to BBlk2(7)
Alias BBlk2(8) = AS2.4C   'Assign alias name AS24C to BBlk2(8)
Alias BBlk3(1) = AS3.1S   'Assign alias name AS31S to BBlk3(1)
Alias BBlk3(2) = AS3.2S   'Assign alias name AS32S to BBlk3(2)
Alias BBlk3(3) = AS3.3S   'Assign alias name AS33S to BBlk3(3)
Alias BBlk3(4) = AS3.4S   'Assign alias name AS34S to BBlk3(4)
Alias BBlk3(5) = AS4.1S   'Assign alias name AS41S to BBlk3(5)
Alias BBlk3(6) = AS4.2S   'Assign alias name AS42S to BBlk3(6)
Alias BBlk3(7) = AS4.3S   'Assign alias name AS43S to BBlk3(7)
Alias BBlk3(8) = AS4.4S   'Assign alias name AS44S to BBlk3(8)
Alias BBlk3(9) = AS5.1S   'Assign alias name AS51S to BBlk3(9)
Alias BBlk3(10) = AS5.2S  'Assign alias name AS52S to BBlk3(10)
Alias BBlk3(11) = AS5.3S  'Assign alias name AS53S to BBlk3(11)
Alias BBlk3(12) = AS5.4S  'Assign alias name AS54S to BBlk3(12)
Alias BBlk3(13) = CS1.1S  'Assign alias name CS11S to BBlk3(13)
Alias BBlk3(14) = CS1.2S  'Assign alias name CS12S to BBlk3(14)
Alias BBlk3(15) = CS1.3S  'Assign alias name CS13S to BBlk3(15)
Alias BBlk3(16) = CS1.4S  'Assign alias name CS14S to BBlk3(16)
Alias BBlk3(17) = CS2.1S  'Assign alias name CS21S to BBlk3(17)
Alias BBlk3(18) = CS2.2S  'Assign alias name CS22S to BBlk3(18)
Alias BBlk3(19) = CS2.3S  'Assign alias name CS23S to BBlk3(19)
Alias BBlk3(20) = CS2.4S  'Assign alias name CS24S to BBlk3(20)
Alias BBlk3(21) = CS3.1S  'Assign alias name CS31S to BBlk3(21)
Alias BBlk3(22) = CS3.2S  'Assign alias name CS32S to BBlk3(22)
Alias BBlk3(23) = CS3.3S  'Assign alias name CS33S to BBlk3(23)
Alias BBlk3(24) = CS3.4S  'Assign alias name CS34S to BBlk3(24)
Alias BBlk3(25) = CS4.1S  'Assign alias name CS41S to BBlk3(25)
Alias BBlk3(26) = CS4.2S  'Assign alias name CS42S to BBlk3(26)
Alias BBlk3(27) = CS4.3S  'Assign alias name CS43S to BBlk3(27)
Alias BBlk3(28) = CS4.4S  'Assign alias name CS44S to BBlk3(28)
Alias BBlk3(29) = DS1.1S  'Assign alias name DS11S to BBlk3(29)
Alias BBlk3(30) = DS1.2S  'Assign alias name DS12S to BBlk3(30)
Alias BBlk3(31) = DS1.3S  'Assign alias name DS13S to BBlk3(31)
Alias BBlk3(32) = DS1.4S  'Assign alias name DS14S to BBlk3(32)

```

CR9000 DATALOGGER PROGRAM (C:\PC9000\IMPULSOR.DLD)

```

Alias BBlk3(33) = DS2.1S      'Assign alias name DS21S to BBlk3(33)
Alias BBlk3(34) = DS2.2S      'Assign alias name DS22S to BBlk3(34)
Alias BBlk3(35) = DS2.3S      'Assign alias name DS23S to BBlk3(35)
Alias BBlk3(36) = DS2.4S      'Assign alias name DS24S to BBlk3(36)
Alias BBlk3(37) = DS3.1S      'Assign alias name DS31S to BBlk3(37)
Alias BBlk3(38) = DS3.2S      'Assign alias name DS32S to BBlk3(38)
Alias BBlk3(39) = DS3.3S      'Assign alias name DS33S to BBlk3(39)
Alias BBlk3(40) = DS3.4S      'Assign alias name DS34S to BBlk3(40)
Public Flag(8)                'General Purpose Flags
Dim I                          'Declare I as a variable
Dim Count                     'Declare Count as a variable

'////////////////////// OUTPUT SECTION ////////////////////////////////////////

'----- Table 1 -----
DataTable(MAIN,True,500)      'Trigger, auto size
DataInterval(0,INTERVAL1,UNITS:100) '20 mSec interval, 100 lapses, autosize
' PamOut(4,1,0,-1)           'PAM card A, size Auto
'----- Bridge Blocks -----
Sample (BREP1,BBlk1(),FP2)    '5 Reps,Source,Res
Sample (BREP2,BBlk2(),FP2)    '8 Reps,Source,Res
Sample (BREP3,BBlk3(),FP2)    '40 Reps,Source,Res
EndTable

'----- Table 2 -----
DataTable(EVENT,True,-1)     'Trigger, auto size
DataInterval(0,INTERVAL2,UNITS2,1000) '20 mSec interval, 1000 lapses, 11.67 Mins
DataEvent(500,(K2>2000 Or Flag(6)),K2>2000,500)
PamOut(4,1,1,35000)         'PAM card A, size 35000)
'----- Bridge Blocks -----
Sample (BREP1,BBlk1(),FP2)    '5 Reps,Source,Res
Sample (BREP2,BBlk2(),FP2)    '8 Reps,Source,Res
Sample (BREP3,BBlk3(),FP2)    '40 Reps,Source,Res
Flag(6)=0
EndTable

'----- Store zero values from Sub Zero4 -----
DataTable(ZERO_4,Count>99,100) 'Trigger on Count 100
PamOut(4,1,0,1)              'PAM card A, ring, size 1)
Average(BREP1,BBlk1ZeroMv(),IEEE4,False) '5 Reps,Source,Res,Enabled
EndTable

'----- Store zero values from Sub Zero5 -----
DataTable(ZERO_5,Count>99,100) 'Trigger on Count 100
PamOut(4,1,0,1)              'PAM card A, ring, size 1)
Average(BREP2,BBlk2ZeroMv(),IEEE4,False) '8 Reps,Source,Res,Enabled
Average(BREP2,BBlk2ZeroUs(),IEEE4,False) '8 Reps,Source,Res,Enabled
Average(BREP3,BBlk3ZeroMv(),IEEE4,False) '40 Reps,Source,Res,Enabled
Average(BREP3,BBlk3ZeroUs(),IEEE4,False) '40 Reps,Source,Res,Enabled
EndTable

'////////////////////// SUBROUTINES ////////////////////////////////////////

Sub Zero4
Count = 0                    'Begin zero measure routine
Scan(1000,uSec,0,100)        'Set Count to zero
BrPull(BBlk1ZeroMv(),BREP1,BKNG1,5,1,9,1,1,BEXCIT1,False,True,BSETL1,BINT1,BMULT1,0)
Count = Count + 1           'Scan 100 times 0.10 Secs
CallTable ZERO_4            'Increment Count
Next Scan                   'Go up and run Table ZERO_4
For I = 1 To BREP1          'Loop up for the next scan
OBBlk1(1) = ZERO_4.BBlk1ZeroMv_Avg(1,1)*(-0.006223) 'Do this 5 times

```

CR9000 DATALOGGER PROGRAM (C:\PC9000\IMPULSOR.DLD)

```

OBB1k1(2) = ZERO_4.BB1k1ZeroMv_Avg(2,1)*(-0.005525)
OBB1k1(3) = ZERO_4.BB1k1ZeroMv_Avg(3,1)*(-0.005488)
OBB1k1(4) = ZERO_4.BB1k1ZeroMv_Avg(4,1)*(-0.005840)
Next I
Flag(4) = False
End Sub
'End gauge zero measure routine

Sub Zero5
Count = 0
Scan(11800,uSec,0,100)
BrFull(BB1k2ZeroMv(),BREP2,BRNG2,5,6,9,6,1,BEXCIT2,False,True,BSETL2,BINT2,EMULT2,BOSET2)
StrainCalc(BB1k2ZeroUs(1),BREP2,BB1k2ZeroMv(),0,BCODE2,GBB1k2(1),0)
BrFull(BB1k3ZeroMv(),BREP3,BRNG3,5,14,9,7,1,BEXCIT3,False,True,BSETL3,BINT3,EMULT3,BOSET3)
StrainCalc(BB1k3ZeroUs(1),BREP3,BB1k3ZeroMv(),0,BCODE3,GBB1k3(1),0)
Count = Count + 1
CallTable ZERO_5
Next Scan
For I = 1 To BREP2
    BB1k2ZeroMv(I) = ZERO_5.BB1k2ZeroMv_Avg(I,1)
Next I
For I = 1 To BREP3
    BB1k3ZeroMv(I) = ZERO_5.BB1k3ZeroMv_Avg(I,1)
Next I
Flag(5) = False
End Sub
'End gauge zero measure routine

```

//////////////////////////////////// PROGRAM //////////////////////////////////////

```

BeginProg
For I = 1 To BREP1
    OBB1k1(I) = BOSET1
Next I
For I = 1 To BREP2
    GBB1k2(I) = BGF2
Next I
For I = 1 To BREP3
    GBB1k3(I) = BGF3
Next I
Scan(PERIOD,P_UNITS,0,0)
'
' Bridge Blocks
BrFull(BB1k1(),BREP1,BRNG1,5,1,9,1,1,BEXCIT1,False,True,BSETL1,BINT1,EMULT1,OBB1k1())
BB1k1(1)=BB1k1(1)*(-0.006223)-OBB1k1(1)
BB1k1(2)=BB1k1(2)*(-0.005525)-OBB1k1(2)
BB1k1(3)=BB1k1(3)*(-0.005488)-OBB1k1(3)
BB1k1(4)=BB1k1(4)*(-0.005840)-OBB1k1(4)
' Ecuaciones de cada
' transductor de
' desplazamiento
' LVDT, para convertir a cm.

BrFull(BB1k2(),BREP2,BRNG2,5,6,9,6,1,BEXCIT2,False,True,BSETL2,BINT2,EMULT2,BOSET2) 'Stra
StrainCalc(BB1k2(1),BREP2,BB1k2(1),BB1k2ZeroMv(),BCODE2,BGF2,0) 'Strain calculation
BrFull(BB1k3(),BREP3,BRNG3,5,14,9,7,1,BEXCIT3,False,True,BSETL3,BINT3,EMULT3,BOSET3) 'Str
StrainCalc(BB1k3(1),BREP3,BB1k3(1),BB1k3ZeroMv(),BCODE3,BGF3,0) 'Strain calculation
If Flag(4) Then Zero4
If Flag(5) Then Zero5
CallTable MAIN
CallTable EVENT
Next Scan
'Loop up for the next scan

```

//////////////////////////////////// LOW PRIORITY //////////////////////////////////////

```

SlowSequence
Dim TripVolt
Scan(60,Sec,0,0)
Calibrate
BiasComp
'Used for slow measurements
'Dimension TripVolt
'SCAN once every 60 seconds
'Corrects ADC offset and gain
'Corrects ADC bias current

```

CR9000 DATALOGGER PROGRAM (C:\PC9000\IMPULSOR.DLD)

```

'----- Battery Saver -----
Battery(TripVolt,0)      'Battery voltage measurement
AvgRun(TripVolt,1,TripVolt,10) 'Running average (10 mins) of TripVolt
If TripVolt < 11.5 Then  'Test for less than 11.5 volts
    PowerOff(0,0,Min)    'Kill the Logger
End If
'-----
Next Scan                'Loop up for the next scan
EndProg                  'Program ends here
***** Program End *****
```

Glosario

Acelerógrafos Dispositivo que proporciona una medición del cambio de la velocidad de un objeto determinado en función del tiempo

Cantilever. Viga o losa empotrada por un extremo y con el otro extremo en voladizo.

Celda de carga. Dispositivo para medir peso, convierte la fuerza aplicada en una señal eléctrica utilizando para ello strain gauges.

Celdas de presión. Transductor utilizado para medir la presión total en terraplenes, es decir, la presión combinada de esfuerzos y la presión de poro.

Columna oblonga. Columna de sección ovalada.

Galga extensiométrica. Transductor para medir deformaciones que convierte un desplazamiento mecánico en un cambio de resistencia.

PCMCIA. (Personal Computer Memory Card International Association) Asociación de estándares fundada en 1989 para establecer estándares para tarjetas de circuitos integrados y promover el intercambio de datos entre las computadoras, de una manera robusta, con bajo consumo de energía y con un tamaño pequeño.

Piezómetros Sensor para medir la presión de poro. La presión del agua en los poros de un material granular como el suelo reduce la fricción interna y en consecuencia la estabilidad. Esta presión de poro puede ser medida por un dispositivo que separe la presión de líquido de la presión intergranular, este dispositivo recibe el nombre de piezómetro

Strain. Unidad de deformación definida como el cambio de longitud del elemento deformado dividido entre la longitud del elemento sin deformar.

Strain Gauge. Medidor de deformación, galga extensiométrica

Torones. Cables de acero utilizados para tensar las traves de concreto preesforzado

Transductores Dispositivo que tiene la misión de recibir energía de una naturaleza eléctrica, mecánica, acústica, etc., y suministrar otra energía de diferente naturaleza, pero de características dependientes de la que recibió.

Trabe apoyada isostáticamente. Dícese de aquella trabe que sólo tiene componentes ó reacciones verticales en los extremos de la misma, por lo que este tipo de traveses no toman momentos reaccionantes en sus extremos.

Bibliografía

1. G. Aguilar, S.M. Alcocer, *Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Ver.* "La Instrumentación de la subestructura y superestructura del puente vehicular Impulsora", 65-74,(1997).
2. Campbell Scientific Inc., *CR9000 Measurement and Control System*, Instruction Manual (1996).
3. Kinemetric's Inc., *System Interconnection for Seismic Monitoring System K2 and CR9000*. (1996).
4. Kinemetric's Inc. *Altus K2 High Dynamic Range Accelerograph Operations Manual*. (1995).
5. M. Mendoza, M. Romo, L. Domínguez, J.M. Velasco, I. Noriega, "Primera experiencia de Instrumentación Sismogeotécnica en una cimentación de cajón y pilotes de fricción en México", Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz Ver., México pp.75-84, 1997.
6. M. Mendoza, M. Romo, L. Domínguez, M. Orozco, J.M. Velasco, I. Noriega, "Instrumentación y Comportamiento de la Cimentación del apoyo No. 6 del puente Impulsora. Metropolitano Línea B" Reporte I. de I. Cenapred, Enero 1997.
7. M. Ortega, J. Ortiz, R. Quaas, *Instrumentación de la superestructura y subestructura del puente vehicular impulsora. Primeros registros obtenidos*. XIII Congreso Nacional de Instrumentación, Ensenada, B.C., octubre 1998.
8. M. Ortega, J. Ortiz, R. Quaas, "Instrumentación de la estructura del puente vehicular La Impulsora", Coordinación de Instrumentación, Área de Instrumentación Sísmica, reporte técnico, Cenapred, México, Noviembre de 1998.
9. González, R., E. Guevara, R. Quaas, "Sistema de Sincronía y Disparo Remoto para la red de Observación Sísmica del CENAPRED". Memorias del IX Congreso Nacional de Instrumentación, Cancún, Q. R., Sociedad mexicana de Instrumentación, pp 366-369, septiembre 1994
10. Campbell Joe, 1987. Programmers guide to serial communications. SAMS.
11. Kernighan B. Ritchie D., 1986 El lenguaje de programación C. Prentice-Hally Hispanoamericana, S.A. 1991.
12. Motorola semiconductor Master Selection Guide Rev. 6 1993.

13. National Semiconductor, 1989, general purpose linear Devices Databook.
14. National Semiconductor, 1995 CMOS logic Databook.
15. PLOTXY. Manual de usuario.
16. G. Aguilar, S.M. Alcocer, *Memoria del XI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Veracruz, Ver.* "La Instrumentación de la subestructura y superestructura del puente vehicular Impulsora", 65-74,(1997).
17. MC68HC11 Reference Manual. Motorola.
18. M68HC05 Applications guide. Motorola Inc. 1989
19. Rockwell International Semiconductor Products Division, Rockwell1984 Data Book, second edition.
20. Wayne Tomasi, *Sistemas de comunicaciones electrónicas 2ª edición.*

Reconocimientos

Agradezco a la Facultad de ingeniería de la UNAM, por darme la oportunidad de cursar mis estudios profesionales; al centro Nacional de Prevención de Desastres, por permitirme participar en éste y otros proyectos.

Quiero agradecer a Mauricio Ortega, por dirigir éste trabajo, a Arturo Montalvo, a Miguel Franco, a César Morquecho, a Pablo Olmos y a Gerardo Aguilar, quienes participaron en éste proyecto. También quisiera agradecer a Javier González, a Gilberto Castelán, a Jazmín Vázquez, a Laura Gaytán, a Ana Alarcón y a todos aquellos que han contribuido de una u otra forma en la realización de este trabajo.