

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**“ESTUDIO SISMICO EXPERIMENTAL DE
MUROS DE ADOBE”**

T E S I S

Para optar el Título Profesional de
INGENIERO CIVIL

CARLOS FERNANDO P. IRALA CANDIOTTI

Lima - Perú
1,986

	Pág.
III.5) Ensayos de compresión axial en especímenes de adobe	38
III.6) Ensayos de tracción uni-axial del refuerzo	40
CAPITULO IV : ENSAYOS DE LOS MUROS DE ADOBE	43
IV.1) Dimensiones y características de los muros	43
IV.2) Disposición del Equipo de reacción y de los medidores de deformaciones	44
IV.3) Estudio de los resultados	46
IV.3.1) Tipo de falla en los muros de adobe	46
IV.3.2) Discusión de los resultados	47
CAPITULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFIA :	52
FIGURAS	55
FOTOGRAFIAS	80

INTRODUCCION

Las edificaciones de adobe son tradicionalmente -
construídas desde épocas pre-históricas en todas partes
del mundo. Actualmente en muchas áreas rurales de países
en desarrollo, se sigue construyendo en adobe, debido al
alto costo de otros materiales más resistentes como el -
concreto, y en otros casos debido a la escasez o caren -
cia de otros materiales como el ladrillo y la madera.

Cada año miles de familias construyen sus vivien -
das de adobe, debido a su bajo costo inicial, esta vivien -
das generalmente son construídas por los pobladores mis -
mos y sin ningún asesoramiento técnico. Un gran número
de estas edificaciones están sujetas a ser dañadas por -
movimientos sísmicos.

Es conocido que las edificaciones de adobe son rí
gidas y frágiles y que no tienen una buena perfomance -
sísmica si es que no son adecuadamente diseñadas y cons -
truídas. El comportamiento de las edificaciones de ado -
be ha sido observado en sismos pasados en muchos países,
como Perú, Guatemala, Chile, India, Turquía, Italia, etc.,
y en casi todos los casos se ha encontrado que las edifi -
caciones de adobe sin reforzar son extremadamente débi -
les para soportar cargas laterales, y que éstas colapsan

repentinamente de tal manera que sus moradores no pueden escapar durante un sismo severo. Aún durante sismos moderados, un gran porcentaje de viviendas de adobe son peligrosamente dañadas, teniendo que ser demolidas.

Por estos motivos, es necesario llevar a cabo programas de investigación (analíticos y experimentales) - con el propósito de obtener información de las propiedades mecánicas de la albañilería, de tal manera que las - edificaciones de adobe puedan ser satisfactoriamente diseñadas y construídas para resistir cargas sísmicas u - otros fenómenos naturales y climatológicos.

En este trabajo se presentan los resultados y conclusiones de los ensayos realizados en modelos de muros de adobe sujetos a cargas laterales monotónicas, los cuales fueron realizados en el Laboratorio de Ensayos Es - tructurales del Instituto de Investigación de Edificaciones (B.R.I.) en Tsukuba, Japón, en Abril de 1985.

En el primer capítulo, se hace una descripción de las edificaciones de adobe en el Perú, luego se señalan los tipos de falla más frecuentes, así como los métodos para mejorar el comportamiento de los muros de adobe ante sollicitaciones sísmicas, también se señalan las proiedades mecánicas del adobe y de la albañilería.

En el capítulo dos, se presentan la descripción - de los equipos usados en los ensayos, así como el funda-

mento teórico en la que se basan estos dispositivos.

En el capítulo tres se describe el diseño de los prototipos y modelos de muros de adobe, así como la justificación del ensayo de modelos a escala reducida. También se presentan los ensayos de materiales realizados como son: Los ensayos de compresión axial en especímenes cilíndricos y bloques de adobe y los ensayos de tracción uni-axial del refuerzo.

En el capítulo cuatro, se presenta la disposición de los muros en el equipo de reacción, así como la ubicación de los medidores de deformaciones; se describe además el tipo de falla observada en los muros y el análisis de los resultados.

Finalmente en el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones que se han podido extraer a través de los ensayos y análisis de los resultados efectuados.

Deseo expresar mi gratitud al Ing. Roberto Morales M. ,por su valioso asesoramiento y las enseñanzas vertidas en el campo de la Ingeniería Sismo-resistente.

Hago extensivo mi agradecimiento al Instituto de Investigación de Edificaciones y al Instituto Internacional de Sismología e Ingeniería Sísmica (Japón), los cuales financiaron el Programa de Ensayos de muros de adobe.

LISTA DE FIGURAS

Figura		Pág.
1	Falla por flexión	56
2	Falla por corte	56
3	Ensayo de compresión axial en muretes de adobe	57
4	Ensayo de tracción diagonal	57
5	Alambre fino sujeto a deformación axial	16
6	Estructura de un medidor de deformaciones	57
7	Circuito "Puente Wheatstone"	20
8	Disposición de los medidores de deformaciones en una viga sujeta a deformación por flexión	25
9	Arreglo en el Puente Wheatstone para el cálculo de la deformación por flexión	26
10	Arreglo en el Puente Wheatstone para el cálculo de la deformación axial	26
11	Disposición de dos strain gages en una viga en voladizo	27
12	Disposición de cuatro strain gages en una viga en voladizo	30
13	Estructura de la celda de carga	57
14	Estructura de un transductor de desplazamientos	58
15	Muro de adobe	59
16	Prueba del rollo	58

Figura		Pág.
17	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	60
18	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	60
19	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	61
20	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	61
21	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	62
22	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	62
23	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	63
24	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	63
25	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	64
26	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	65
27	Curva de Esfuerzo vs. Deformación	65
28	Muro de adobe	66
29	Detalle del refuerzo	67
30	Colocación de los medidores de defor <u>maciones</u> para morteros	68
31	Detalle del refuerzo en la viga supe <u>rior</u>	69
32	Detalle del refuerzo en la viga infe <u>rior</u>	70
33	Disposición del muro de adobe en el pórtico de reacción	71
34	Ubicación de los transductores de - desplazamientos en el muro de adobe sin refuerzos	72
35	Ubicación de los transductores de des <u>plazamientos</u> en el muro de adobe con refuerzos	72

Figura		Pág.
36	Ubicación de los strain gages adheridos a los refuerzos	73
37	Ubicación de los embedment gages	73
38	Diagrama de flujo del procedimiento de obtención de datos durante el ensayo	74
39	Falla del muro de adobe sin refuerzos	75
40	Falla del muro de adobe con refuerzos	75
41	Curva de Carga vs. Desplazamiento de los muros de adobe	76
42	Curva de Carga vs. Deformación de los refuerzos verticales	76
43	Distribución de esfuerzos en los refuerzos verticales	77
44	Curva que relaciona la carga aplicada con la fuerza de compresión generada en el muro	78

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Foto		Pág.
1	Resultados de la prueba del rollo	81
2	Secado del adobe	81
3	Medidor de deformaciones colocado en el adobe	82
4	Refuerzo horizontal y vertical	82
5	Medidores de deformaciones adheridos al refuerzo vertical	83
6	Secado del muro de adobe sin refuerzos	83
7	Celda de carga	84
8	Ubicación de los transductores de desplazamientos	84
9	Transductor de desplazamientos colocado en la viga inferior	85
10	Disposición del muro de adobe en el pórtico de reacción	85
11	Falla del muro de adobe sin refuerzos	86
12	Falla del muro de adobe sin refuerzos	86
13	Falla del muro de adobe con refuerzos	87
14	Falla del muro de adobe con refuerzos	87
15	Falla del muro de adobe con refuerzos	88
16	Falla del muro de adobe con refuerzos	88

CAPITULO I

ESTUDIO DE LA INFORMACION EXISTENTE

I.1 CARACTERISTICAS DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE

Las construcciones de adobe en el Perú, datan de épocas pre-incaicas, existiendo hasta nuestros días vestigios arqueológicos como las ruinas de Chan-Chan, Paramonga y Pachacamac.

En la actualidad la construcción en adobe se circunscribe a las zonas rurales y deprimidas del Perú, esto debido a la preponderancia de otros materiales de construcción, como el ladrillo, concreto y el acero que han tomado mayor auge en las ciudades.

Las viviendas de adobe generalmente son de uno y dos pisos, y en general tienen una planta rectangular. En su mayoría estas viviendas no tienen una adecuada estructuración y son construídas con mano de obra deficiente. Los muros son de una longitud muy grande y no poseen elementos de confinamiento horizontales ni verticales. Los muros tienen una altura que varían entre dos a tres metros y medio, lo que da lugar a muros con alturas de hasta ocho metros en las viviendas de dos pisos. Estos muros tienen mu

chos vanos y sus dinteles tienen poco empotramiento. Los espesores de los muros son variables y se puede observar muros desde 30 a 60 cms.

El techo es generalmente a dos aguas y consiste en viguetas de madera apoyadas directamente sobre los muros, sobre las viguetas se clavan cañas y sobre éstas se coloca una torta de barro, el espesor de esta torta varía de acuerdo al clima de la zona, lo cual en muchos casos hace que estos techos sean muy pesados, luego sobre esta torta se colocan las tejas.

La cimentación de las viviendas de adobe es en base a piedras grandes asentadas con barro, el ancho del ci-miento es igual al espesor del muro y su altura varía - desde 0.50 a 1.00 mts., el uso de cimentación de concreto ciclópeo es poco frecuente debido al alto costo en - comparación con el costo global de la vivienda. El so-brecimiento también es construido con piedras grandes y barro, pero en muchos casos este es obviado, lo cual produce el deterioro de los muros.

En lo que se refiere a la fabricación del adobe, este sigue el siguiente proceso; preparación del barro, -mezclado, moldeo, secado y almacenamiento. Cabe desta-car, que en la mayoría de los casos no se realiza ninguna prueba de selección de los suelos, por lo que se uti-lizan muchas veces suelos muy rico en arcilla y otras ve

ces suelos con poca presencia de arcilla, lo cual hace que la unidad de albañilería sea de poca resistencia en ambos casos. El suelo utilizado otras veces es de cultivo y contiene residuos orgánicos, lo cual se refleja en la mala calidad del adobe.

En zonas donde las condiciones climáticas hacen que las viviendas de adobe puedan ser deterioradas, tampoco se utilizan estabilizantes, lo cual origina la erosión de los adobes y como consecuencia la disminución en la resistencia de los muros.

El proceso de preparación del barro, mezclado y moldeo es el tradicional. El mezclado se realiza con los pies y eventualmente con lampas, al barro se le agrega paja o ichu de tal manera que esta se mezcle uniformemente, luego de esto se deja descansar el barro por dos o tres días y se procede al moldeo y secado.

El moldeo se realiza utilizando moldes sin fondo y vaciando la mezcla en el molde directamente sobre el tendal. Muchas veces no se dispone de un tendal adecuado, por lo que el desmolde se realiza sobre cualquier superficie, la cual muchas veces no es plana ni limpia, además no se espolvorea arena fina sobre esta superficie, lo que ocasiona que el adobe se adhiera al suelo con su consecuente deterioro, en zonas muy calurosas no se dispone de tendales techados con lo que las unidades de ado

be pierden rápidamente agua produciendo contracciones en el secado y la aparición de grietas en los bloques.

Respecto al control de calidad, este no se realiza, no se efectúan pruebas de campo ni de laboratorio.

I.2 COMPORTAMIENTO SISMICO Y TIPOS DE FALLA EN LAS EDIFICACIONES DE ADOBE

Es conocido que las edificaciones de adobe son rígidas y frágiles y si es que no son reforzadas adecuadamente no tienen un buen comportamiento sísmico. El colapso de muchas viviendas de adobe a raíz de movimientos sísmicos se debe no sólo a las características mecánicas del material como son baja resistencia a la tracción y al corte, sino también a fallas en la estructuración de las viviendas como son: Dimensionamiento inadecuado de los muros en su espesor largo y altura, elevada cantidad de vanos lo cual origina concentración de esfuerzos, distribución deficiente de muros en alguna dirección lo que provoca torsiones importantes en planta. Otras fallas son de carácter constructivo como son: Trabas inadecuadas y deficiencias en los encuentros de los muros, techos muy pesados, falta de protección en los muros contra la erosión, etc.

Los principales tipos de falla estructurales, son la falla por flexión de los muros en dirección normal a

su plano y la falla por corte. La falla por flexión normal al plano del muro: se debe principalmente a la escasa rigidez horizontal que da el techo a los muros, lo cual hace que las fuerzas de inercia no sean transmitidas a los muros que están en la dirección del movimiento sino que estas fuerzas se transmitan a los muros en la otra dirección generando en estos esfuerzos de tracción por flexión, ya que el muro actúa como una losa apoyada en su base y en los elementos verticales que lo arriostan (Fig. 1), cuando el nivel de esfuerzos por tracción es alto, el muro se agrieta en sus extremos y puede producirse el volteamiento de éste, lo cual ha sido observado frecuentemente en sismos pasados.

La falla por corte se produce cuando el muro se comporta como muro de corte, soportando cargas horizontales en su plano, esta falla se caracteriza por la aparición de grietas diagonales en el muro, producidas por excesivos esfuerzos cortantes en las juntas horizontales (Fig. 2), en otros casos la grieta también puede cruzar los adobes.

Otro tipo de falla pero poco común, es la falla por compresión, esta podría ocurrir por excesivos momentos de volteo inducidas a una edificación, lo que origina grandes compresiones en la parte inferior del muro produciendo su falla, este tipo de falla es poco frecuente ya que en la mayoría de los casos la falla es gobernada por

corte o flexión.

También se ha observado otros tipos de falla como son las caídas de los techos, la cual a causado gran cantidad de víctimas. La caída de los techos se produce debido a fallas en las conexiones por el deficiente anclaje con la viga solera, en otros casos la falla se ha producido en la estructura misma del techo debido a coberturas muy pesadas.

I.3 PROCEDIMIENTOS PARA MEJORAR LA RESISTENCIA DE LOS MUROS DE ADOBE

Las deficiencias en las viviendas de adobe, en lo referente a su capacidad para soportar sismos, han sido observadas y estudiadas por décadas por numerosos investigadores, lo cual nos permite establecer recomendaciones y procedimientos para mejorar su resistencia. Estos procedimientos son: Mejoramiento del proceso constructivo y esquema estructural, adición de refuerzos horizontal y vertical en los muros, colocación de una viga solera y mejoramiento de la resistencia de los morteros.

I.3.1 Mejoramiento del Esquema Estructural y del Proceso Constructivo

Realizar una adecuada selección del material para ser usado en la fabricación de los adobes, la tierra no

debe ser de cultivo y debe estar libre de materias orgánicas. La tierra debe estar formada por el 25 a 45% de limos y arcilla y el resto de arena, la proporción máxima de arcilla será del 15 al 17%.

En zonas lluviosas se debe agregar al barro estabilizantes para proteger los muros de la erosión, o en todo caso se recomienda el revestimiento de los muros. Debe añadirse paja o ichú al barro para fabricar adobes. Para el secado de los adobes se debe utilizar una superficie horizontal y limpia, este tendal deberá ser techado en épocas muy calurosas o lluviosas.

Las dimensiones del adobe no deben ser muy grandes de tal manera que pueda permitir su maniobrabilidad, se recomienda el uso de adobes cuadrados, ya que facilita el proceso constructivo de los muros. Los adobes deben ser limpiados y mojados antes de ser asentados, con la finalidad de que no absorban el agua del mortero y permitir una buena adherencia entre el adobe y el mortero. Las juntas horizontales y verticales deberán ser llenadas completamente y no deberán exceder de 2 cms.

La longitud de los muros tomados entre dos contrafuertes o dos muros perpendiculares a él, no debe exceder a diez veces su espesor. La altura máxima de los muros no debe ser mayor que ocho veces su espesor y como máximo tres metros. Debe limitarse el empleo de muchos

vanos y en lo posible estos deberán estar centrados y reforzados con dinteles debidamente empotrados. Los muros deben estar perfectamente amarrados en sus encuentros, se recomienda el uso de mochetas que permite una mayor longitud de anclaje del refuerzo horizontal, y el uso de contrafuertes que es una solución para arriostrar los muros largos.

Los techos en lo posible deben ser livianos y deberán estar anclados adecuadamente a la viga solera. Debe usarse una longitud adecuada de aleros para proteger los muros de la lluvia.

I.3.2 Adición de refuerzos horizontal y vertical en los muros

Uno de los métodos más efectivos para mejorar la resistencia de los muros de adobe ante solicitaciones sísmicas es la colocación de refuerzos interiores horizontales y verticales, estos pueden ser de caña o alambre, tanto el refuerzo horizontal como el vertical proporcionan al muro cierta ductilidad, lo cual evita de cierta manera la falla frágil de estas edificaciones.

El refuerzo horizontal se colocará cada tres o cuatro hiladas. Debido a la dificultad en la colocación del refuerzo vertical a determinado espaciamiento, se recomienda la colocación de este refuerzo sólo en las es

quinas o encuentros de muros, este refuerzo deberá estar anclado a la cimentación y posteriormente fijarse a la viga solera.

I.3.3 Colocación de una viga solera

Existen muchos procedimientos propuestos para mejorar la resistencia de las viviendas de adobe, entre los más importantes se encuentra, la colocación de una viga solera perimetral en el extremo superior de los muros, la cual debe estar debidamente anclada al muro con el propósito de que actúe como un arriostre horizontal, esta viga solera permite una mejor fijación de la estructura del techo y proporciona una mejor continuidad entre todos los muros.

La viga solera puede ser de madera o formado con troncos de eucalipto que es una de las más usadas en el Perú, otra alternativa sería colocar una viga de concreto armado. El principal problema es de lograr una buena adherencia entre la viga solera y el muro.

I.3.4 Mejoramiento de la resistencia de los morteros

Debido a que la albañilería en adobe no constituye un material homogéneo y continuo, ya que es un ensamblaje de bloques de adobe y mortero, la resistencia de los

muros de adobe depende fundamentalmente de la adherencia lograda entre las unidades de adobe con el mortero. Bastantes investigaciones se han realizado con el fin de determinar el efecto de la resistencia del mortero en la resistencia al corte de los muros de adobe, en todas se encontró que un incremento en la resistencia del mortero produce un incremento en la resistencia al corte del muro. De lo anterior, se concluye que para desarrollar totalmente la resistencia de la unidad de la albañilería, la adherencia entre el mortero y los bloques de adobe debe ser por lo menos lo suficiente para desarrollar completamente la resistencia a la tracción del bloque de adobe cuando el muro esta sujeto al corte o tracción diagonal, esto podría forzar a que la grieta atravesase el adobe o la junta, resultando un mayor esfuerzo a la que se produciría si la falla fuera por adherencia.

El mortero más usado es el de barro, el cual se elabora con el mismo material con el que se fabrica los adobes, la adición de paja al mortero es indispensable para mejorar la adherencia con los adobes, de otro lado, la paja ayuda para controlar el agrietamiento producido por la contracción de secado. La incorporación de otros aglomerantes al mortero, como la cal y el cemento aumentan la resistencia del mortero.

I.4 PROPIEDADES MECANICAS DEL ADOBE

Un muro de albañilería tiene como característica

principal, estar constituido por unidades prismáticas, -
pequeñas en relación al tamaño del elemento, unidas
por mortero con propiedades aglutinantes. Debido a la
falta de homogeneidad en la albañilería se hace difícil
y poco confiable la correlación de resultados en base a
ensayos en unidades aisladas y muros. En primer lugar -
nos referiremos a las propiedades mecánicas del bloque -
de adobe. La resistencia a la tracción y al corte de
los bloques de adobe es baja, en cambio su resistencia a
la compresión es relativamente alta, ya que se ha llega-
do hasta resistencia mayores de 30 Kg/cm^2 en adobes fa -
bricados a base únicamente de tierra. Se debe resaltar
que los parámetros encontrados en ensayos efectuados en
bloque, sólo nos indicará las características de resis -
tencia del adobe como unidad.

Las normas vigentes para las construcciones en a-
dobe, recomienda efectuar sólo ensayos de compresión pa-
ra la unidad de albañilería y que el número mínimo de -
especímenes a ensayar será de seis y que la resistencia
a la compresión de los adobes no debe ser menor de 12 Kg/cm^2 . En lo que se refiere a la resistencia a la com-
presión y al corte de la albañilería estas se pueden e-
valuar mediante los ensayos de compresión axial y ensa-
yos de compresión diagonal, respectivamente.

I.4.1 Resistencia a la Compresión de la Albañilería

La resistencia a la compresión de la albañilería -

se puede determinar mediante el ensayo de pilas, tal como se muestra en la Fig. 3.

Los principales factores que influyen en la resistencia son:

- La resistencia de las unidades de albañilería.
- La resistencia del mortero
- La calidad de la mano de obra
- La interacción bloque-mortero

El tipo de falla más común en este ensayo es la formación de grietas verticales en los adobes producida por las deformaciones transversales incrementadas por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas, cuando este agrietamiento vertical es excesivo, se produce la inestabilidad del elemento y ocurre la falla; cuando los adobes tienen baja resistencia, la falla se presenta por aplastamiento en compresión de los bloques mismos. El aplastamiento del mortero no ocasiona la falla cuando los esfuerzos son puramente axiales, ya que éste cuando se aplasta, es retenido por fricción por los bloques y el conjunto puede soportar cargas mayores, sin embargo en elementos esbeltos el aplastamiento del mortero puede provocar problemas de inestabilidad. Se recomienda que el espécimen a ser ensayados tenga una relación altura a espesor de aproximadamente tres.

I.4.2 Resistencia al corte de la albañilería

La falla por corte en los muros es una de las más frecuentes debido a sollicitaciones sísmicas en el plano del muro, esta falla se caracteriza por la aparición de grietas diagonales en los muros, estas grietas generalmente se producen en las juntas y eventualmente cruzan los bloques de adobe.

La resistencia al corte de la albañilería se puede determinar mediante ensayos de compresión diagonal - tal como se muestra en la Fig 4. De todos los ensayos antes mencionados, este ensayo de compresión diagonal - es el más útil, ya que nos da un índice de la calidad - de la albañilería.

El modo de falla a través de la juntas, sugiere - un mecanismo de falla de Coulomb en el que la resistencia depende de la adherencia entre piezas y mortero, y varía proporcionalmente con la compresión aplicada perpendicularmente a las juntas, representando el factor - de proporcionalidad un coeficiente de fricción.

El esfuerzo tangencial puede expresarse:

$$v = u + f \sigma$$

donde:

- v : esfuerzo tangencial
- u : esfuerzo de adherencia
- f : coeficiente de fricción
- σ : esfuerzo de confinamiento.

CAPITULO II

DESCRIPCION DE LOS EQUIPOS USADOS EN LOS ENSAYOS

II.1 MEDIDORES DE DEFORMACIONES O STRAIN GAGES

Los medidores de deformaciones e instrumentos derivados son dispositivos por medio de los cuales se pueden medir los esfuerzos inducidos a una estructura. Estas mediciones son llevadas a cabo adheriendo estos medidores a la estructura, convirtiendo la deformación en una cantidad eléctrica (voltaje), el voltaje de salida debido al cambio de resistencia del strain gage es del orden de los microvoltios a milivoltios, por lo que no es posible ser medida por un contador o ser grabado en un almacenador de datos directamente; previo a estas mediciones el voltaje necesita ser amplificado. La amplificación necesaria es generalmente 10,000 veces (80 dB). Esta operación se efectúa con un amplificador, en la actualidad se fabrican amplificadores de múltiples canales, lo cual posibilita la medición de esfuerzos y/o deformaciones de varios puntos a la vez.

Con la ayuda de estos dispositivos, las deformaciones en estructuras reales bajo condiciones de trabajo (presas, puentes, etc.) pueden ser medidas con gran exac

titud sin destruir la estructura, de esta manera esto conduce a un análisis cuantitativo de la distribución de esfuerzos bajo condiciones reales.

Las principales características de los medidores de deformaciones pueden ser resumidas como sigue:

- Mediciones de alta precisión.
- Tamaño pequeño, livianos y de bajo costo.
- Excelente respuesta a fenómenos dinámicos.

Fáciles de manipular, sin necesidad de tener especiales conocimientos.

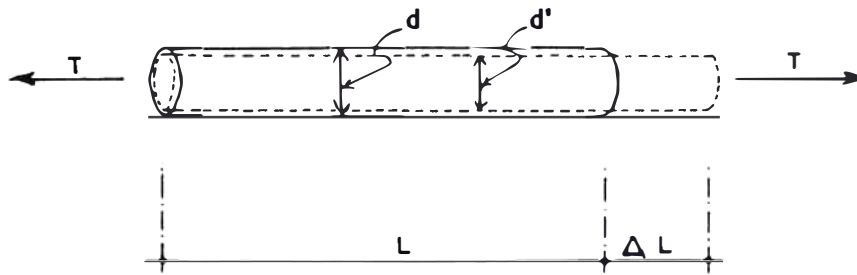
- Excelente linealidad.
- Posibilidad de mediciones en un gran rango de temperaturas.

Aplicado como un elemento transductor para la medición de cantidades físicas (fuerzas, presiones, torsiones, aceleraciones, etc.).

- Los resultados pueden ser aplicados a la ingeniería de control y supervisión.

II.2 FUNDAMENTO TEORICO DE LOS MEDIDORES DE DEFORMACIONES

Los medidores de deformaciones son basados en las características de los metales, los cuales cambian de resistencia eléctrica con los esfuerzos producidos.



En la Fig. 5 se observa un alambre fino sujeto a deformación. Este alambre tiene una longitud L y una resistencia eléctrica R .

La longitud del alambre después de la deformación es $L + \Delta L$ y la resistencia eléctrica $R + \Delta R$.

La resistencia eléctrica está dada por la siguiente relación:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

donde: A : sección transversal del alambre
 ρ : resistividad del material

Para obtener el cambio unitario en la resistencia, tomamos logaritmos a ambos miembros y los diferenciamos:

$$\begin{aligned} \log R &= \log \rho + \log L - \log A \\ &= \quad + \frac{\Delta L}{L} - \frac{\Delta A}{A} \quad (2) \end{aligned}$$

donde:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad \text{cuando el \u00e1rea de la secci\u00f3n transversal es un c\u00edrculo.}$$

$$A = b t \quad \text{para strain gages que usan materiales laminados.}$$

b: ancho de la l\u00e1mina.

t: espesor de la l\u00e1mina.

El cambio unitario en el \u00e1rea del alambre ser\u00e1:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{2 (d' - d)}{d}$$

y usando la relaci\u00f3n de Poisson:

$$\nu = - \frac{\epsilon_Y}{\epsilon_X} \quad \text{se tiene:}$$

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{2 (d' - d)}{d} = - 2 \nu \frac{\Delta L}{L}$$

El cambio unitario en el \u00e1rea para una l\u00e1mina ser\u00e1:

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta t}{t} = - 2 \nu \frac{\Delta L}{L} \quad \text{en (2)}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2 \nu) \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta \rho}{\rho} = (1 + 2 \nu) \epsilon + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (3)$$

Considerando que el cambio de resistividad es proporcio-

nal al cambio de volumen del material, se tiene:

$$\frac{\Delta f}{f} = m \frac{\Delta V}{V} \quad (4)$$

donde:

m: constante de proporcionalidad.

Luego, obteniendo el cambio unitario de volumen para el alambre fino, usando las fórmulas de Lamé, se tiene:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{E} (1 - 2 \nu) \quad (5)$$

$$\sigma_x = \epsilon E = \frac{\Delta L}{L} E$$

$$\sigma_y = \sigma_z = 0 \quad \text{en la ec. 5}$$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta L}{L} (1 - 2 \nu) \quad (6)$$

el cual es el mismo para una lámina, sustituyendo (6) - en (4), tenemos:

$$\frac{\Delta f}{f} = m \frac{\Delta L}{L} (1 - 2 \nu) = m \epsilon (1 - 2 \nu) \quad \text{en (3)}$$

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2 \nu) \epsilon + m \epsilon (1 - 2 \nu)$$

$$\frac{\Delta R}{R} = \epsilon \{ (1 + m) + 2 \nu (1 - m) \} \quad (7)$$

En la ec. 7, "m" es una constante de proporcionalidad como se vio en la ec. 4 y puede ser determinada dependiendo del tipo de material. La mayoría de materiales frecuentemente usados para fabricar los strain gages son aleaciones de cobre y níquel, donde $m = 1$. Por lo que la ec. (7) se reduce:

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{\epsilon} \epsilon \quad (8)$$

El valor encontrado en la ec. (8) es denominado "coeficiente de sensibilidad por deformación" y se expresa con el símbolo "k". Desde que el valor de "k" es determinado dependiendo del material resistivo usado en la fabricación del strain gage, la ec. (8) finalmente es:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \epsilon \quad (9)$$

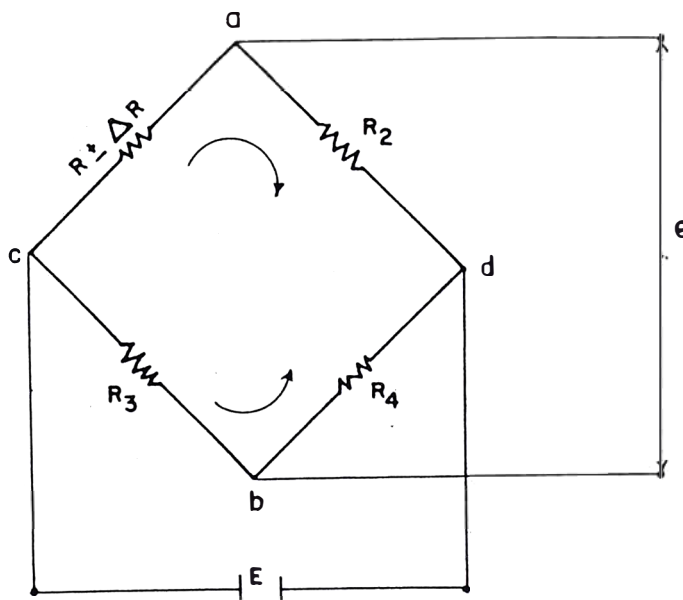
la cual indica, que el cambio unitario en la resistencia eléctrica es proporcional a la deformación.

El elemento sensitivo de deformación de un strain gage es arreglado en una rejilla de material resistivo o en un material laminado fotograbado en una área pequeña para proporcionar una resistencia necesaria (generalmente 120Ω), y el coeficiente de sensibilidad por deformación de un strain gage es un poco diferente a la del material resistivo. El antes mencionado coeficiente de sensibilidad por deformación "k" corresponde a k_s (Gage

factor) para un strain gage hecho en una configuración tal como se muestra en la Fig. 6, la cual correlaciona la deformación en un miembro ensayado con el cambio unitario de resistencia en el strain gage.

II.3 CIRCUITO "PUENTE WHEATSTONE"

Para la medición de deformaciones en miembros ensayados, mediante el uso de strain gages se utilizan circuitos especiales con los cuales es posible convertir deformaciones en cambios equivalentes de voltaje eléctrico. El circuito es generalmente denominado "Puente Wheatstone", este es uno de los más usados, por su alta precisión para medir los cambios pequeños de resistencia eléctrica.



En la Fig. 7, R es la resistencia del strain gage, R_2 , R_3 , y R_4 son resistencias fijas. Un voltaje eléctrico "E" es aplicado al circuito. Supongamos que el strain gage sufre una deformación y por lo que la resistencia eléctrica cambia a $R \pm \Delta R$, entonces se generará un voltaje eléctrico "e" en la salida de los terminales del puente.

Calculando la diferencia de voltaje entre los puntos "c" y "a", se tiene:

$$e_a = \frac{E (R \pm \Delta R)}{R \pm \Delta R + R_2}$$

Diferencia de voltaje entre los puntos "c" y "b":

$$e_b = \frac{E R_3}{R_3 + R_4}$$

Calculando el voltaje de salida "e":

$$e = e_b - e_a = E \left[\frac{R_3}{R_3 + R_4} - \frac{R \pm \Delta R}{R \pm \Delta R + R_2} \right]$$

Si: $R = R_2 = R_3 = R_4$, tenemos:

$$e = \frac{\Delta R, E}{2 (2R \pm \Delta R)}$$

Como: $2R \gg \Delta R \rightarrow 2R + \Delta R \approx 2R$

Finalmente tenemos:

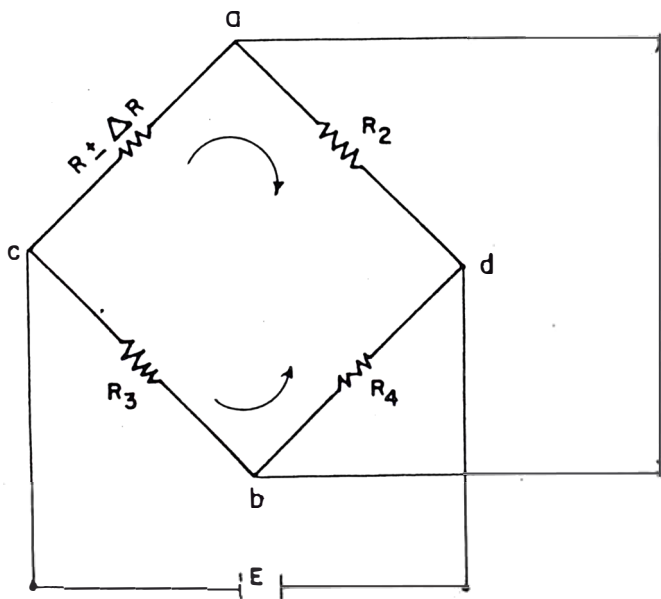
$$e = \pm \frac{E}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (10)$$

de la ec. (10), se observa que el voltaje de salida del puente "e" es proporcional al cambio unitario en la resistencia eléctrica del strain gage; sustituyendo la ec. (9) en la ec. (10), se tiene:

$$e = \pm \frac{E}{4} k \varepsilon \quad (11)$$

Luego, se observa que el voltaje "e" es proporcional a la deformación " ε ", por consiguiente para encontrar el valor de la deformación " ε ", debemos de medir el voltaje de salida "e" del puente.

En el caso general, cuando las cuatro resistencias cambian a: $R_1 + \Delta R_1$, $R_2 + \Delta R_2$, $R_3 + \Delta R_3$, $R_4 + \Delta R_4$



$$e = \frac{E (R_1 R_3 - R_2 R_4)}{(R_1 + R_2) (R_3 + R_4)} \quad (12)$$

La ec. (12) permite el cálculo del voltaje de salida "e", esta ecuación se modificará de la siguiente manera, cuando las cuatro resistencias cambian:

$$e = \frac{E (R_1 + \Delta R_1) (R_3 + \Delta R_3) - (R_2 + \Delta R_2) (R_4 + \Delta R_4)}{(R_1 + \Delta R_1) + (R_2 + \Delta R_2) (R_3 + \Delta R_3) + (R_4 + \Delta R_4)}$$

Dividiendo ambos miembros por $R_2 R_3$, y haciendo:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} = a, \text{ tenemos:}$$

$$e = \frac{E a \left\{ \left(1 + \frac{\Delta R_1}{R_1} \right) \left(1 + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right) - \left(1 + \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) \left(1 + \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) \right\}}{\left\{ \left(a + \frac{\Delta R_1}{R_2} \right) + \left(1 + \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) \right\} \left\{ \left(1 + \frac{\Delta R_3}{R_3} \right) + \left(a + \frac{\Delta R_4}{R_3} \right) \right\}}$$

desarrollando y despreciando el producto de diferenciales se tiene:

$$e = \frac{E a}{(1+a)^2} \left\{ \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right\} \quad (13)$$

Si $a = 1$, el arreglo del circuito es el más efectivo y balanceado y se tiene que: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$, lo que en la mayoría de los casos se cumple, la ecuación final será:

$$e = \frac{E}{4} \left\{ \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right\} \quad (14)$$

La ec. (14) es usada para arreglos con 4 gages.

II.4 ARREGLOS EN EL CIRCUITO "PUENTE WHEATSTONE"

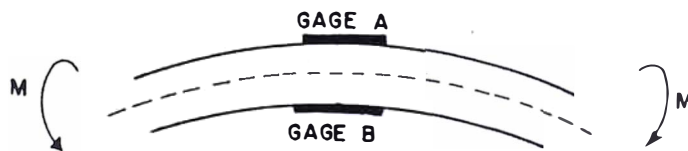
Todos los instrumentos medidores de deformaciones constan de un circuito puente, los terminales del puente son abastecidos por strain gages y resistencias fijas. La función de un circuito puente es de convertir un pequeño cambio en la resistencia eléctrica en un voltaje eléctrico. El circuito "puente Wheatstone" está constituido por cuatro resistencias R_1 , R_2 , R_3 y R_4 , como se muestra en la Fig. 7, este circuito consta también de cuatro terminales, los puntos de entrada y salida, están provistos por dos pares de bornes uno frente de otro. Existen tres diferentes maneras de arreglar los strain gages en un circuito puente, una forma es usar sólo un strain gage colocado en un ramal, la segunda es el uso de dos strain gages colocados en dos ramales contiguos, la tercera forma sería el empleo de cuatro gages colocados en cada uno de los ramales. Estos arreglos son denominados como los métodos de 1 gage, 2 gages y 4 gages, respectivamente. Cuando se usan uno o dos gages, los otros ramales son provistos de resistencias fijas.

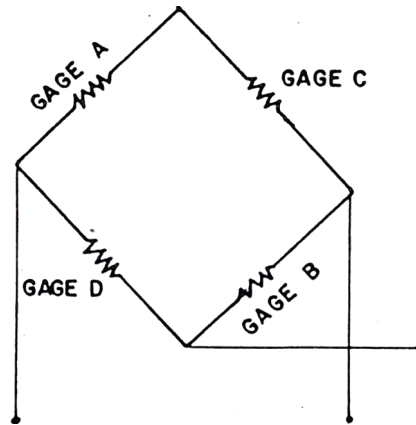
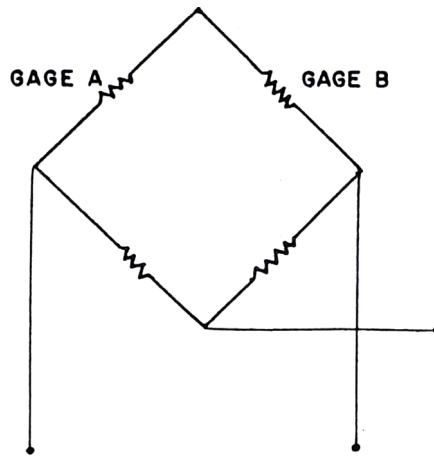
II.4.1 Medición de la Deformación por Flexión

En casos reales de medición de deformaciones en estructuras donde las deformaciones por flexión pura o composición de deformaciones por flexión y fuerza axial

se desean conocer, el arreglo de la Fig. 8 puede ser efectivo. En este caso, el momento flexionante M se presenta en un solo plano y sí el eje neutro se encuentra en el centro de la sección, como por ejemplo, flexión simple en una viga de alma llena, la salida del puente será el doble, si es que la colocación de los strain gages se realiza en una posición simétrica y en ambos lados de la viga, tal como se muestra en la Fig. 8 . Aún si existiera deformación por fuerza axial, el arreglo del puente que se muestra en la Fig. 9 , sólo nos dará la deformación por flexión, ya que la deformación por fuerza axial será cancelada, debido a que las deformaciones en la parte superior e inferior de la viga son de igual magnitud y signo.

En el caso que se desee medir sólo la deformación por fuerza axial, el arreglo de la Fig. 10 , nos permitirá cancelar eléctricamente la deformación por flexión, y de esta forma puede ser determinada la deformación por fuerza axial exclusivamente.



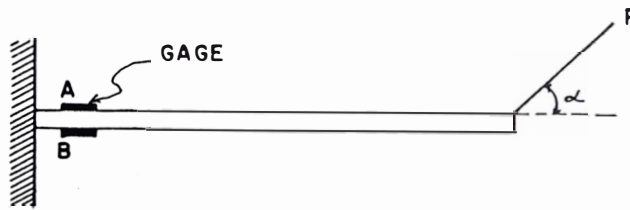


II.4.2 Ejemplos de Arreglos en el Circuito Punteo Wheatstone

Los siguientes ejemplos nos muestran diferentes arreglos que son usados para el cálculo de deformaciones mediante el uso del circuito Punteo Wheatstone.

Ejemplo 1.- Mediante el uso de dos strain gages (tal como se muestra en la Fig.11), se desea encontrar:

- a) La deformación por fuerza axial producida en una viga de acero en voladizo (Fig. 11), sin considerar deformación por flexión, mostrar el arreglo en el puente.
- b) La deformación por flexión solamente.



La deformación en el gage A será:

$$\epsilon_a + \epsilon_t = \epsilon_a + \epsilon_b$$

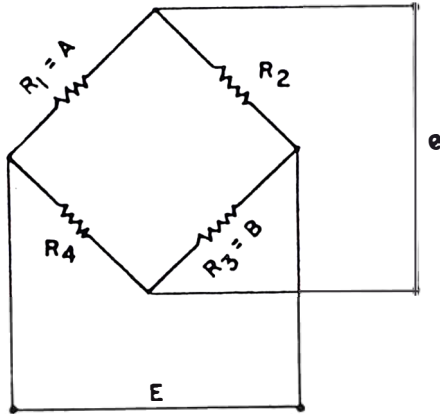
La deformación en el gage B será:

$$\epsilon_a - \epsilon_c = \epsilon_a + \epsilon_b$$

donde: ϵ_a : def. por fuerza axial

ϵ_b : def. por flexión

El arreglo en el puente será:



Manteniendo fijas las resistencias R_2 y R_4 .

Usando la ec. (9) tenemos:

$$\text{Gage A: } \frac{\Delta R_1}{R_1} = k (\epsilon_a + \epsilon_b)$$

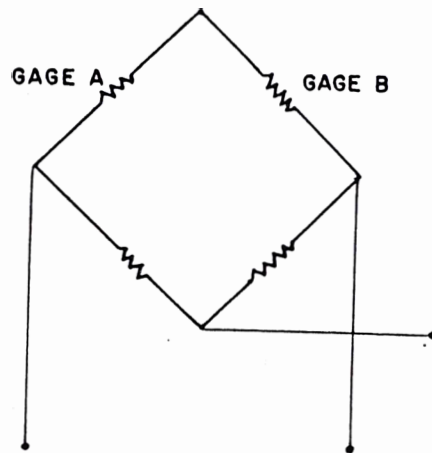
en la ec. (14)

$$\text{Gage B: } \frac{\Delta R_3}{R_3} = k (\epsilon_a - \epsilon_b)$$

$$e = \frac{E}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

$$e = \frac{E}{2} k \epsilon_a \quad \text{Def. por fuerza axial.}$$

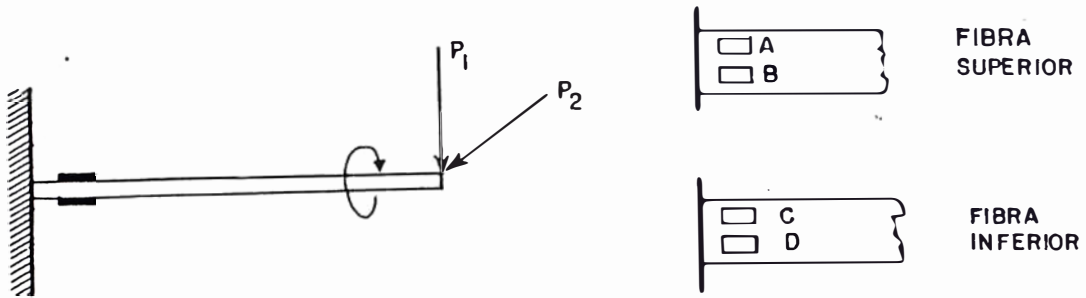
b) Para calcular la deformación por flexión, el arreglo será fijando las resistencias R_3 y R_4 .



$$e = \frac{E}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right)$$

$$e = \frac{E}{2} k \epsilon_b \quad \text{Def. por flexión.}$$

Ejemplo 2.- Se desea encontrar la deformación por flexión, cancelando la deformación por fuerza axial y torsión, usando cuatro gages que están dispuestos en la viga tal como se muestra en la Fig. 12, mostrar el arreglo en el puente.



$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = k (\epsilon_a + \epsilon_b + \epsilon_t) = \frac{\Delta R_3}{R_3}$$

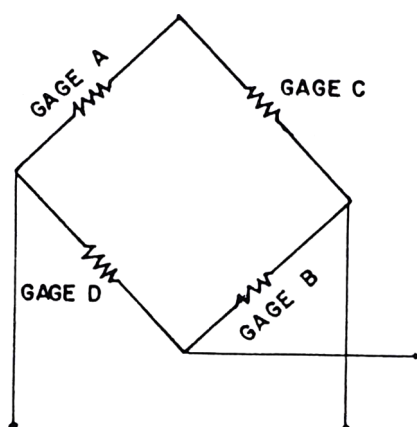
ϵ_a : Def. Axial

ϵ_b : Def. por Flexión

ϵ_t : Def. por Torsión

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = k (\epsilon_a - \epsilon_b + \epsilon_t) = \frac{\Delta R_4}{R_4}$$

El arreglo en el puente será:



aplicando la ec. (14):

$$e = E \frac{k}{4} (2) (2 \epsilon_b) \rightarrow e = E k \epsilon_b$$

II.5 TIPOS DE INSTRUMENTOS USADOS EN LOS ENSAYOS

En los ensayos efectuados, se utilizaron diversos tipos de strain gages, según el tipo de información que se deseaba obtener y dependiendo también de las características del material. A parte del uso de los strain - gages propiamente dichos se utilizaron, celdas de carga, transductores de desplazamientos y embedment gages, los cuales se describen a continuación.

II.5.1 Celdas de Carga

Las celdas de carga son unidades que permiten convertir pesos o fuerzas en señales eléctricas (pequeños voltajes), en virtud de la instalación interna de strain gages. Dependiendo del propósito de su aplicación, la salida eléctrica es conectada a diferentes tipos de instrumentos de medición para la lectura de fuerzas, almacenamiento y control. Existen diversos tipos de celdas de carga, estas varían de acuerdo a la calidad de las fuerzas a ser medidas (tracción y/o compresión) y de acuerdo a la magnitud de estas fuerzas. En los ensayos se utilizaron celdas de carga de doble resolución, es decir que permite medir fuerzas de tracción y compresión.

II.5.2 Transductores de Desplazamientos

Los transductores de desplazamientos también utilizan strain gages en su sección sensitiva, estos cubren rangos de medidas de 10 a 100 mm. y son usados para múltiples aplicaciones incluyendo mediciones de desplazamientos relativos de diversas estructuras y medidas de desplazamientos absolutos desde un punto fijo.

En los ensayos se utilizaron transductores de desplazamientos analógicos para medir los desplazamientos horizontales y verticales producidos durante el ensayo, las señales analógicas son amplificadas y convertidas a

valores digitales por un convertidor. Los resultados digitalizados pueden ser impresos directamente o almacenados en un diskette mediante el uso de un computador, el cual puede conectarse directamente al convertidor.

II.5.3 Medidores de Deformaciones

Estos dispositivos ya han sido descritos ampliamente en secciones anteriores. En los ensayos se utilizaron strain gages laminados, los cuales fueron adheridos a los refuerzos vertical y horizontal, con la finalidad de medir las deformaciones producidas en estos durante los ensayos.

II.5.4 Medidores de Deformaciones para Morteros

Estos dispositivos se utilizan para medir deformaciones internas en morteros o similares. A este tipo de strain gages se le ha dado un tratamiento especial en su superficie, para poder asegurar una buena adherencia con el mortero.

Estos gages se utilizaron para medir las deformaciones internas en el muro de adobe, ya que fueron instalados tanto en los bloques de adobe como en las juntas.

CAPITULO III

PROCESO EXPERIMENTAL DE LOS MODELOS DE MUROS DE ADOBE

III.1 DISEÑO DEL PROTOTIPO

Inicialmente se diseñó un muro de adobe de 2.08 - mts. de longitud, 2.42 mts. de altura y con un espesor - de 0.40 m. Este muro constaría de 24 hiladas. Las uni- dades de adobe tendrían las dimensiones: 40 x 19 x 8 cms. y las juntas de pega tanto horizontales como verticales serían de 2 cms. de espesor. Debido a que para la fabri- cación de los adobes se requería de una área de 45 m² pa- ra ser utilizado como tendal para el secado de los ado- bes y además el espécimen pesaría 7 toneladas, lo cual - impediría una fácil maniobrabilidad para ser colocado el muro en el pórtico de reacción se optó por utilizar un - modelo reducido a escala 1: 0.50.

III.2 DISEÑO DEL MODELO

En muchos casos debido a ciertas limitaciones co- mo: costos de fabricación, espacio físico, capacidad de los equipos, etc., debemos ensayar modelos reducidos. Es- tos modelos deben reflejar exactamente el comportamiento

del prototipo.

Para el diseño de estos modelos la ley de similitud es usada, en base al análisis dimensional, por medio del cual una relación física puede reducirse a tres variables fundamentales que son: masa, longitud y tiempo. El análisis dimensional tiene múltiples aplicaciones en la ingeniería, las principales son:

- a) Desarrollo de ecuaciones.
- b) Reducción del número de variables requeridas en un programa experimental.
- c) Diseño de modelos.

Para que un modelo refleje exactamente el comportamiento del prototipo debe existir una semejanza geométrica, cinemática y dinámica.

La Tabla 1 muestra los radios de similitud o factores de escala para las variables usadas en el ensayo.

TABLA 1. FACTORES DE ESCALA

VARIABLE	DIMENSION	FACTOR DE ESCALA
Tamaño	L	1/2
Masa	M	1/8
Tiempo	T	1/2
Densidad	$M L^{-3}$	1
Módulo de Elasticidad	$M L^{-1} T^{-2}$	1
Fuerza	$M L T^{-2}$	1/4
Rigidez Lateral	$M T^{-2}$	1/2
Esfuerzo	$M L^{-1} T^{-2}$	1
Desplazamiento	L	1/2
Deformación	1	1

Finalmente las dimensiones del modelo fueron: 1.04 mts. de longitud, 1.21 mts. de altura y 0.20 mts. de espesor. Las unidades de adobe tendrían las dimensiones : 20 x 9.5 x 4 cms. y las juntas de pega tendrían 1 cm. de espesor. En la Fig. 15 , se muestra el tipo de amarre de las hiladas pares e impares así como las dimensiones de los muros.

III.3 SELECCION DE SUELOS

Se recogieron muestras de suelos en la ciudad de

Tsukuba-Japón y zonas aledañas, las cuales se caracterizan por su contenido de arcilla. Se efectuó la prueba - del rollo, esta prueba es muy sencilla de realizar ya que no requiere de instrumentos de laboratorio y puede hacerse en el campo, esta prueba nos permite determinar cualitativamente el contenido de arcilla en el suelo, el cual es fundamental para la fabricación del adobe.

III.3.1 Prueba del rollo

Esta prueba nos permite saber en una forma fácil y rápida, si es que el suelo es arenoso, arcillo-arenoso o arcilloso. Esta prueba consiste en formar con tierra húmeda un rollo de aproximadamente 1.5 cms. de diámetro y luego suspenderlo horizontalmente hasta que el extremo libre se rompa (Ver Fig. 16), luego se procederá a medir la longitud del pedazo desprendido. El suelo será apropiado cuando el rollo se rompe al alcanzar una longitud entre 5 y 15 cms., lo cual nos indicará que es un suelo arcillo-arenoso, éste es beneficioso, ya que como se sabe la arcilla es fundamental para la fabricación del adobe, pero si su contenido es alto se presentan problemas de excesivas contracciones en el secado y provocando la formación de grietas iniciales en el adobe lo que hace que la resistencia a la compresión del adobe disminuya. Una forma de controlar la contracción en el secado, es que el suelo posea una adecuada granulometría

de arcilla, arena y limo, así como la adición de materias inertes como paja o ichú.

III.4 FABRICACION DEL ADOBE

La fabricación del adobe siguió el procedimiento tradicional o sea preparación del barro, mezclado y moldeo, para luego dejar secar los bloques.

Todos los bloques de adobes y especímenes fueron fabricados por el mismo operario. Antes de proceder a realizar el mezclado y moldeo, se mantuvo el suelo en reposo húmedo durante 48 horas. El mezclado se efectuó utilizando lampas, al suelo se le agregó paja. Para la fabricación de los adobes se utilizaron moldes sin fondo. Los adobes fueron secados en el mismo Laboratorio, para evitar el deterioro por efecto de las lluvias y nieve, ya que la fabricación de los adobes se realizó en el mes de Febrero lo que quiere decir en época de invierno en Japón, la temperatura dentro del laboratorio variaba de 8 a 10° durante el día y de 4 a 9° durante la noche. Cabe mencionar la no aparición de grietas en el adobe debido a efectos de la contracción de secado, esto quizás a que la velocidad de secado fue lenta debido a la baja temperatura del medio ambiente.

III.5 ENSAYOS DE COMPRESION AXIAL EN ESPECIMENES DE ADOBE

Estos ensayos tuvieron la finalidad de determinar

la resistencia a la compresión de la unidad, así como el módulo de elasticidad o módulo de Young.

Dos transductores de desplazamientos fueron colocados para medir los desplazamientos axiales en todos los especímenes, de esta manera se puede graficar la curva de Esfuerzo vs. Deformación. En algunos especímenes se instalaron embedment gages con la finalidad de medir las deformaciones internas en cada paso de carga.

Tres tipos de especímenes fueron ensayados:

- 5 cilindros : diámetro = 93 mm. , altura = 184 mm.
- 8 cilindros : diámetro = 46 mm. , altura = 96 mm.
- 6 bloques : 184 x 88 x 34.5 mm. (iguales a los usados en la construcción de los muros).

Los resultados en general fueron satisfactorios , excepto en los especímenes cilíndricos pequeños, ésto debido a la dificultad de fabricarlos sin grietas iniciales y con formas regulares, lo cual determinó que sus resistencias a la compresión disminuyan considerablemente.

Los esfuerzos de compresión alcanzados en los ensayos son relativamente altos, si son comparados con otros ensayos efectuados en otros programas de investigación, ya que se alcanzaron esfuerzos de 22.3 Kg/cm^2 como promedio para los especímenes cilíndricos y esfuerzos de 28.3 Kg/cm^2 como promedio para los bloques. Los coeficientes de variación calculados son bajos, 6.3% para los

especímenes cilíndricos y de 15.2% para los bloques, lo cual indica que la dispersión de la resistencia a la compresión de los especímenes es pequeña.

El módulo de elasticidad promedio obtenido en los ensayos fue de 5200 kg/cm² con un coeficiente de variación del 23%.

En lo que respecta a la metodología y equipos usados en los ensayos, estos fueron los mismos que se efectúan para ensayos de probetas de concreto. Se usó una mezcla de azufre y cal en la proporción 3:1 para la nivelación de la superficie (capping) donde se iba a aplicar la carga, con el fin de que esta se reparte uniformemente en toda la superficie, en primera instancia se trató de utilizar yeso en lugar de la parafina, pero luego se descartó debido a que no se adhería a los especímenes.

En las Figs. del N° 17 al N° 25 se muestran las curvas de Esfuerzo vs. Deformación para los especímenes ensayados. Las Tablas N° 2 y N° 3 muestran las características de los especímenes ensayados, así como los esfuerzos máximos de compresión.

III.6 ENSAYOS DE TRACCION UNI-AXIAL DEL REFUERZO

Se realizaron este tipo de ensayos con la finalidad de determinar el esfuerzo de fluencia, el esfuerzo

último y el módulo de elasticidad. Se ensayaron tres varillas de refuerzo idénticas a las usadas en la construcción de los muros. Las varillas de refuerzo fueron lisas de 4 mm. de diámetro y 40 cms. de longitud.

En dos varillas se colocaron medidores de deformaciones (strain gages) con la finalidad de medir las deformaciones en cada paso de carga y de esta manera poder graficar las curvas de Esfuerzo vs. Deformación. En la varilla restante sólo se encontró la carga de fluencia y la carga última con la finalidad de compararlos con los resultados anteriores.

En las Figs. 26 y 27 se muestran las curvas de Esfuerzo vs. Deformación de las varillas ensayadas. Estas curvas fueron de mucha utilidad posteriormente cuando se ensayaron los muros de adobe, ya que para un valor determinado de deformación ocurrida en el refuerzo durante el ensayo, se puede determinar si el refuerzo está en la fluencia o no. En la Tabla 4, se muestran los valores de módulo de elasticidad, las deformaciones de fluencia y máximas, así como los esfuerzos de fluencia y último de los especímenes ensayados.

De las curvas de Esfuerzo vs. Deformación puede observarse que no existe una zona de fluencia definida, la fluencia se va desarrollando gradualmente y en la zona no elástica la curva continúa subiendo suavemente has

ta que se alcanza la carga de rotura. Debido a que en este tipo de barras no se observa una fluencia discontinua, para barras de alta resistencia se define de una forma arbitraria el límite de fluencia como la carga correspondiente a una deformación del 0.2%; también se puede observar que las varillas usadas poseen una gran ductilidad.

CAPITULO IV

ENSAYOS DE LOS MUROS DE ADOBE

IV.1 DIMENSIONES Y CARACTERISTICAS DE LOS MUROS

Para la construcción de los muros de adobe, fue contratado un albañil calificado, este albañil construyó ambos muros con la finalidad de evitar variaciones en la mano de obra. Se humedecieron los bloques de adobes antes de ser asentados, ésto se hizo con la finalidad de que los adobes no le quiten agua al mortero y de esta forma mejorar la integración del adobe con el mortero y disminuir el grado de fisuración. El espesor promedio de las juntas horizontales y verticales fue de 10 mm. El mortero usado en las juntas fue de barro con paja y de la misma calidad al que se usó para la fabricación de los bloques. El arreglo y amarre de los bloques fue hecho en forma escalonada, tal como se muestra en la Fig.

15

En la construcción de los muros se aumentó una hilada más, con el propósito de dejar unas cajuelas (ver Fig. 28) para que la viga superior pueda ser amarrada convenientemente y de esta manera evitar un posible desplazamiento o rotación de la viga al aplicarse la carga.

Los muros fueron ensayados cinco semanas después de ser construídos. Las dimensiones y otros detalles de los muros de adobe se muestran en la Fig. 28

IV.2 DISPOSICION DEL EQUIPO DE REACCION Y DE LOS MEDI- DORES DE DEFORMACIONES

Los muros de adobe fueron colocados y anclados al equipo de reacción tal como se muestra en la Fig. 33. La carga horizontal fue aplicada en la parte superior del muro mediante una gata hidráulica. La fuerza aplicada fue de tracción (jalando al muro), ésto debido a que fuerzas de tracción son mucho más estables que las de compresión, y son más fáciles y seguras de controlar en ensayos donde el nivel de carga no es muy grande.

Se consideró que la viga superior, punto de aplicación de la carga lateral, tiene suficiente rigidez axial, y por consiguiente, la fuerza horizontal aplicada es transferida uniformemente en el muro.

Los resultados fueron obtenidos por medio de cuatro fuentes durante el ensayo:

(a) 2 celdas de carga de doble resolución, por medio de las cuales se pueden medir fuerzas de tracción y compresión, ver Fig. 33 .

(b) 9 transductores de desplazamientos, los cuales fueron instalados en las direcciones horizontales y verti-

cales, tal como se muestra en las Figs. 34 y 35

(c) 11 strain gages los cuales fueron adheridos a los esfuerzos horizontal y vertical, tal como se muestra en la Fig. 36

(d) 7 embedment gages los cuales se instalaron en los adobes y juntas.

Dos embedment gages se colocaron interiormente en los adobes, con la finalidad de medir las deformaciones producidas en los extremos de los muros (zonas de máxima compresión y tracción). En la Fig. 37 se muestra la ubicación de los embedment gages; esta ubicación es la misma para los dos muros ensayados.

Todos los datos fueron medidos por medio de un sistema de medición digital de múltiples canales (DATA LOGGER de 60 canales), toda la información fue almacenada a su vez en un floppy disk utilizando una computadora personal, también se conectaron a la computadora una impresora y un plotter, de esta manera durante el ensayo se fue graficando la curva de Carga vs. Deformación, esta curva no sólo sirvió como guía para el progreso del ensayo, sino también nos dio una inmediata indicación del comportamiento del muro en cada paso de carga. En la Fig. 38 se muestra el diagrama del proceso de obtención de resultados.

IV.3 ESTUDIO DE LOS RESULTADOS

IV.3.1 Tipo de Falla en los Muros de Adobe

El tipo de falla del muro de adobe sin refuerzo se muestra en la Fig. 39 . En este caso se observó una fa lla por deslizamiento del muro en el plano horizontal, - este deslizamiento ocurrió en la parte inferior y en la mitad del muro, posteriormente se observó la aparición - de grietas verticales a través de las juntas y en algu - nos bloques.

En su mayoría, todas las grietas ocurrieron en las juntas horizontales y verticales. La falla por desliza - miento en el plano de aplicación de la carga, nos indica que la adherencia entre las juntas y unidades de adobe - no fue lo suficientemente resistente para resistir la - carga lateral, por esta razón no se pudo desarrollar com pletamente la falla por corte, sino se observó una falla combinada de deslizamiento y corte (Fig. 39).

El tipo de falla del muro de adobe con refuerzo se muestra en la Fig. 40 . En este caso se observó una fa lla típica por corte. Las grietas diagonales se desarro llaron primero a través de las juntas horizontales y ver tic ales y posteriormente las grietas atravesaron también los adobes. En este caso no se observó deslizamiento al guno en el muro, lo cual indica que el refuerzo puede a - yudar a controlar este tipo de falla, ya que tanto el re

fuerzo horizontal y en menor medida el refuerzo vertical ayudan a tomar esfuerzos cortantes.

IV.3.2 Discusión de los Resultados

El adobe tiene un rango lineal muy corto, bajo la aplicación de una pequeña carga se produce el agrietamiento. Después de producirse el agrietamiento la curva de Carga vs. Desplazamiento no es lineal y esta sigue diferentes trayectorias hasta llegar a la falla, también se ha observado claramente, fenómenos de deslizamientos en la curva de Carga vs. Desplazamiento, ver Fig. 41 .

El ploteo de la información de los medidores de deformaciones, especialmente de los medidores de deformaciones para morteros, muestran bastantes rotaciones y desplazamientos ocurridos en los muros de adobe durante el ensayo.

En la Fig. 42 se muestra la curva de Carga vs. Deformación para los refuerzos verticales extremos, zonas de compresión y tracción máximas, en la figura puede observarse que la curva correspondiente al refuerzo que está en tracción prácticamente es lineal hasta el punto de fluencia; en la curva que corresponde al refuerzo en compresión puede observarse claramente que la deformación empieza a disminuir antes de alcanzar la carga de falla, esto debido a que este refuerzo perdió su confinamiento

al producirse un severo agrietamiento en el muro, también puede observarse que este refuerzo no llegó a la fluencia y las deformaciones se mantuvieron en un rango elástico.

En ambos muros, la falla se desarrolló a través de las juntas, esto significa que la adherencia alcanzada entre los adobes y juntas no fue lo suficientemente fuerte para resistir la carga lateral.

El muro de adobe sin refuerzos, mostró una falla por deslizamiento en el plano horizontal combinada con falla por corte (Fig. 39).

El muro de adobe con refuerzos alcanzó un comportamiento satisfactorio y un esfuerzo de corte alto. Los refuerzos incrementaron la resistencia del muro y también ayudaron a controlar la posibilidad de una falla por deslizamiento.

La distribución de los esfuerzos de los refuerzos verticales fue cercanamente lineal (Fig. 43), al producirse la falla y como consecuencia un severo agrietamiento en el muro, el refuerzo que trabajaba en compresión perdió su confinamiento y adherencia produciendo un decrecimiento en el esfuerzo.

El refuerzo vertical en tracción empezó a fluir en el paso de carga 93, en una carga de 890 Kgs.

En la Fig. 44 se observa la curva que relaciona - la fuerza de compresión en el muro generada por la carga horizontal, puede observarse que esta tiene una relación lineal.

El máximo esfuerzo de corte en el muro sin refuerzos fue de 0.16 kg/cm^2 .

El máximo esfuerzo cortante en el muro de adobe con refuerzos fue de 0.59 kg/cm^2 , y el máximo esfuerzo - de compresión al llegar a la falla fue de 3.69 kg/cm^2 .

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Es posible mejorar la resistencia de los muros de adobe para que resistan fuerzas sísmicas, mediante el uso de refuerzos horizontales y verticales. Sin embargo, estudios del uso de diferentes tipos de refuerzo y su interacción con el adobe deben ser ampliados.

Debido a que la albañilería en adobe no constituye un material homogéneo y continuo, ya que es un ensamblaje de unidades de adobe y mortero, la resistencia de los muros de adobe depende fundamentalmente de la adherencia lograda entre los adobes y el mortero, de otro lado, del análisis de las fallas de las edificaciones de adobe en sismos pasados, se ha observado que la mayoría de éstas ocurren en la unión bloque-mortero, por consiguiente investigaciones conducentes a mejorar la adherencia entre los bloques de adobe y el mortero deben ser llevadas a cabo.

El máximo esfuerzo cortante del muro con refuerzos fue 3.7 veces mayor que el del muro sin refuerzos, por lo que se puede afirmar que los refuerzos horizontal y vertical ayudan a tomar esfuerzos de corte.

Es conveniente rigidizar el techo, por medio de un elemento con alta rigidez horizontal a nivel de techo, - con la finalidad de que las fuerzas de inercia producidas durante un sismo, puedan transmitirse a los elementos que estan en la dirección del movimiento y de esta forma evitar la falla por flexión normal al plano del muro, la cual ha sido observada con mucha frecuencia en sismos pasados.

En cada dirección debe proporcionarse una densidad adecuada de muros para resistir las fuerzas sísmicas, la distribución de los elementos resistentes debe ser en lo posible simétrica para evitar problemas de torsiones en planta que aumenten las fuerzas laterales en los muros.

Debido a que la fuerza sísmica es una carga alternada y que los mecanismos de falla y el comportamiento de un muro son diferentes cuando se aplican cargas monotónicas, es necesario realizar ensayos de muros de adobe bajo la acción de cargas cíclicas.

Es necesario investigar la interacción entre el adobe y otros materiales (madera, caña, etc.) bajo sollicitaciones sísmicas, así mismo es necesario realizar ensayos de viviendas de adobe o módulos a escala reducida o natural, con la finalidad de conocer el comportamiento integral de toda la estructura.

BIBLIOGRAFIA

1. YAMASHIRO, R., SANCHEZ, A., MORALES, R.
"Diseño Sísmico de construcciones de adobe y bloque estabilizado" - Primera parte: Propuesta de Diseño de Construcciones de adobe y bloque estabilizado, - Dpto. de Estructuras y Construcción, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1977.
2. MORALES, R., SANCHEZ, A., YAMASHIRO, R.
"Diseño Sísmico de construcciones de adobe y bloque estabilizado" - Segunda parte: Un Procedimiento de Diseño de construcciones de adobe, Dpto. de Estructuras y Construcción, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1977.
3. BAZAN, E., PADILLA, M., MELI, R.
"Análisis Sísmico de Vivienda de Adobe", Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1978.
4. BLUME, J. A.
"Earthen Buildings and Earthquakes", Proc. of International Workshop - Earthen Buildings in Seismic Areas, University of New Mexico, 1981.
5. BREEN, J. E.
"Fabrication and Tests of Structural Models", Journal of the Structural Division, Proc. American Society of Civil Engineers, Vol. 94, N° ST6, 1968.

6. THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR EARTHQUAKE ENG.
"Basic Concepts of Seismic Codes", Tokyo, Japan,
1980.
7. MAYES, R. L., CLOUGH, R. W.
"State of Art in Seismic Strength of Masonry an Eva
luation and Review", University of California, Ber-
keley, EERC Report N° 7521, 1975.
8. CRISOSTO, L.
"Recomendaciones para las Construcciones de Adobe -
en Regiones Sísmicas", Proc. of International Work-
shop - Earthen Buildings in Seismic Areas, Universi
ty of New Mexico, 1981.
9. ININVI.
"Normas Técnicas de Edificación" - Norma E-080 Ado
be, Ministerio de Vivienda y Construcción, Lima, -
Perú, 1985.
10. MELI, R., HERNANDEZ, O.
"Refuerzo de Vivienda de Adobe en zonas sísmicas",
Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autó
noma de México, 1978.
11. ARYA, A. S., BOEN, T.
"Earthquake Resistant Construction of Earthen Hous
ing", Proc. of International Workshop - Earthen -
Buildings in Seismic Areas, University of New Mexi
co, 1981.
12. KRAWINKLER, H.
"Testing methodologies for Earthen Buildings". Me-
morias del Seminario Latinoamericano de Construc -

ciones de tierra en áreas sísmicas, Pont. Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, 1983.

13. ROSENBLUETH, E.

"Design of Earthquake Resistance Structures", John Wiley & Sons, Inc., New York, 1980.

14. MAYES, R. L., CLOUGH, R. W.

"A Literature Survey Compressive, Tensile, Bond and Shear Strength of Masonry", University of California, Berkeley, EERC Report N° 7515, 1975.

15. MORALES, R., TORRES, R., RENGIFO, L., IRALA, C.

"Manual para la Construcción de Viviendas de Adobe", Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 1985.

16. MELI, R., HERNANDEZ, O., PADILLA, M.

"Strengthening of Adobe Houses for Seismic Actions", Proc. of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, 1980.