

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE INGENIERIA



MAMPOSTERIA POSTENSADA

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A

HERIBERTO DE JESUS AGUILAR JUAREZ

México, D. F.

1979



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis 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.

CONTENIDO

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS
 2. DESARROLLO DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL
 - 2.1 Especímenes
 - 2.2 Sistema de postensado
 - 2.3 Descripción de los ensayos
 - 2.4 Deformaciones debidas a cambios de humedad y temperatura
 - 2.5 Resultados obtenidos
 - 3.- MODELOS TEORICOS PARA PREDICION DE LAS DEFORMACIONES DIFERIDAS
 - 3.1 Selección de los modelos
 - 3.2 Sólido de tres parámetros
 - 3.3 Fluido de cuatro parámetros
 - 3.4 Constantes viscoelásticas de los especímenes
 4. RECOMENDACIONES PRELIMINARES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION
 - 4.1 Diseño del refuerzo
 - 4.2 Aspectos constructivos
 - 4.3 Aplicación del presfuerzo
 5. CONCLUSIONES
 6. REFERENCIAS
- APENDICE
- TABLAS Y FIGURAS

1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La introducción de presfuerzo en elementos de mampostería con funciones estructurales es una técnica que se ha utilizado con cierta frecuencia en las últimas décadas con diversos fines específicos. La reparación de estructuras antiguas de piedra natural y el mejoramiento del comportamiento ante sismo o hundimientos diferenciales de muros de mampostería, son los principales usos que se han dado al presfuerzo, el cual se introduce generalmente por medio de cables de acero de alta resistencia tensados mediante gatos hidráulicos.

En 1964 H.E. Tasker publica en Australia unas recomendaciones para el diseño y construcción de estructuras de muros de bloque o de tabique contruñidos en suelos reactivos. Aunque basadas totalmente en experiencias limitadas de campo y

laboratorio, se proporcionan recomendaciones referentes a la forma de los edificios, cimentación, situación y dimensiones de aberturas en los muros, materiales de construcción, detalles constructivos y, sobre todo, al detallado del refuerzo vertical y horizontal y a la magnitud de las cargas de presfuerzo que han de introducirse (Ref. 1).

El comportamiento estructural de muros reforzados de mampostería ha sido estudiado experimentalmente bajo sollicitaciones tales como carga lateral y hundimientos diferenciales, ante las cuales el comportamiento de la mampostería convencional es deficiente, considerando que la introducción del presfuerzo podría ser una solución.

A. T. Hinkley (Ref. 2) reporta en 1966 una serie de ensayos, bajo carga lateral, en muros de cortante construidos a base de tabiques, algunos de ellos con presfuerzo vertical; cuyo fin es estudiar la acción de muros soportados por vigas. Las principales conclusiones obtenidas son: el incremento en la resistencia de la mampostería gracias a la introducción del presfuerzo, la mayor eficiencia del presfuerzo en los extremos de los muros con respecto al presfuerzo uniformemente distribuido y la conveniencia de aplicar cierto presfuerzo vertical a la mitad de los muros con objeto de limitar el agrietamiento inicial.

También bajo carga lateral fueron los estudios rea-

lizados por A. W. Hendry en 1971, con finalidad principal de obtener mayor información acerca de la resistencia a cortante de muros de mampostería construidos con tabiques, bajo niveles variables de precompresión. Los resultados de estas pruebas, sobre especímenes a escala natural, concordaron con los obtenidos previamente en modelos. Como consecuencia de la investigación se propone como esfuerzo de trabajo permisible en cortante, para muros construidos con tabique y mortero 1: y $1/4$: 3, 15 lbf/in² mas un sexto de la precompresión (Ref. 3).

El funcionamiento de la mampostería postensada, ante cargas originadas por asentamiento del terreno, fue investigado por S. Rosenhaupt, en un muro a escala natural construido a base de bloques huecos de concreto y sujeto a un presfuerzo inicial. La prueba indicó que los problemas asociados con casas de mampostería construidas sobre terrenos en movimiento podrían resolverse usando técnicas de postensado similares a las usadas en el estudio. Se demostró además que, en el diseño de los muros, la analogía de la armadura constituye un auxiliar definitivo para el proporcionamiento de los miembros de confinamiento superior e inferior y el detallado del presfuerzo requerido (Ref. 4).

Para lograr un diseño racional de los muros postensados es necesario conocer, entre otras cosas, la pérdida de presfuerzo que puede esperarse, bien sea debido a deficien---

4

cias propias del sistema de presfuerzo o bien a las deformaciones diferidas de la mampostería. Al respecto se cuenta ya con información, aunque limitada, proveniente de los estudios realizados por E. Tatsa y D. Lenczner.

E. Tatsa (Ref. 5) midió, en muros presforzados de bloque de concreto, la pérdida de presfuerzo debida a contracción y a las deformaciones con el tiempo bajo carga sostenida de la mampostería. La razón por la que el estudio se limitó a estas dos fuentes de pérdida se desprende del siguiente razonamiento: "La pérdida total de presfuerzo comprende dos categorías de componentes: pérdidas asociadas con la técnica de presfuerzo (fricción y anclaje), y pérdidas debidas a las propiedades de los materiales. La primera categoría es irrelevante en muros de bloque de concreto, en los que hay ausencia de fricción (efectuándose el presfuerzo por medio de cables rectos, sin recurrir a ductos), y las pérdidas en el anclaje pueden ser compensadas. En estas circunstancias y considerando que la pérdida por relajamiento del acero se conoce de ante mano, el estudio experimental debe confinarse a contracción libre y deformaciones con el tiempo". Las conclusiones obtenidas fueron las siguientes:

i) Las pérdidas de presfuerzo en muros de mampostería son del mismo orden de magnitud que las del concreto presfuerzado convencional (hasta de un 20%).

ii) debe mejorarse la calidad de las juntas (mortero de alta calidad con bajo contenido decal), o bien, reducir su frecuencia a fin de disminuir las considerables pérdidas de presfuerzo que causan,

iii) no es deseable presforzar muros a temprana edad, ni encontrándose éstos húmedos.

D. Lenczner (Ref. 6), por su parte, ha estudiado el fenómeno de deformaciones diferidas en mampostería de tabique construida usando morteros 1: $\frac{1}{4}$: 3 ó 1: 1: 6, y sometida a diversos niveles de carga sostenida. Entre los resultados del estudio destaca la magnitud de la deformación diferida medida en muros con mortero 1: $\frac{1}{4}$: 3, la cual asciende a un 30 % de la inicial y tiene lugar en los primeros tres meses; en tanto que en los muros con mortero 1: 1: 6 se observa una notable influencia de la temperatura y la humedad, las cuales provocan deformaciones mayores incluso que las debidas a la carga sostenida.

En la práctica existe ya el precedente de estructuras reales en operación, construídas usando el sistema de muros postensados. En efecto, J. R. G. Hanlon reportó en 1970 (Ref. 7) la construcción de un edificio de 6 niveles a base de muros postensados de bloque de concreto, como resultado de la experiencia adquirida en pruebas de laboratorio y en la construcción de estructuras de uno y dos niveles, todas ellas

a base de mampostería postensada. La finalidad del presfuerzo es, para Hanlon, incrementar la resistencia de las estructuras al daño producido por sismos, y al mismo tiempo, al agrietamiento debido a contracción y cambios de temperatura. El presfuerzo se logra por medio de tendones que se extienden a toda la altura del edificio anclándose en la cimentación mediante una lasada en "U". Cada tendón se utiliza así, como un cable doble. No se presentó ningún problema grave durante la construcción. El manejo de los largos tendones no fue muy difícil, enrollándolos y llevándolos en el andamiaje, fuera del sitio de trabajo, mientras se levantaban los muros. La estabilidad de la estructura durante el avance de la construcción se aseguró tensando y anclando todos los cables en el primer piso, una vez colocada la losa de concreto; tensando y anclando un número reducido de cables en el segundo piso, una vez alcanzado y continuando así, sucesivamente, en toda la altura del edificio. La dificultad de sostener el tendón en cada nivel, dada su longitud mas allá del punto de anclaje se resolvió haciendo pasar el tendón por el gato cada vez; se anota, sin embargo, lo ventajoso que resultaría un gato especialmente diseñado que fuera capaz de sostener el tendón y tensarlo sin que éste tuviera que hacerse pasar a través del barril de aquel. Por lo que toca a la función del acero de refuerzo, se destaca la importancia que tiene el refuerzo hori-

zontal tanto en muros reforzados como en muros presforzados.- Finalmente, el autor manifiesta su personal satisfacción con la técnica del postensado, a la que atribuye además cierta -- ventaja de tipo económico con respecto a otros sistemas usuales.

El uso creciente de la mampostería con funciones es estructurales y los exitosos antecedentes en la técnica de --- presforzarla, mencionados en los párrafos anteriores, hacen - indispensable el estudio sistemático del funcionamiento del - sistema bajo diversos niveles de precompresión y en materia-- les de construcción de características varias, con objeto de-- disponer de información suficiente como para elaborar recomen-- daciones de diseño y construcción racionales y ampliamente -- fundamentadas.

En respuesta a dicha necesidad y con objeto de ratificar y completar la escasa información existente al respecto, se desarrolló en el Instituto de Ingeniería de la UNAM un -- programa de investigación en muros postensados de mampostería de bloques y tabiques de características diversas, cuyo desa-- rrollo y resultados se describen en el capítulo siguiente.

Los objetivos específicos del mencionado programa - fueron los siguientes:

- 1) Determinar un sistema de presfuerzo adecuado

- 2) Valuar las pérdidas de carga asociadas al sistema de presfuerzo seleccionado
- 3) Valuar las deformaciones diferidas de diversos tipos de mampostería
- 4) Valuar las deformaciones de las mampostería por cambios de humedad y temperatura
- 5) Desarrollar modelos matemáticos para predecir -- las deformaciones diferidas de mampostería
- 6) Presentar recomendaciones preliminares de diseño y construcción;

2. DESARROLLO DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL.

2.1. Especímenes.

2.1.1. Primera etapa.

Para la primera etapa del programa experimental seleccionaron dos tipos de piezas: tabique extruido de barro y bloque de concreto, con resistencia nominal de 90 y 40 Kg/cm² sobre area bruta, respectivamente y tres tipos de mortero: -- 1: 0: 3, 1: 1: 6 y 1: 0: 6. La combinación de los diversos tipos de piezas y morteros permitió obtener mamposterías con diferentes características, sobre todo en cuanto a resistencia, con las cuales se construyeron pequeños muros de 60 x 90 cm, - aproximadamente, para ser utilizados como especímenes. Tales muros se construyeron por duplicado, colocando uno sobre otro

con el fin de elevar la confiabilidad de los resultados.

Las características de las mamposterías se obtuvieron mediante pruebas de comprensión en pilas con relación altura a espesor de aproximadamente 5; la calidad del mortero se midió con un ensaye de comprensión en cubos de 5 cm. por lado.

2.1.2 Segunda etapa.

A fin de contar con un rango mas amplio de aplicabilidad de los resultados, se seleccionaron, en una segunda etapa del programa, prezas de alta resitencia; tabique extruido de barro con resistencia nominal de 380 Kg/cm² y bloque de concreto cuya resistencia fue de 150 Kg/cm².

Por lo que toca a morteros, en esta segunda etapa se emplearon solo dos diferentes proporcionamientos: 1: 0: 3 y 1: 1: 6.

Los especímenes construidos fueron semejantes a los de la primera etapa, con ligeras variaciones en las dimensiones. La geometría de los especímenes utilizados se muestra esquemáticamente en la figura 1.

Aún cuando el programa experimental en su segunda etapa planteaba originalmente el ensaye de una gamma amplia de especímenes, el desarrollo de ésta se vió obstaculizado por diversas contingencias, lograndose ensayar debidamente solo tres pares de especímenes.

Las tablas 3 y 4 muestran las características de -- los especímenes de la primera y segunda etapas de este estu-- dio así como también los de otras investigaciones.

2.2 Sistema de postensado.

Las cargas de postensado se aplicaron a los muros - mediante barras de acero, en algunos casos, y cables de acero, en otros. Este último sistema se prefirió y se utilizó mas -- que el primero, dada la facilidad con que puede colocarse en muros previamente construídos, gracias a su flexibilidad.

En el anclaje de los cables se utilizó el sistema - de patente mexicana denominado RAMZA. Fueron varias las razo-- nez que condujeron a la elección de esta sistema entre varios existentes, siendo las principales de ellas lo reducido de -- las pérdidas de carga que en él se presentan cuando la longi-- tud del cable es corta y la facilidad para efectuar un reten-- sado de los cables .

El sistema de anclaje RAMZA consiste en sujetar los extremos de los cables de presfuerzo en barras metálicas con diferentes tipos de terminación. Esta sujeción es posible de-- bido a que la barra metálica presenta en uno de sus extremos-- una perforación longitudinal, en la cual se introduce un ex-- tremo del cable de presfuerzo, colocandose entre éste y la su-- perficie interior de la barra de anclaje, un material de liga-- mas duro que los dos primeros. Finalmente, la barra de ancla--

je se hace pasar por un dado cuyo diámetro interior es menor que el exterior de aquella (extrusión); el metal de la barra fluye alrededor del acero de presfuerzo y la sección de aquella se reduce, con lo cual el acero de presfuerzo queda prensado. El material de liga se incrusta entre los dos materiales que lo rodean y constituye una traba mecánica que trabaja a cortante.

Las barras de anclaje pueden tener diversidad de terminaciones, como se muestra en la figura 2 .

El sistema descrito combina en su funcionamiento dos tipos de anclaje tradicionales:

a) el apoyo directo, que se logra mediante una terminación roscada o una ampliación de botón,

b) el sistema de anclaje por fricción, a base de presión residual.

De esta manera se conjugan en un solo sistema las principales ventajas de cada uno de los tipos de anclaje mencionados, que son:

i) la ausencia de pérdidas por corrimiento en el anclaje, propia del sistema de rosca,

ii) la posibilidad de aumentar la fuerza de sujeción independientemente de la fuerza longitudinal que actúa en los cables, típica de un anclaje por fricción.

Por otra parte, este sistema elimina las principa-

les desventajas que normalmente presentan los sistemas tradicionales ya que

i) el roscado en el sistema RAMZA no reduce el área de la sección transversal útil,

ii) no existe aquí el peligro de bajas en la eficiencia de la sujeción como consecuencia de disminuciones accidentales en la presión residual o en el coeficiente de fricción-

iii) no se requiere el uso de grandes prensas para -- efectuar la sujeción (el equipo de extrusión es portátil).

2.3. Descripción de los ensaves.

Utilizando el sistema de postensado descrito en la sección anterior, se ensayaron los especímenes bajo diversos niveles de carga.

2.3.1 Formas de ensaye.

En la primera parte del programa experimental se -- llevaron a cabo dos tipos de ensaye diferentes en respuesta a dos diversos objetivos.

Por una parte se deseaba cuantificar la pérdida total en la carga de presfuerzo debida principalmente a las deformaciones diferidas de la mampostería y a las pérdidas propias del sistema de postensado: relajamiento del acero y pérdidas en el anclaje. El objetivo era relacionar la magnitud de dichas pérdidas con el tipo de material utilizado. Con --

ese fin se aplicó presfuerzo a cinco parejas de especímenes, dos de tabique y tres de bloque. Con mucho cuidado y presión se midió la carga de presfuerzo, tanto al aplicarla como al removerla después de 12 meses, con lo cual fue posible conocer la pérdida buscada.

Un segundo objetivo era acotar el valor de la deformación diferida de diversos tipos de mampostería para los niveles de carga estudiados. Para ello se realizaron ensayos bajo carga sostenida por espacio de 18 meses, durante los cuales, se midieron las deformaciones de las mamposterías, diariamente en un principio y semanalmente después.

2.3.2 Sistema de carga.

Para el caso de carga sostenida se empleó el mismo sistema de postensado que para los ensayos de pérdidas de presfuerzo, solo que se introdujo en la parte superior del muro, entre la dala de distribución de la carga y la placa de sujeción del anclaje, un dispositivo a base de resortes de acero con rigidez total suficientemente pequeña como para no variar sensiblemente la carga a la que se ven sometidos, como resultado de pequeñas variaciones en la deformación inicial del cable de presfuerzo.

Las deformaciones de los resortes se midieron con cintas metálicas graduadas, con una aproximación de 1 mm. fijadas al dispositivo de carga. Gracias a ellas fue posible verifi--

car constantemente el estado de deformación de los resortes y constatar que las variaciones a lo largo del tiempo de ensaye fueron mínimas, tanto que no se hizo necesario, salvo en contadas ocasiones, efectuar ajuste alguno en la carga aplicada.

El sistema de carga, tal como se utilizo en las --- pruebas bajo carga sostenida, se muestra en la figura 3.

En la segunda fase del programa solo se realizaron ensayes bajo carga sostenida, con duración de algomas de un año.

La carga se aplicó a cada pareja de especímenes por medio de una línea de gatos hidráulicos apoyados en la parte superior y reaccionando contra una pequeña trabe metálica encargada de transmitir la carga total directamente al acero de presfuerzo.

Una vez alcanzada la carga deseada, los cables se fijaban apretando una tuerca y se retiraba la carga de los -- gatos..

El control de la carga se efectuo, en los ensayes - de pérdidas de presfuerzo, mediante un manómetro previamente calibrado, conectado a la línea de gatos; y en los ensayes - bajo carga sostenida, por la deformación medidas e n los resor tes, también previamente calibrados.

2.3.3 Sistemas de medición.

Las deformaciones en las mamposterías se midieron,- en la primera etapa del programa, mediante micrómetros de ca-

rátula con aproximación de 0.01 mm. y 0.001 mm, y transductores de deformación de corriente directa (DCDT).

En los ensayos de la segunda etapa, se utilizaron micrómetros con aproximación de 0.01 mm, exclusivamente.

Como se observa en la figura 3, los deformímetros se instalaron por parejas en cada espécimen uno a cada lado de éste, con el fin de considerar los efectos de excentricidad accidental de la carga en las deformaciones medidas.

2.4 Deformaciones debidas a cambios de humedad y temperatura.

Aún cuando los especímenes en estudio (muros postensados) se construyeron y ensayaron en un local provisto de cierto aislamiento térmico, se presentaron, en la primera etapa del programa pequeñas variaciones de temperatura que se pensó, podrían ser causa de deformaciones significativas, adicionales a las debidas al postensado. Por otra parte, no se controló en lo absoluto la humedad del local, presentándose variaciones considerables de ésta sobre todo a lo largo de las distintas épocas del año.

Dado que interesaba conocer el comportamiento de los muros debido exclusivamente al postensado, sin influencias de ninguna otra clase, era necesario determinar, de las deformaciones totales registradas, la fracción debida a causas ajenas a la carga de presfuerzo, a fin de eliminarla posteriormente. Para ello, se midieron en especímenes testigos -

(sin carga alguna), las deformaciones producidas por cambios de humedad y temperatura. El objetivo, sin embargo, se logró solo en parte como se verá en la sección 2.5.2.

Como testigos se utilizaron cuatro pilas de mampostería correspondientes a las cuatro combinaciones de materiales (piezas y morteros) empleados en los muros. Las características de las pilas se muestran en la tabla 1.

Las pilas de tabique consistieron de 8 piezas juntas con mortero, lo cual dió una altura de 50 cm; las de bloque de concreto, por su parte, se construyeron utilizando solo 3 piezas en cada una, con altura total de 60 cm.

A lo largo del año que duró el ensaye los testigos se mantuvieron en el mismo local que los muros en ensaye y, por lo tanto, sometidos a las mismas condiciones ambientales.

Las deformaciones de los testigos se midieron a intervalos de 24 horas aproximadamente, al mismo tiempo que se medían las deformaciones en los muros, utilizando para ello micrómetros con aproximación de 0.001 mm. La figura 4 muestra el sistema de medición utilizando.

Las condiciones de humedad relativa y temperatura existentes en el momento de la medición de deformaciones en testigos y muros, se midieron mediante un humedímetro termómetro marca "Hanni" con aproximación de 2 % de humedad relativa y 1°C de temperatura.

Como resultado de una cuidadosa inspección de las deformaciones de las pilas testigos y de los cambios totales de humedad y temperatura, se observó que aquellas guardaban con éstos una estrecha relación aproximadamente lineal, al menos para los rangos de variación observados (± 2.6 °C de temperatura y $\pm 10\%$ de humedad relativa). Esto sugirió la posibilidad de adoptar algún modelo matemático sencillo que describiera analíticamente el comportamiento observado en los testigos con fines de predicción básicamente.

Se propuso como primer modelo el siguiente:

$$\epsilon_t = a \Delta H + b \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

donde

ϵ deformación unitaria del testigo a un tiempo t (en días) de iniciada la observación. Es positiva tratándose de acortamiento.

ΔH , ΔT incremento de humedad y temperatura respectivamente, t días después de iniciada la observación.

a , b constantes a determinar mediante el ajuste del modelo matemático al grupo de datos observados.

Debe notarse que el modelo anterior supone una exclusividad de las variables ΔH y ΔT como causa de la deformación de las pilas, esperándose, por tanto, una deformación nula al ser los incrementos ΔH y ΔT ambos iguales a cero.

Se observó, sin embargo, que tal consideración no siempre se verificaba en los ensayos; ello llevó a utilizar un segundo modelo que permitiera apreciar si las discrepancias mencionadas eran o no, dignas de tomarse en cuenta. El modelo propuesto fue:

$$\epsilon = a\Delta H + b\Delta T + c \dots\dots\dots (2)$$

donde ϵ , ΔH , ΔT , a y b tienen el mismo significado que en el primer modelo y c es una constante adicional que representa la cota al origen del plano que, geoméricamente, representa el modelo. De acuerdo a las consideraciones del párrafo anterior, c debería tomar un valor muy pequeño como resultado del ajuste del modelo a los grupos de datos.

El ajuste de los modelos matemáticos propuestos se realizó por el método de mínimos cuadrados. En la tabla 1 se muestran las constantes de correlación calculadas para cada uno de los testigos y los coeficientes de correlación correspondientes.

Los coeficientes de correlación obtenidos, indican que la correlación es bastante alta. Esto se observa tanto en el modelo (1) como en el modelo (2), excepción hecha del testigo 2 con el modelo (1), en el cual se tiene un coeficiente de correlación de 58%. Lo anterior prueba la eficacia de ambos modelos para representar la relación que existe entre las variables estudiadas.

Los coeficientes de correlación son, sin embargo, -
 mas altos para el modelo (2), indicando una superioridad en -
 calidad de ajuste de este modelo sobre el (1). Tal resultado-
 es justamente contrario al esperado, ya que el adoptar el mo-
 delo (2) como bueno, implica aceptar la existencia de deforma-
 ciones en los testigos no debidas exclusivamente a cambios en
 los factores climatológicos considerados. Por otra parte, la-
 información recabada no es suficiente como para extraer de -
 ella una explicación definitiva a lo anterior. Cabe, no obs--
 tante, destacar el hecho de que la parte no explicada de las-
 deformaciones, dada en el modelo (2) por la constante C, es -
 positiva en todos los casos; con base en esto, podría tratar-
 de explicarse dicha constante como el retraso en la recupera-
 ción de las deformaciones positivas (de compresión) del mate-
 rial, al presentarse variaciones súbitas de humedad y tempera-
 tura en el ambiente.

2.5. Resultados obtenidos.

2.5.1 Pérdidas de presfuerzo.

En la tabla 2 se presentan los esfuerzos en la --
 mampostería al inicio y al final de las pruebas de cuatro de-
 los especímenes ensayados para determinar las pérdidas de --
 presfuerzo. Cada espécimen corresponde a una de las posibles-
 combinaciones de piezas y morteros estudiados.

La diferencia entre los esfuerzos inicial y final -

en la mampostería representa la pérdida total de carga, la -- cual se encuentra anotada en la tabla como porcentaje de la -- carga inicial. (Exactamente el mismo resultado se obtiene si -- la pérdida se calcula a partir de la diferencia entre esfuer- -- zos inicial y final en el acero de presfuerzo).

En la misma tabla se incluye un desglose de la pér- -- dida total, realizado de manera aproximada con base en las si- -- guientes consideraciones:

i) el relajamiento en el acero, se supuso, con base -- en la experiencia, igual al 3% para todos los muros;

ii) la pérdida de presfuerzo en el acero debida a la -- deformación diferida de la mampostería (que incluye la debida -- a cambios de humedad y temperatura) se calcula a partir de la -- deformación medida momentos antes de remover la carga de pres- -- fuerzo, considerando un módulo de elasticidad del acero igual -- a 2×10^6 Kg/cm² (no hay que perder de vista que toda defor- -- mación de la mampostería presforzada produce una deformación -- (o recuperación) equivalente en el acero de presfuerzo, la -- que a su vez conlleva un incremento (o decremento) de esfuer- -- zo en el acero, siendo la relación entre éste y aquella el mó- -- dulo de elasticidad del acero);

iii) la diferencia entre la pérdida total y la suma -- de las enunciadas en los dos incisos anteriores se atribuyen -- al sistema de anclaje.

En los muros de tabique la pérdida total es aproximadamente del 10% y en los de bloque, del 20%. Este último valor coincide con el reportado por Tatsa, Ref. 5. Sin embargo, parte de estas pérdidas o la totalidad, pueden recuperarse si se efectúa un retensado de los cables.

Puede observarse que en las mamposterías de tabique se tiene un porcentaje de pérdidas del orden de la mitad del que se tiene en mamposterías de bloque aún cuando las primeras tienen un mayor número de juntas. Esto pone de relieve la influencia que el tipo de pieza tiene en la magnitud de la pérdida total.

Nótese también que, para un mismo tipo de pieza, el porcentaje de pérdida es menor cuando el mortero es de buena calidad.

Como puede apreciarse, las pérdidas por deformación diferida de la mampostería constituyen aproximadamente el 25% de la pérdida total en el caso de muros de tabique y el 40% - para mamposterías de bloque de concreto; el resto se debe a - relajamiento del acero y, sobre todo, a pérdidas en el anclaje.

2.5.2 Deformaciones diferidas.

En las figuras 5 y 6 se presenta la variación de la deformación de los especímenes, con el tiempo. Para su construcción se ha convenido en considerar positivos a los acortamientos y negativos a los alargamientos.

Como puede verse, las deformaciones en el tiempo -- presentan una variación bastante irregular, tanto en las pruebas de la primera etapa del programa como en las de la segunda etapa, lo cual hace pensar en la influencia de factores externos ajenos a la carga de presfuerzo, tales como cambios de humedad y temperatura del ambiente, a pesar de que la temperatura fue parcialmente controlada.

Con objeto de conocer el efecto que los cambios de clima producen en las deformaciones de las mamposterías, en la segunda etapa del programa de ensayos se midieron éstas en testigos colocados en el mismo local que los especímenes, tal como se detalló en la sección 2.4. En la figura 6 se graficaron las deformaciones medidas en algunos de los testigos -- junto con las de sus especímenes correspondientes.

La evidente similitud en el comportamiento de los especímenes (bajo carga) y de los testigos (sin carga alguna) prueba la influencia de las condiciones ambientales en la deformación diferida de los primeros. Ahora bien, el que dicha influencia la ejercen precisamente la humedad y la temperatura se comprueba fácilmente si se observa en la figura 7 el trazo perfectamente regular de las curvas de comportamiento de los muros ensayados por Lenczner (Ref. 6) bajo un estricto control de los dos factores mencionados.

En la misma figura 6 se nota además que las defor-

naciones en los testigos, debidas exclusivamente a cambios de clima, son del mismo orden de magnitud que las debidas, en los especímenes bajo carga sostenida, al efecto del presfuerzo.

Hay un detalle mas que se advierte en las gráficas de la figura 6, y es que, si se consideran las deformaciones relativas, esto es, de una fecha a otra, de cualquiera de los muros p9 y Pl0, y se comparan con las de su correspondiente testigo, se observa que, cuando dichas deformaciones son negativas (alargamientos), son siempre considerablemente menores en los muros bajo carga que en los testigos. Se reconoce en ello la acción del postensado, el cual restringe los alargamientos debidos a variaciones de la humedad y de la temperatura ambientes. (El efecto señalado no es apreciable en el muro Pl debido, quizá, al bajísimo nivel de esfuerzo vertical).

Lo anterior va de acuerdo con lo que la simple intuición sugiere y no tendría mayor importancia de no ser porque precisamente el efecto mencionado constituye el obstáculo que nos impide "aislar" las deformaciones debidas al presfuerzo exclusivamente de las debidas a los cambios de clima. Para esto, el procedimiento que primero se antoja consistiría en descontar a las deformaciones de cada uno de los especímenes, las de su correspondiente testigo. La aplicación de tal procedimiento conduce a resultados definitivamente absurdos.

Así pues, no es posible conocer, a partir de las -- pruebas realizadas, el efecto (deformaciones) que, en un breve lapso, produce sobre un muro el postensado; aunque sí es posible, como se verá enseguida, conocer el efecto a largo plazo.

Para ello se utilizaron las deformaciones medidas - en los especímenes a los doce meses de iniciados los ensayos y, por tanto, en la misma época del año que al inicio de las mediciones. El registro de humedades y temperaturas llevado a lo largo de la segunda etapa de ensayos revela, para esas fechas, - una repetición mas o menos aproximada de las condiciones ambientales de humedad y temperatura, al tiempo que las gráficas de compartimiento ($\epsilon - t$) de los testigos exhiben una casi total anulación de sus deformaciones. Todo lo anterior determina que, para este tiempo (al año de iniciado el ensayo), la deformación medida en los especímenes no puede ser atribuida a cambios de humedad o temperatura en el ambiente, sino casi única y exclusivamente al efecto a largo plazo de la carga a la que han estado sometidos; precisamente la deformación -- que nos interesa conocer.

Por otra parte, cabe suponer que el valor de la deformación medida tras doce meses de ensayo representa casi el valor máximo que, por concepto de la carga sostenida, puede - esperarse. En los ensayos realizados por Lenczner (figura 7)

el incremento de deformación cesa prácticamente, después de un lapso que va, según el nivel de carga, de 5 a 16 semanas de iniciado el ensaye.

Los valores de las deformaciones mencionados en los párrafos anteriores se presentan en la tabla 3 y las reportadas por Lenczner (Ref. 6) en la tabla 4.

Las deformaciones medidas, tras doce meses de ensaye, en los especímenes, con postensado normal también se incluyeron en la tabla 3 por no diferir sensiblemente de las medidas en los especímenes sujetos a carga sostenida, considerando como esfuerzo efectivo en los primeros, el promedio entre inicial y el final.

Con relación a la información de las tablas 3 y 4, se pueden concretar las siguientes observaciones.

Las deformaciones iniciales son aproximadamente proporcionales a los esfuerzos aplicados y son mayores para morteros mas pobres.

La deformación diferida depende en gran medida del tipo de pieza, siendo varias veces mayor en las mamposterías de bloque que en las de tabique, para un mismo esfuerzo aplicado. En promedio se tiene una deformación diferida de 0.0001 en muros de tabique y de 0.0003 en muros de bloque.

Además, dentro de las mamposterías de tabique, la deformación diferida es menor en muros construidos con piezas

de alta resistencia que en los contruidos con piezas de resistencia normal, con todo y que el nivel de carga al que se someten los primeros es normalmente mayor. En las mamposterías de bloque la deformación diferida parece independiente de la calidad del bloque.

Respecto a la relación de la deformación diferida con las características de resistencia de los materiales se puede decir que ésta depende en mayor grado de la resistencia del mortero que de la resistencia de la mampostería. Ello se comprueba en las figuras 8 y 9. En efecto, en la primera se advierte que no existe relación alguna entre el cociente de deformaciones diferida a inicial (ϵ_d/ϵ_i) y el nivel de carga axial en la mampostería (σ/f_m); en cambio, en la segunda se observa una clara relación entre el mismo cociente de deformaciones y el de carga axial en el mortero (σ/f_b). La relación es como sigue:

i) En muros contruidos con morteros de buena calidad (1; $1/4$; 3 y 1; 0; 3) y para bajos niveles de carga axial en el mortero, el valor de ϵ_d/ϵ_i decrece a medida que crece σ/f_b , sin embargo a partir de cierto valor "crítico" de dicho nivel de carga, la relación se invierte y el valor de ϵ_d/ϵ_i aumenta al aumentar σ/f_b . La relación se mantiene cualitativa y cuantitativamente independientemente del tipo de piezas y viene dada en forma aproximada por las expresio--

nes siguientes.

$$\epsilon_d/\epsilon_i = - 26.75 \sigma/fb + 2.76 , \text{ para } \sigma/fb < (\sigma/fb)_{cr}.$$

$$\epsilon_d/\epsilon_i = 0.50 \sigma/fb + 0.11 , \text{ para } \sigma/fb > (\sigma/fb)_{cr}.$$

ii) En muros construidos con morteros de menor calidad (1; 1; 6 y 1; 0; 6) la relación es cualitativamente similar a la descrita para morteros de buena calidad. Cuantitativamente, sin embargo, difiere de la anterior y varía dependiendo del tipo de piezas y mortero utilizados. En este caso las siguientes expresiones describen aproximadamente la relación.

$$\epsilon_d/\epsilon_i = - 16.58 \sigma/fb + 3.94 , \text{ para } \sigma/fb < (\sigma/fb)_{cr}.$$

$$\epsilon_d/\epsilon_i = 1.63 \sigma/fb - 0.17 , \text{ para } \sigma/fb > (\sigma/fb)_{cr}$$

ii) Para morteros de buena resistencia la relación crítica $(\sigma/fb)_{cr}$ es aproximadamente 0.1 , mientras que para los morteros de menor calidad es 0.2 , aproximadamente.

3.- MODELOS TEORICOS PARA PREDICCIÓN DE LAS DEFORMACIONES DIFERIDAS.

3.1. Selección de los modelos.

La mampostería de piedras artificiales, al igual -- que algunos otros materiales, presenta, cuando se somete a -- compresión, un comportamiento que se caracteriza por la notable influencia de la velocidad con la que se aplica la carga -- sobre la magnitud de la deformación producida y por el incremento de las deformaciones con el tiempo, bajo carga sostenida, las cuales se producen con una velocidad que depende directamente de la intensidad de la carga aplicada. Este comportamiento se denomina "viscoelástico" y las deformaciones -- con el tiempo debidas a la acción de la carga sostenida se conocen como "deformaciones diferidas" o "creep".

El conocimiento de las deformaciones diferidas que se presentan en la mampostería resulta de particular interés cuando se trata de diseñar las cargas a aplicar en muros a los que se les inducirán cargas de presfuerzo, ya que, con el tiempo, dichas deformaciones originan pérdidas en la magnitud de la carga de presfuerzo, las que, de ser demasiado grandes, podrían llegar a anular las ventajas del sistema.

De lo anterior se desprende la necesidad de contar con algún modelo matemático que nos permita predecir de manera aproximada la magnitud de las deformaciones diferidas que han de esperarse en una determinada mampostería. Dicho modelo debe permitir obtener un valor de la deformación que habrá de presentarse a un plazo determinado y un valor de la máxima deformación posible dada la magnitud del esfuerzo aplicado y ciertas características propias del material.

La teoría lineal de la viscoelasticidad proporciona modelos teóricos que reúnen las características enunciadas en variedad suficiente para representar el comportamiento de materiales reales involucrando un mayor o menor número de características o constantes de los mismos. De estos modelos se seleccionaron dos para describir con ellos el comportamiento a través del tiempo de los muros postensados de mampostería.

3.2. Sólido de tres parámetros.

La simple combinación de dos elementos, uno elásti-

co (resorte) y otro viscoso (amortiguador), conectados en paralelo, proporciona un modelo sencillo que asemeja de manera bastante aproximada el comportamiento de un elemento de material viscoelástico sometido a esfuerzo uniaxial, un muro postensado, por ejemplo. En este modelo el resorte funcionará de acuerdo a la ley de Hook: $\sigma = E\epsilon$, siendo σ el esfuerzo aplicado y ϵ la deformación unitaria producida; en tanto que el amortiguador se deformará con una velocidad directamente proporcional al esfuerzo aplicado, esto es $\dot{\sigma} = F \frac{d\epsilon}{dt} = F\dot{\epsilon}$.

Cabe notar que a la aplicación instantánea de un esfuerzo inicial σ_0 , cada uno de los elementos mencionados responde de manera distinta. El resorte se deformará instantáneamente pero el amortiguador no presenta deformación instantánea. Ello se desprende de su ecuación constitutiva si ésta se integra con respecto al tiempo

"t" en un intervalo $[-z, +z]$,

$$\int_{-z}^{+z} \sigma dt = \int_{-z}^{+z} F \dot{\epsilon} dt = F [\epsilon(+z) - \epsilon(-z)];$$

cuando $z \rightarrow 0$, $\int_{-z}^{+z} \sigma dt \rightarrow 0$,

quedando

$$0 = F \epsilon_0$$

de donde

$$\epsilon_0 = 0.$$

Como en el modelo viscoelástico ambos elementos están conectados en paralelo, su deformación es la misma y constituye la deformación total del sistema.

De todo lo anterior se deduce algo que es característico de nuestro modelo: el no ofrecer respuesta instantánea a acciones instantáneamente aplicadas.

Por su parte, los muros en estudio sí se deforman instantáneamente al aplicarles la carga, por ello es necesario refinar el modelo descrito constándole en serie un nuevo resorte que responda instantáneamente y represente la respuesta elástica, distinta de cero, de los muros postensados.

El esquema de la figura 10 muestra el modelo en su forma definitiva.

La ecuación diferencial que describe el comportamiento del sistema con el tiempo es:

$$\sigma + P \cdot \dot{\sigma} = q_0 \epsilon + q \cdot \dot{\epsilon} \quad (I)$$

donde σ es el esfuerzo aplicado,

ϵ es la deformación unitaria debida al esfuerzo σ en el tiempo "t",

q_0 , q , y P , son constantes propias del material y los puntos indican derivación con respecto al tiempo.

La deducción de la ecuación anterior se presenta en el apéndice.

Para el caso de esfuerzo constante ($\sigma = \sigma_0$), la solu

ción de la ecuación (1) está dada por

$$\varepsilon = \sigma_0 \left[\frac{1}{q_0} + \left(\frac{P_1}{q_1} - \frac{1}{q_0} \right) e^{-\frac{q_0}{q_1} t} \right] \quad (1)$$

La ecuación (1) puede también escribirse como

$$\varepsilon = \sigma \left[\frac{1}{Q} + \left(\frac{1}{E} - \frac{1}{Q} \right) e^{-t/TK} \right] \quad (2)$$

donde $E = q_1/P_1$

$$Q = q_0$$

$$TK = q_1/q_0$$

Observese que para $t=0$, $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$; se presenta una respuesta elástica instantánea con módulo de elasticidad E . -- Asimismo, si $t \rightarrow \infty$ se tiene que $\varepsilon \rightarrow \frac{\sigma}{Q}$ y la deformación no crece indefinidamente, sino que tiende al límite $\frac{\sigma}{Q}$, el cual es proporcional al esfuerzo. Este compartimento se asemeja al de un sólido elástico salvo que, a diferencia de él, nuestro modelo no alcanza la deformación final instantáneamente sino que se aproxima a ella de una manera gradual. Por esta razón se conoce a este modelo como el "sólido de tres parámetros".

El significado físico que se les podrá dar a los términos de la ecuación (2) es el siguiente:

ε deformación unitaria del elemento para el tiempo t

σ esfuerzo axial aplicado, (kg/cm^2)

Q módulo de elasticidad para $t = \infty$, (kg/cm^2)

E módulo de elasticidad para $t = 0$, (kg/cm²)

T tiempo en el cual se desea determinar la deformación

ϵ , (días)

TK constante propia del material (días)

En la figura 10b se muestra la gráfica de comportamiento del modelo.

3.3. Fluido de cuatro parámetros.

El segundo modelo utilizado resulta de agregar al sistema anterior un nuevo amortiguador viscoso conectado en serie, como se muestra en figura 11a.

La ecuación diferencial que describe el comportamiento del nuevo sistema es:

$$\sigma + P_1 \dot{\sigma} + P_2 \ddot{\sigma} = q_1 \dot{\epsilon} + q_2 \ddot{\epsilon} \quad (\text{II})$$

donde σ es el esfuerzo aplicado,

ϵ es la deformación producida en un tiempo T,

P_1 , P_2 , q_1 y q_2 son constantes propias del sistema, y los puntos indican derivación con respecto al tiempo.

La solución de la ecuación (II) para $\sigma = \sigma_0 =$ constante, es:

$$\epsilon = \sigma_0 \left[\frac{P_2}{q_2} + \frac{t}{q_1} + \left(\frac{P_1 q_1 - q_2}{q_1^2} - \frac{P_2}{q_2} \right) \left(1 - e^{-\frac{q_1}{q_2} t} \right) \right]$$

.....(3)

ecuación que puede también escribirse como:

$$\varepsilon = \sigma \left[\frac{1}{GM} + \frac{t}{EM} + \frac{1}{GK} (1 - e^{-t/TK}) \right] \quad (4)$$

$$\text{Donde } GM = q_2 / P_2$$

$$EM = q_1$$

$$GK = q_1^2 q_2 / (P_1 q_1 q_2 - q_1^2 P_2 - q_2^2)$$

$$TK = q_2 / q_1$$

Obsérvese que el nuevo modelo presenta también respuesta elástica instantánea, $\varepsilon(0) = \frac{\sigma_0}{GM}$, sin embargo, si -- ahora el tiempo de prueba t se prolonga indefinidamente la deformación ε crece también indefinidamente, como es característico en los fluidos.

La razón de usar este modelo simultáneamente con el anterior fue para detectar posibles desviaciones en el comportamiento de los especímenes con respecto al primer modelo. De no existir tales derivaciones, ambos modelos describirían a los prototipos de manera prácticamente equivalente. En efecto, si en la ecuación (4) EM es suficientemente grande, ver -- fig 11, la pendiente de la asíntota $1/EM$ se aproxima a cero, con lo cual la ecuación (4) puede escribirse en forma semejante a la ecuación (2) como sigue:

$$\varepsilon = \sigma \left[\frac{1}{Q^*} + \left(\frac{1}{E^*} - \frac{1}{Q^*} \right) e^{-t/TK} \right] \quad (5)$$

$$\text{donde } Q^* = GM \cdot GK / (GM + GK)$$

$$E^* = GM$$

El compartimiento de este modelo se muestra en la figura 11b.

3.4. Constantes viscoelásticas de los especímenes.

Usando el metodo de mínimos cuadrados se ajustaron lo modelos viscoelásticos descritos en la sección anterior a los grupos de datos integrados por las deformaciones medidas en los especímenes durante el transcurso de los ensayos, obteniendo así los valores de las constantes viscoelásticas correspondientes a cada uno de ellos.

Con objeto de reducir al mínimo posible la interferencia de agentes de deformación ajenos a la carga de presión (humedad y temperatura), se seleccionaron solo aquellos datos que se encontraron menos influidos de tales efectos. Así en el caso de los muros ensayados en la primera etapa del programa experimental, se desecharon los datos recabados entre las semanas 15 y 34, por ser éstos los mas afectados por cambios de clima, realizando el ajuste de los modelos teóricos al resto de los datos. Dado que en la segunda etapa se dispuso de la información arrojada por los testigos, fue posible seleccionar los datos correspondientes a aquellas fechas en las que la deformación de los testigos fue nula y realizar con ellos el ajuste, ya que cabe suponer que en tales ocasiones la deformación registrada en los muros se debió exclusivamente a la carga.

Por otra parte, tanto en la primera como en la segunda etapa se emplearon para el ajuste de los modelos, solo

los datos registrados dentro de los primeros doce meses de en saye, por las razones expuestas en la sección 2.5.

En las tablas 5 y 7 se presentan los valores de las constantes viscoelásticas del sólido de 3 parámetros y del -- fluido de 4 parámetros, respectivamente. Los valores tabula-- dos para cada muro son el promedio de los valores calculados-- para los especímenes superior e inferior.

En las tablas 6 y 8 se encuentran las constantes -- calculadas por el procedimiento descrito, para los muros de -- la referencia 6.

4. RECOMENDACIONES PRELIMINARES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION.

4.1. Diseño del refuerzo.

4.1. Magnitud del presfuerzo.

La magnitud de la carga de presfuerzo que puede aplicarse a un muro queda definida por la capacidad a compresión de éste y por la intensidad de las cargas verticales que habrá de resistir.

El incremento en la carga vertical debida al presfuerzo conlleva un incremento en la resistencia del muro a fuerza cortante, (Ref.10), el cual se toma en cuenta calculando dicha resistencia mediante la expresión.

$$V_R = F_R (0.5 v^* A_t + 0.3 P_a) \leq 1.5 F_R v^* A_t$$

donde P_a es la carga vertical que actúa sobre el muro (sin multiplicar por el factor de carga) incluyendo la carga de pres-

4. RECOMENDACIONES PRELIMINARES DE DISEÑO Y CONSTRUCCION.

4.1. Diseño del refuerzo.

4.1. Magnitud del presfuerzo.

La magnitud de la carga de presfuerzo que puede aplicarse a un muro queda definida por la capacidad a compresión de éste y por la intensidad de las cargas verticales que habrá de resistir.

El incremento en la carga vertical debida al presfuerzo conlleva un incremento en la resistencia del muro a fuerza cortante, (Ref.10), el cual se toma en cuenta calculando dicha resistencia mediante la expresión.

$$V_R = F_R (0.5 v^* A_t + 0.3 P_a) \leq 1.5 F_R v^* A_t$$

donde P_a es la carga vertical que actúa sobre el muro (sin multiplicar por el factor de carga) incluyendo la carga de pres-

fuerzo,

V^* es el esfuerzo cortante resistente de diseño obtenido por el procedimiento descrito en la referencia 10

A_T es el área bruta de la sección transversal del muro

F_R se toma como 0.6

Hay que aclarar, sin embargo, que en la expresión anterior, el incremento en la resistencia a cortante debido a la carga vertical solo se puede tomar en cuenta cuando no excede de la mitad de la carga vertical resistente de diseño, - calculada según las especificaciones de la referencia 10.

4.1.2. Colocación de los cables de presfuerzo.

Por lo que toca a la distribución de los cables de presfuerzo a lo largo del muro, se ha determinado, a partir de análisis elásticos realizados mediante la técnica del elemento finito, que para obtener una distribución de esfuerzos aproximadamente uniforme, la separación de los cables no debe exceder de un tercio de la altura del muro. En caso de que la carga se distribuya por medio de una viga rígida bastará con una separación máxima de la mitad de la altura del piso.

4.1.3 Flexcompresión.

El efecto del presfuerzo en la resistencia a fle--

xión de la mampostería se tiene en cuenta calculando la capacidad a flexocompresión de la misma con el criterio que se sigue para concreto reforzado y presforzado, es decir, con base en las hipótesis siguientes:

- a) secciones planas,
- b) nula resistencia a tensión de la mampostería
- c) adherencia perfecta entre el acero y el mortero-que lo rodea
- d) máxima deformación a compresión de la mampostería igual a 0.003
- e) curva esfuerzo-deformación de la mampostería, lineal.

4.1.4 Pérdidas de presfuerzo.

La pérdida total de presfuerzo que debe considerarse se integra como la suma de las pérdidas parciales que se mencionan a continuación:

- a) por deformación instantánea de la mampostería
- b) por relajamiento del acero, del 3% Aprox.
- c) por deformación diferida de la mampostería, estimándose ésta a partir de las expresiones anteriormente vistas (modelos teóricos), si la mampostería en estudio está dentro de las características de las estudiadas en los ensayos

- d) por cambios de humedad y temperatura, para la --
cual pueden emplearse los coeficientes de la ta-
bla 1
- e) la asociada al sistema de enclaje, que puede con-
siderarse del 5%, para tabique extruido y del --
8%, para bloque de concreto.

En forma gruesa podría tomarse una pérdida total --
del 10% para mamposterías de tabique y del 20% para las de
bloque de concreto.

4.1.5 Refuerzo horizontal.

Generalmente se establece que el área total de re--
fuerzo vertical y horizontal no debe ser menor que 0.002 ve--
ces el área bruta de la sección transversal del muro, debien-
do colocarse por lo menos una tercera parte en alguna de las
dos direcciones. Lo anterior obliga a colocar un mínimo de -
refuerzo horizontal, el cual debe ser continuo a lo largo del
muro y constituido, de preferencia, por varillas corrugadas-
de diámetro menor de 1/4"

Finalmente, es necesario colocar una varilla No 4--
o su equivalente, como refuerzo alrededor de toda abertura cu-
ya dimensión exceda la cuarta parte de la del muro en la mis-
ma dirección.

4.2. Aspectos constructivos.

La combinación de piezas y mortero a utilizar puede escogerse de entre las alternativas consignadas en las tablas 3 y 4. Debe, sin embargo, tenerse en cuenta que el presfuerzo produce óptimos resultados cuando se emplean piezas de alta resistencia y morteros de buena calidad.

Puesto que el acero de presfuerzo se coloca en los huecos verticales que dejan las piezas, debe tenerse especial cuidado en que los huecos, queden perfectamente alineados a todo lo alto del muro; de lo contrario el acero podría tener contacto con las caras interiores de las piezas y producir -- concentraciones de esfuerzos indeseables.

El presfuerzo se aplica por medio de cables de acero, mismo que se introducen una vez construido, el muro. La razón de usar cables y no barras es la ventaja que ofrece la flexibilidad de aquellos, la cual facilita su introducción -- una vez terminados los muros.

La fijación de los extremos inferiores de los cables se realiza mediante un dispositivo de tipo articulación, fijo a una placa de acero propiamente diseñado de acuerdo a la carga que ha de soportar y anclada, a su vez, a la trabe de cimentación, como se ilustra en la figura 12 a.

Es recomendable colar los huecos de la mampostería que alojan a los cables de presfuerzo, con objeto de prevenir

al acero contra la corrosión.

No es conveniente presforzar muros de corta edad, - ni encontrándose éstos húmedos, ya que la pérdida de presfuerzo debida a contracción por secado se acentúa en tales condiciones.

4.3. Aplicación del presfuerzo.

La carga de presfuerzo debe aplicarse cada vez que se concluyen dos o tres niveles de la construcción, antes de continuar con los niveles siguientes.

La operación de tensar los cables puede efectuarse-- fácilmente valiéndose para tal fin de un gato de cábalo hueco que se conecta al extremo roscado del cable. Cuando se ha da do al cable la tensión requerida, se ancla éste por medio de una tuerca tal como se muestra en el esquema de la figura 12 b.

Para prolongar los tendones de presfuerzo a pisos - superiores basta conectar los nuevos segmentos de cable a los ya tensados, por medio de coples.

Cuando la construcción ha alcanzado su altura total el presfuerzo debe ser ajustado para reponer la tensión perdida - por contracción, deformación diferida, anclaje, etc.

5. CONCLUSIONES

1) El sistema de anclaje RAMZA, utilizado en el programa experimental mostró ser sumamente práctico tanto por la versatilidad de usos que permite, entre otros, la fácil interconexión de miembros para alcanzar una extensión determinada, como por la bondad con que se adapta a la operación de presfuerzo.

2) Las pérdidas de presfuerzo medidas coinciden razonablemente con las previstas o medidas en otros trabajos al respecto; son del orden de magnitud de las registradas en concreto presforzados y no son, en modo alguno, prohibitivas para el uso del presfuerzo en muros de mampostería.

3) La magnitud de la pérdida en mampostería de ta--

bique es del orden de la mitad que en mampostería de bloque, - de ahí que el presfuerzo resulte mejor aprovechado en el primer caso. El empleo de mortero de buena calidad por ejemplo 1;0;3, acentúa las cualidades del sistema.

4) Mientras que las pérdidas de presfuerzo debidas a relajamiento del acero y las propias del sistema de presfuerzo puedan ser estimadas independientemente del tipo de material empleado, sucede lo contrario con las debidas a deformación diferida. Estas pueden estimarse a partir de uno de los modelos viscoelásticos descritos, cuyas constantes dependen directamente del tipo de materiales empleados.

5) Los cambios de humedad y temperatura del ambiente son causa permanente de deformaciones considerables en la mampostería, mismas que pueden ocasionar disminuciones temporales de presfuerzo. Para poder tenerlas en cuenta al diseñar el presfuerzo, es necesario conocer los coeficientes de expansión y contracción por temperatura y humedad para diferentes combinaciones de piezas y mortero y para los rangos de variación de la humedad y la temperatura usuales en el sitio de la edificación. los coeficientes presentados en la tabla 1, aún cuando fueron determinados para rangos de variación -- bastante restringidos, pueden emplearse para realizar una estimación gruesa de la situación.

6) La técnica de postensar los muros para mejorar--

su compartimiento en flexión y cortante, no presenta dificultades graves y en cambio parece ser bastante eficiente y económica.

7) La información acumulada en el programa de investigación y en algunas de las referencias permite formular recomendaciones preliminares de diseño y construcción; la ampliación y el refinamiento de las mismas requerirá de estudios posteriores.

6.- REFERENCIAS.

- 1.- Tasker H.E. "Recommendations for the Use of prestressed Brick or Block walls on reactive soils", Technical Record 52:75:349, Dept. of works, Commonwealth Experimental --- Building station, 1964.
- 2.- Hinkley A.T. "Tests of One-story Prestressed Brickwork -- Shear walls", New Zealand Engineering, junio 1966.
- 3.- Hendry A.W., Sinha B.P. "Shear Tests on Full-scale Single storey brickwork structures subjected to precompression ", Civil Engineering and Public Works Review, Dic. 1971.
- 4.- Rosenhaupt S., Beresford F.D., Blakey F.A. "Test of a Postensioned Concrete Masonry Wall", ACI Journal, Title --- No. 64-73, Dic. 1967.

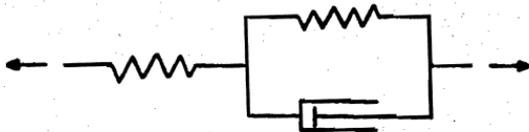
- 5.- Tatsa E., Yishai O., Levy M. "Loss of Steel Stresses in - Prestressed Concrete Blockwork Walls", The Structural --- Engineer, vol 51, No. 5, Mayo 1973.
- 6.- Lenczner D. "Creep in Brickwork", SIBMAC Proceedings, The British Ceramic Research Association, 1971, paper. 7.
- 7.- Hanlon J.R.G. "Prestressed concrete masonry" Concrete, -- vol. 4, No. 9, Sep. 1970.
- 8.- Ramírez Z.L. "Un nuevo sistema de anclaje para concreto - presforzado", Revista IMCYC, vol. 9, No. 49, mar-abr 1971.
- 9.- Flügge W. "Viscoelasticity", Blaisdell Publishing Co. Wal-
than Mass., 1967.
- 10.- Hernández B.O. "Recomendaciones para el diseño y construc-
ción de estructuras de mampostería", Informe 351, Insti-
tuti de Ingeniería, USAM. México., D.F., 1975.

A P E N D I C E

DEDUCCION Y RESOLUCION DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES DE LOS MODELOS TEORICOS.

A. SOLIDO DE TRES PARAMETROS.

Deducción de la ecuación diferencial.



$$\sigma = E \epsilon' \quad \text{----- (a)}$$

$$\sigma = q_0'' \epsilon'' + q_1'' \dot{\epsilon}'' \quad \text{----- (b)}$$

$$\epsilon = \epsilon' + \epsilon'' \quad \text{----- (c)}$$

sustituyendo (a) en (c) y despejando ϵ'' :

$$\epsilon'' = \epsilon - \frac{\sigma}{E}$$

derivando con respecto al tiempo:

$$\dot{\epsilon}'' = \dot{\epsilon} - \frac{\dot{\sigma}}{E}$$

sustituyendo ϵ'' y $\dot{\epsilon}''$ en (b):

$$\sigma = q_0'' \left(\epsilon - \frac{\sigma}{E} \right) + q_1'' \left(\dot{\epsilon} - \frac{\dot{\sigma}}{E} \right)$$

$$\sigma = q_0'' \epsilon - \frac{q_0''}{E} \sigma + q_1'' \dot{\epsilon} - \frac{q_1''}{E} \dot{\sigma}$$

multiplicando ambos miembros por E:

$$E \sigma = E q_0'' \epsilon = q_0'' \sigma + E q_1'' \dot{\epsilon} - q_1'' \dot{\sigma}$$

$$(q_0'' + E) \sigma + q_1'' \dot{\sigma} = E q_0'' \epsilon + E q_1'' \dot{\epsilon}$$

$$\sigma + p_1 \dot{\sigma} = q_0 \epsilon + q_1 \dot{\epsilon} \quad \text{----- (I)}$$

donde

$$p_1 = q_1'' / (q_0'' + E)$$

$$q_0 = E q_0'' / (q_0'' + E)$$

$$q_1 = E q_1'' / (q_0'' + E)$$

Resolución para $\sigma = \sigma_0 = \text{constante}$

$$\sigma_0 = q_0 \epsilon + q_1 \dot{\epsilon}$$

$$\sigma_0 - q_0 \epsilon = q_1 \frac{d\epsilon}{dt}$$

$$dt = - \frac{q_1 d\epsilon}{\sigma_0 - q_0 \epsilon}$$

$$t = - \frac{q_1}{q_0} \ln (\sigma_0 - q_0 \epsilon) + C$$

si

$$C = - \frac{q_1}{q_0} \ln K$$

$$t = - \frac{q_1}{q_0} \ln K (\sigma_0 - q_0 \epsilon)$$

$$- \frac{q_0}{q_1} t = \ln K (\sigma_0 - q_0 \epsilon)$$

$$e^{-\frac{q_0}{q_1} t} = e^{\ln K (\sigma_0 - q_0 \epsilon)}$$

$$K (\sigma_0 - q_0 \epsilon) = e^{-\frac{q_0}{q_1} t}$$

$$K q_0 \epsilon = K \sigma_0 - e^{-\frac{q_0}{q_1} t}$$

si

$$\frac{1}{K q_0} = C_1$$

$$\epsilon = \frac{\sigma_0}{q_0} - C_1 e^{-\frac{q_0}{q_1} t} \quad \text{(Solución general)}$$

Condiciones iniciales

Integrando la ecuación (I) sobre un pequeño intervalo $[-z, +z]$ en el dominio de ξ y haciendo que z tienda a cero:

$$\int_{-z}^{+z} \sigma dt + P_1 [\sigma(+z) - \sigma(-z)] = q_0 \int_{-z}^{+z} \xi dt + q_1 [\xi(+z) - \xi(-z)]$$

cuando $z \rightarrow 0$, $\int_{-z}^{+z} \sigma dt \rightarrow 0$ y $\int_{-z}^{+z} \xi dt \rightarrow 0$

$$\therefore P_1 \sigma_0 = q_1 \xi_0$$

(Condición inicial)

$$\xi_0 = \frac{P_1}{q_1} \sigma_0$$

Evaluación de las constantes

Introduciendo la condición inicial en la solución general:

$$\frac{P_1}{q_1} \sigma_0 = \frac{\sigma_0}{q_0} - c_1$$

$$c_1 = \frac{\sigma_0}{q_0} - \frac{P_1}{q_1} \sigma_0$$

Solución particular

$$\xi = \sigma_0 \left[\frac{1}{q_0} + \left(\frac{P_1}{q_1} - \frac{1}{q_0} \right) e^{-\frac{q_0}{q_1} t} \right]$$

B. FLUIDO DE CUATRO PARAMETROS.

Deducción de la ecuación diferencial



$$Q + P_1 \dot{Q} = q_0' \varepsilon' + q_1' \dot{\varepsilon}' \quad \text{----- (a)}$$

$$Q = F \dot{\varepsilon}'' \quad \text{----- (b)}$$

$$\varepsilon = \varepsilon' + \varepsilon'' \quad \text{----- (c)}$$

derivando (a) y (c) con respecto al tiempo:

$$\dot{Q} + P_1 \ddot{Q} = q_0' \dot{\varepsilon}' + q_1' \ddot{\varepsilon}' \quad \text{----- (1)}$$

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}' + \dot{\varepsilon}'' \quad \text{----- (2)}$$

sustituyendo (b) en (2):

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}' + \frac{Q}{F}$$

$$\dot{\varepsilon}' = \dot{\varepsilon} - \frac{Q}{F} \quad \text{----- (3)}$$

derivando (3) con respecto al tiempo:

$$\ddot{\varepsilon}' = \ddot{\varepsilon} - \frac{\dot{Q}}{F} \quad \text{----- (4)}$$

sustituyendo (3) y (4) en (1):

$$\dot{Q} + P_1 \ddot{Q} = q_0' \left(\dot{\varepsilon} - \frac{Q}{F} \right) + q_1' \ddot{\varepsilon} - \frac{q_1' \dot{Q}}{F}$$

$$\dot{Q} + P_1 \ddot{Q} = q_0' \dot{\varepsilon} - \frac{q_0' Q}{F} + q_1' \ddot{\varepsilon} - \frac{q_1' \dot{Q}}{F}$$

$$\sigma + \left(\frac{F}{q_0'} + \frac{q_1'}{q_0'} \right) \dot{\sigma} + \frac{F P_1'}{q_0'} \ddot{\sigma} = \frac{F q_0'}{q_0'} \dot{\xi} + \frac{F q_1'}{q_0'} \ddot{\xi}$$

$$\sigma + P_1 \dot{\sigma} + P_2 \ddot{\sigma} = q_1 \dot{\xi} + q_2 \ddot{\xi} \quad \text{----- (II)}$$

donde $P_1 = (F + q_1')/q_0'$

$$P_2 = F P_1'/q_0'$$

$$q_1 = F$$

$$q_2 = F q_1'/q_0'$$

Resolución para $\sigma = \sigma_0 = \text{constante}$

$$q_2 \ddot{\xi} + q_1 \dot{\xi} = \sigma_0 \quad \text{----- (5)}$$

derivando con respecto a "t", se obtiene

$$q_2 \ddot{\xi} + q_1 \dot{\xi} = 0 \quad \text{----- (6)}$$

que en términos del operador diferencial P (D) queda como:

$$(q_2 D^2 + q_1 D) \xi = 0$$

cuya ecuación característica es:

$$q_2 \lambda^2 + q_1 \lambda = 0$$

$$\lambda^2 (q_2 \lambda + q_1) = 0$$

$$\lambda_1 = \lambda_2 = 0 ; \lambda_3 = -\frac{q_1}{q_2}$$

la solución general de la ecuación (6) es, por tanto:

$$\xi = e^{\lambda_1 t} (c_1 + c_2 x) + c_3 e^{\lambda_3 t}$$

o sea

$$\xi = c_1 + c_2 x + c_3 e^{-\frac{q_1}{q_2} x}$$

Por otra parte, la ecuación homogénea asociada a -

(a) es:

$$q_2 \ddot{\xi} + q_1 \dot{\xi} = 0$$

o bien

$$(q_2 D^2 + q_1 D) \xi = 0$$

cuya ecuación característica es:

$$q_2 \lambda^2 + q_1 \lambda = 0$$

$$\lambda (q_2 \lambda + q_1) = 0$$

$$\lambda_1 = 0 ; \lambda_2 = -\frac{q_1}{q_2}$$

y, por tanto, su solución general es:

$$\xi = c_1 e^{\lambda_1 x} + c_2 e^{\lambda_2 x}$$

o sea

$$\xi = c_1 + c_2 e^{-\frac{q_1}{q_2} x}$$

La solución general de la ecuación (5) es la suma de la solución de la ecuación homogénea asociada mas una solución particular de (5), es decir

$$\xi = H_a + H_p = c_1 + c_2 e^{-\frac{q_1}{q_2} x} + H_p$$

y deberá ser también solución de la ecuación (6), por lo que tendrá la forma de la solución general de ésta:

$$\cancel{C_1} + \cancel{C_2} e^{-\frac{q_1}{q_2} x} + H_p = \cancel{C_1} + C_2 x + \cancel{C_3} e^{-\frac{q_1}{q_2} x}$$

la solución particular buscada H_p tendrá entonces la forma:

$$\xi = A x$$

derivando y sustituyendo en (5)

$$\dot{\xi} = A$$

$$\ddot{\xi} = 0$$

$$q_1 A = \sigma_0$$

$$A = \frac{\sigma_0}{q_1}$$

y la solución general de (5) es:

$$\xi = C_1 + C_2 e^{-\frac{q_1}{q_2} t} + \frac{\sigma_0}{q_1} t$$

Condiciones iniciales

Ya que las condiciones iniciales habrán de ser determinadas a partir de los modelos sencillos (sólido de tres parámetros y amortiguador adicional) que componen nuestro sistema, es preciso conocer el valor de las constantes de aquellos en términos de las constantes del modelo completo.

Sabemos que:

$$P_1 = \frac{F + q_1^i}{q_0^i} \quad \text{----- (7)}$$

$$P_2 = \frac{F P_1^i}{q_0^i} \quad \text{----- (8)}$$

$$q_1 = P \quad \text{----- (9)}$$

$$q_2 = \frac{P q_1'}{q_0'} \quad \text{----- (10)}$$

De (7), (9) y (10) se obtiene el siguiente sistema:

$$P_1 = \frac{q_1 + q_1'}{q_0'} \quad \text{----- (11)}$$

$$q_2 = \frac{q_1 q_1'}{q_0'} \quad \text{----- (12)}$$

resolviendo simultáneamente (11) y (12):

$$q_0' = \frac{q_1 + q_1'}{P_1}$$

$$q_2 = \frac{P_1 (q_1 q_1')}{q_1 + q_1'}$$

$$q_2 = (q_1 + q_1') = P_1 q_1 q_1'$$

$$q_2 q_1 + q_2 q_1' - P_1 q_1 q_1' = 0$$

$$q_2 q_1' - P_1 q_1 q_1' = - q_2 q_1$$

$$(q_2 - P_1 q_1) q_1' = - q_2 q_1$$

$$q_1' = \frac{q_1 q_2}{(P_1 q_1 - q_2)} \quad \text{----- (13)}$$

sustituyendo (13) en (12):

$$q_0' = \frac{q_1 q_2}{q_2 (P_1 q_1 - q_2)}$$

$$q_0' = \frac{q_1^2}{P_1 q_1 - q_2} \quad \text{----- (14)}$$

De (8)

$$P_1' = \frac{q_0' P_2}{F} = \frac{q_0' P_2}{q_1}$$

$$P_1' = \frac{P_2}{q_1} \frac{q_1}{P_1 q_1 - q_2}$$

$$P_1' = \frac{q_1 P_2}{P_1 q_1 - q_2} \quad \text{----- (15)}$$

Puesto que tenemos dos constantes arbitrarias en la solución general necesitamos dos condiciones iniciales, para ello determinaremos ξ y $\dot{\xi}$ para $t = 0$.

a) Primera condición:

Dado que el amortiguador conectado en serie no se deforma instantáneamente, la deformación total en $t = 0$ será exclusivamente la del resto del sistema, un sólido de tres parámetros de cuya ecuación constitutiva se tiene que:

$$\xi_0 = \frac{P_1'}{q_1} \sigma_0$$

sustituyendo (13) y (15) en la ecuación anterior se obtiene, después de simplificar:

$$\xi_0 = \frac{P_2}{q_2} \sigma_0 \quad \text{(Primera condición)}$$

b) Segunda condición:

Derivando con respecto al tiempo la ecuación (c):

$$\dot{\xi} = \dot{\xi}' + \dot{\xi}'' \quad \text{----- (16)}$$

de la ecuación (b) se tiene que:

$$\dot{\epsilon} = \frac{q_0}{F}$$

que en términos de las nuevas constantes es:

$$\dot{\epsilon} = \frac{q_0}{q_1} \quad \text{----- (17)}$$

Por otra parte de la ecuación constitutiva del sólido de tres parámetros se obtiene:

$$\epsilon = \frac{q_0}{q_1} \left[1 - \left(1 - \frac{P_1 q_0'}{q_1} \right) e^{-\frac{q_0'}{q_1} t} \right]$$

derivando con respecto al tiempo:

$$\dot{\epsilon} = \frac{q_0}{q_1} \left[\frac{q_0'}{q_1} \left(1 - \frac{P_1 q_0'}{q_1} \right) e^{-\frac{q_0'}{q_1} t} \right] \quad \text{----- (18)}$$

sustituyendo (17) y (18) en (16)

$$\dot{\epsilon} = \frac{q_0}{q_1} \left[\frac{1}{q_1} \left(1 - \frac{P_1 q_0'}{q_1} \right) e^{-\frac{q_0'}{q_1} t} \right] + \frac{q_0}{F} \quad \text{----- (19)}$$

usando las ecuaciones (13), (14) y (15) obtenemos, mediante las simplificaciones necesarias:

$$\frac{1}{q_1} = \frac{P_1 q_1 - q_2}{q_1 q_2}$$

$$\frac{P_1 q_0'}{q_1} = \frac{q_1^2 P_2}{(P_1 q_1 - q_2) q_2}$$

$$\frac{q_0'}{q_1'} = \frac{q_1}{q_2}$$

Podemos ahora expresar (19) en términos de P_1 , P_2 ,

q_1 y q_2 :

$$\dot{\epsilon} = \frac{\sigma_0 (P_1 q_1 - q_2)}{q_1 q_2} \left[1 - \frac{q_1^2 P_2}{P_1 q_1 - q_2} \right] e^{-\frac{q_1}{q_2} t} + \frac{\sigma_0}{q_1}$$

----- (20)

En $t = 0$

$$\dot{\epsilon}_0 = \frac{\sigma_0}{q_2} \left(P_1 - \frac{q_1 P_2}{q_2} \right) \quad (\text{segunda condición})$$

Evaluación de las constantes

Derivando ambos miembros de la solución general --
con respecto al tiempo:

$$\dot{\epsilon} = -\frac{q_1}{q_2} c_2 e^{-\frac{q_1}{q_2} t} + \frac{\sigma_0}{q_1}$$

en $t = 0$

$$\dot{\epsilon}(0) = -\frac{q_1}{q_2} c_2 + \frac{\sigma_0}{q_1}$$

introduciendo la segunda condición inicial:

$$\frac{\sigma_0}{q_2} \left(P_1 - \frac{q_1 P_2}{q_2} \right) = -\frac{q_1}{q_2} c_2 + \frac{\sigma_0}{q_1}$$

$$c_2 = -\frac{q_2}{q_1} \frac{\sigma_0}{q_2} \left(P_1 - \frac{q_1 P_2}{q_2} \right) + \frac{\sigma_0}{q_1} \frac{q_2}{q_1}$$

$$c_2 = -\sigma_0 \left(\frac{P_1 q_1 - q_2}{q_1^2} - \frac{P_2}{q_2} \right) \text{ ----- (21)}$$

sustituyendo (21) en la solución general se tiene, para $t=0$:

$$\varepsilon(0) = c_1 + \frac{\sigma_0}{q_1} \left(\frac{q_1 P_2}{q_2} - P_1 - \frac{q_2}{q_1} \right)$$

• introduciendo la primera condición inicial:

$$\frac{P_2}{q_2} \sigma_0 = c_1 + \frac{\sigma_0}{q_1} \left(\frac{q_1 P_2}{q_2} - P_1 + \frac{q_2}{q_1} \right)$$

$$c_1 = \frac{P_2}{q_2} \sigma_0 - \frac{\sigma_0}{q_1} \left(\frac{q_1 P_2}{q_2} - P_1 - \frac{q_2}{q_1} \right)$$

$$c_1 = \frac{P_2}{q_2} \sigma_0 - \frac{\sigma_0}{q_1} \left(\frac{q_1 P_2}{q_2} - \frac{P_1 q_1 - q_2}{q_1} \right)$$

$$c_1 = \sigma_0 \left[\frac{P_2}{q_2} + \left(\frac{P_1 q_1 - q_2}{q_1^2} - \frac{P_2}{q_2} \right) \right] \quad (22)$$

Solución particular

Sustituyendo (21) y (22) en la solución general:

$$\varepsilon = \sigma_0 \left[\frac{P_2}{q_2} + \left(\frac{P_1 q_1 - q_2}{q_1^2} - \frac{P_2}{q_2} \right) \right] - \sigma_0 \left(\frac{P_1 q_1 - q_2}{q_1^2} - \frac{P_2}{q_2} \right) e^{-\frac{q_1}{q_2} t} + \frac{\sigma_0}{q_1}$$

agrupando y reacomodando términos:

$$\varepsilon = \sigma_0 \left[\frac{P_2}{q_2} + \frac{t}{q_1} + \left(\frac{P_1 q_1 - q_2}{q_1^2} - \frac{P_2}{q_2} \right) (1 - e^{-\frac{q_1}{q_2} t}) \right]$$

TABLAS Y FIGURAS

TABLA 1. CARACTERISTICAS DE LOS TESTIGOS Y CONSTANTES Y COEFICIENTES DE CORRELACION ENTRE CAMBIOS DE CLIMA Y DEFORMACIONES DE LOS TESTIGOS.

Testigo	Pieza	Mortero	Long. Medic (mm)	Ec. de Corr: $\epsilon = a\Delta H + b\Delta T + c$				Ec. de Corr: $\epsilon = a\Delta H + b\Delta T$		
				a ($\times 10^{-5}$)	b ($\times 10^{-5}$)	c ($\times 10^{-5}$)	R (%)	a ($\times 10^{-5}$)	b ($\times 10^{-5}$)	R (%)
1	Tabique	1:0:3	347	- 0.13	2.24	0.71	97	- 0.17	2.26	94
2	Tabique	1:1:6	415	- 0.16	1.57	1.87	85	- 0.25	1.62	58
3	Bloque	1:1:6	201	- 0.96	3.41	4.91	84	- 1.16	4.85	79
4	Bloque	1:0:3	202	- 0.36	2.22	2.12	75	- 0.45	2.84	71

H Incremento total de humedad relativa.

T " " " temperatura ($^{\circ}\text{C}$).

TABLA 2. PERDIDAS DE PRESFUERZO

$$(\sigma_i / f_m)_{prom} = 0.30$$

					Porcentaje de pérdidas			
Muro	Piezas	Mortero	σ_i	σ_f	Relajamiento del -- acero	Deformación de ferida	Sistema de anclaje	Total
10	T.E.	1:0:3	17.2	15.7	3	2	4	9
11	T.E.	1:0:6	14.5	12.9	3	3	5	11
8	B.C.	1:0:3	9.6	8.0	3	8	6	17
12	B.C.	1:0:6	7.3	5.8	3	7	10	20

TABLA 3. DEFORMACIONES MEDIDAS EN LOS ESPESIMENES

a) Carga sostenida										Tras 51 semanas de prueba		
Muro	Plana	Mortero	f_m (kg/cm ²)	f_b (kg/cm ²)	f_n (x10 ⁴)	σ (kg/cm ²)	σ/f_m	σ/f_b	ϵ_1 (x10 ⁻⁶)	ϵ_d (x10 ⁻⁶)	ϵ_d/ϵ_1	ϵ_f (x10 ⁻⁶)
1	T.E.	1:0:3	58	190	5.8	6.3	0.11	0.03	107	176	1.64	283
2	T.E.	1:1:6	43	60	4.4	6.9	0.16	0.12	173	132	0.76	305
5	T.E.	1:0:6	43	40	4.8	14.2	0.33	0.36	340	85	0.25	425
3	B.C.	1:0:6	30	190	4.4	7.8	0.26	0.04	188	319	1.71	506
9	B.C.	1:1:6	22	60	6.5	6.6	0.30	0.11	116	362	3.12	478
4	B.C.	1:0:6	22	40	3.3	4.2	0.19	0.11	135	290	2.15	425
b) Postensado normal (Pérdidas de presfuerzo)												
10	T.E.	1:0:3	58	190	3.4	16.5	0.28	0.09	472	60	0.13	532
11	T.E.	1:0:6	43	40	3.7	13.2	0.31	0.33	413	57	0.14	470
7	B.C.	1:0:3	30	190	5.0	5.4	0.18	0.03	129	292	2.26	421
8	B.C.	1:0:3	30	190	5.4	8.8	0.29	0.05	178	326	1.83	504
12	B.C.	1:0:6	22	40	2.7	6.6	0.30	0.17	270	269	1.00	539

CONTINUA.....

c) Carga sostenida (segunda etapa)

Tras 51 semanas de prueba

Muro	Pieza	Mortero	f_m (kg/cm ²)	f_b (kg/cm ²)	E_m (x10 ⁴)	σ (kg/cm ²)	σ/f_m	σ/f_b	ϵ_i (x10 ⁻⁶)	ϵ_d (x10 ⁻⁶)	ϵ_d/ϵ_i	ϵ_f (x10 ⁻⁶)
P1	T.E.	1:0:3	198	132	14.16	10.0	0.05	0.08	71	0	0.00	71
P9	B.C.	1:1:6	99	28	3.40	5.0	0.05	0.18	157	193	1.23	350
P10	B.C.	1:1:6	110	43	3.19	15.4	0.14	0.36	481	194	0.40	675

f_m resistencia en compresión de la mampostería

f_b " " " del mortero

E_m módulo de elasticidad de la mampostería

σ esfuerzo axial en la mampostería

ϵ_i deformación inicial

ϵ_d deformación diferida

ϵ_f deformación final

TABLA 4. DEFORMACIONES MEDIDAS EN LOS MUROS DE LA REFERENCIA 6

Muro	Pieza	Mortero	fm (kg/cm ²)	fb (kg/cm ²)	Em (x104)	σ (kg/cm ²)	σ/fm	σ/fb	ε ₁ (x10 ⁻⁶)	Tras 17 semanas de prueba		
										ε _d (x10 ⁻⁶)	ε _d /ε ₁	ε _f (x10 ⁻⁶)
A1	T.E.	1:1/4:3	172	164	25.75	17.4	0.10	0.11	61	17	0.28	78
A2	T.E.	"	"	"	"	28.5	0.17	0.17	116	23	0.20	139
A3	T.E.	"	"	"	"	44.3	0.26	0.27	177	39	0.22	216
A4	T.E.	"	"	"	"	61.2	0.36	0.37	246	73	0.30	319
B1	T.E.	1:1:6	104	79	26.05	23.5	0.23	0.30	85	34	0.40	119
B2	T.E.	"	"	"	"	29.7	0.29	0.38	121	54	0.45	175
B3	T.E.	"	"	"	"	39.4	0.38	0.50	149	97	0.65	246
B4	T.E.	"	"	"	"	47.4	0.46	0.60	184	147	0.80	331

TABLA 5. CONSTANTES VISCOELÁSTICAS DE LOS MUROS ENSAYOS

MODELO: SÓLIDO DE 3 PARÁMETROS

a) Carga sostenida

Muro	Piezas	Mortero	f_m kg/cm ²	f_b kg/cm ²	σ kg/cm ²	$\frac{\sigma}{f_m}$	$\frac{\sigma}{f_b}$	E (x10 ⁴)	σ^4 (x10 ⁸)	F (x10 ⁴)	TK	E^2 (x10 ⁸)	σ^2 (x10 ⁴)
1	T.E.	1:0:3	58	190	6.3	0.11	0.03	5.89	2.80	0.48	0.09	4.90	3.84
2	T.E.	1:1:6	43	60	6.9	0.16	0.12	4.51	2.66	11.09	1.71	4.53	3.58
5	T.E.	1:0:6	43	40	14.2	0.33	0.36	4.63	3.42	64.51	4.93	5.00	4.31
3	B.C.	1:0:3	30	190	7.8	0.26	0.04	4.14	2.08	5.02	1.20	4.33	3.12
9	B.C.	1:1:6	22	60	6.6	0.30	0.11	8.92	2.38	2.60	0.80	7.58	4.87
4	B.C.	1:0:6	22	40	4.2	0.19	0.11	3.76	1.68	2.22	0.73	3.61	2.75

b) Postensado normal (Pérdidas de presfuerzo)

10	T.E.	1:0:3	58	190	16.5	0.28	0.09	3.64	3.30	182.65	5.17	3.44	3.39
11	T.E.	1:0:6	43	40	13.2	0.31	0.33	3.26	3.00	193.34	5.14	3.08	3.07
7	B.C.	1:0:3	30	190	5.4	0.18	0.03	4.80	1.09	4.28	1.26	3.99	3.15
8	B.C.	1:0:3	30	190	8.8	0.29	0.05	5.79	2.99	6.37	1.03	5.61	4.92
12	B.C.	1:0:6	22	40	6.6	0.30	0.17	2.70	1.79	7.49	1.41	2.61	2.40

CONTINUA.....

c) Carga sostenida (2a. etapa).

Muro	Pieza	Mortero	f_m kg/cm ²	f_b kg/cm ²	σ kg/cm ²	$\frac{\sigma}{f_m}$	$\frac{\sigma}{f_b}$	E (x10 ⁴)	Q (x10 ⁴)	F (x10 ⁴)	TK	E* (x10 ⁴)	Q* (x10 ⁴)
P1	T.H.	1:0:3	198	132	10.0	0.05	0.08	33.99	15.01	305.89	11.41	33.74	21.44
P9	B.C.	1:1:6	99	28	5.0	0.05	0.18	3.24	1.75	9.51	2.50	3.20	2.70
P10	B.C.	1:1:6	110	43	15.4	0.14	0.36	-	-	-	-	-	-

TABLA 6. CONSTANTES VISCOELASTICAS DE LOS MUROS DE LA REFERENCIA 6.

MODELO: SOLIDO DE 3 PARAMETROS

Muro	Piedra	Mortero	f_m kg/cm ²	f_b kg/cm ²	$\frac{G}{E}$ kg/cm ²	$\frac{G}{E}$	$\frac{G}{f_b}$	E (x10 ⁴)	Q (x10 ⁴)	P (x10 ⁴)	TK	E^*	Q^*
A1	T.E.	1:1/4:3	172	164	17.4	0.10	0.11	29.11	22.76	48.00	0.46	28.99	25.99
A2	"	"	"	"	28.5	0.17	0.17	25.06	20.81	56.44	0.46	24.99	23.01
A3	"	"	"	"	44.3	0.26	0.27	25.75	20.91	89.00	0.80	25.57	23.37
A4	"	"	"	"	61.2	0.36	0.37	25.05	20.07	33.31	0.33	25.00	22.65
B1	T.E.	1:1:6	104	79	23.5	0.23	0.30	28.01	21.45	42.13	0.46	27.81	25.04
B2	"	"	"	"	29.7	0.29	0.38	24.58	19.35	18.19	0.20	24.56	23.03
B3	"	"	"	"	39.4	0.38	0.50	27.79	17.71	25.39	0.52	27.34	22.66
B4	"	"	"	"	47.4	0.46	0.60	25.79	16.34	6.24	0.14	25.79	21.49

TABLA 7. CONSTANTES VISCOELASTICAS DE LOS MUROS ENSAYADOS

MODELO: FLUIDO DE 4 PARAMETROS

Muro	Pieza	Mortero	f_m kg/cm ²	f_b kg/cm ²	G kg/cm ²	$\frac{G}{f_m}$	$\frac{G}{f_b}$	G_M (x10 ⁴)	G_R (x10 ⁵)	E_M (x10 ⁷)	E_R (x10 ⁵)	T_R
1	T.E.	1:0:3	58	190	6.3	0.11	0.03	4.91	1.77	4.80	19.03	9.89
2	T.E.	1:1:6	43	60	6.9	0.16	0.12	4.53	1.71	6.36	6.01	3.47
5	T.E.	1:0:6	43	40	14.2	0.33	0.36	5.00	3.12	9.32	12.29	3.94
3	B.C.	1:0:3	30	190	7.8	0.26	0.04	4.33	1.12	2.67	3.24	2.90
9	B.C.	1:1:6	22	60	6.6	0.30	0.11	7.58	1.36	1.41	4.61	3.31
4	B.C.	1:0:6	22	40	4.2	0.19	0.11	3.61	1.16	1.33	3.00	2.58

b) Postensado normal (Pérdidas de pretensado)

10	T.E.	1:0:3	58	190	16.5	0.28	0.09	3.44	25.67	22.14	134.83	5.25
11	T.E.	1:0:6	43	40	13.2	0.31	0.33	3.08	124.09	15.97	649.59	5.23
7	B.C.	1:0:3	30	190	5.4	0.18	0.03	3.99	1.50	1.81	6.03	3.95
8	B.C.	1:0:3	30	190	8.8	0.29	0.05	5.61	4.01	1.92	18.58	4.57
12	B.C.	1:0:6	22	40	6.6	0.30	0.17	2.61	3.05	1.85	12.07	3.96

CONTINUA.....

TABLA 7. CONTINUACION.

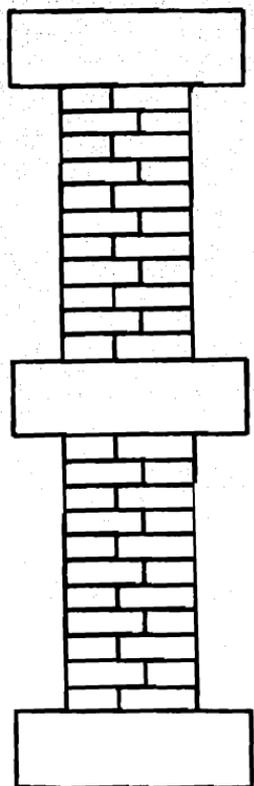
c) Carga sostenida (2a. etapa)

Muro	Pieza	Mortero	f_m kg/cm ²	f_b kg/cm ²	σ kg/cm ²	$\frac{\sigma}{f_m}$	$\frac{\sigma}{f_b}$	GM (x10 ⁴)	GK (x10 ⁵)	EM (x10 ⁷)	EK (x10 ⁵)	TK
P1	T.E.	1:0:3	198	132	10.0	0.05	0.08	33.74	5.88	137.33	68.90	11.41
P9	B.C.	1:1:6	99	28	5.0	0.05	0.18	3.20	1.72	4.34	4.30	2.50
P10	B.C.	1:1:6	110	43	15.4	0.14	0.36	-	-	-	-	-

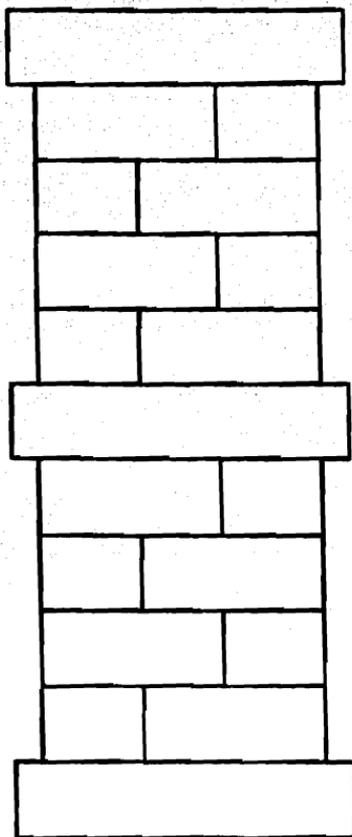
TABLA 8. CONSTANTES VISCOELASTICAS DE LOS MUROS DE LA REFERENCIA 6.

MODELO: FLUIDO DE 4 PARAMETROS

Muro	Pieza	Mortero	f_m kg/cm ²	f_b kg/cm ²	σ kg/cm ²	$\frac{\sigma}{f_m}$	$\frac{\sigma}{f_b}$	G_m (x10 ⁶)	G_k (x10 ⁵)	E_M (x10 ⁷)	E_k (x10 ⁵)	TK
A1	T.E.	1:1/4:3	172	164	17.4	0.10	0.11	28.99	25.10	94.19	11.42	0.46
A2	"	"	"	"	28.5	0.17	0.17	24.99	28.98	121.85	13.19	0.46
A3	"	"	"	"	44.3	0.26	0.27	25.57	27.21	104.36	21.80	0.80
A4	"	"	"	"	61.2	0.36	0.37	25.00	24.11	90.50	7.91	0.33
B1	T.E.	1:1:6	104	79	23.5	0.23	0.30	27.81	25.13	51.61	11.44	0.46
B2	"	"	"	"	29.7	0.29	0.38	24.56	36.88	24.81	7.42	0.20
B3	"	"	"	"	39.4	0.38	0.50	27.34	13.23	29.35	6.92	0.52
B4	"	"	"	"	47.4	0.46	0.60	25.79	12.88	19.98	1.90	0.15



TABIQUE



BLOQUE

Fig 1. Geometría de los especímenes.

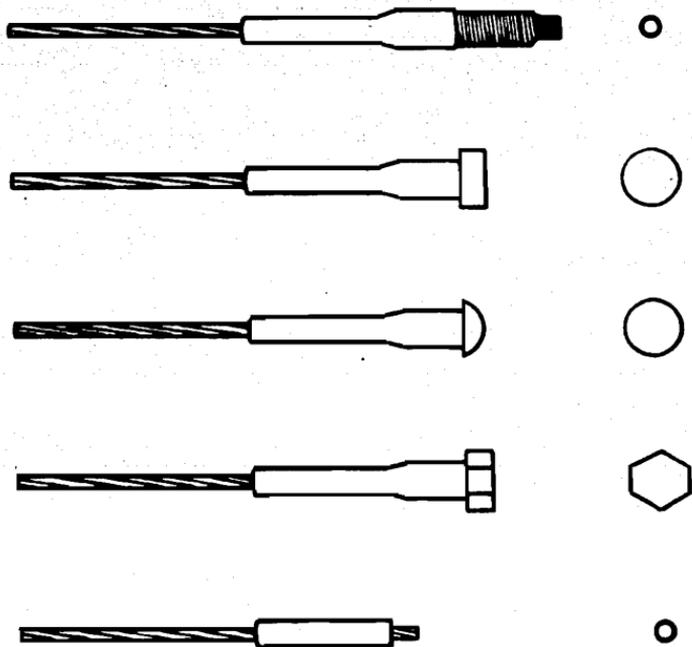


Fig 2. Anclajes básicos en el sistema RAMZA.

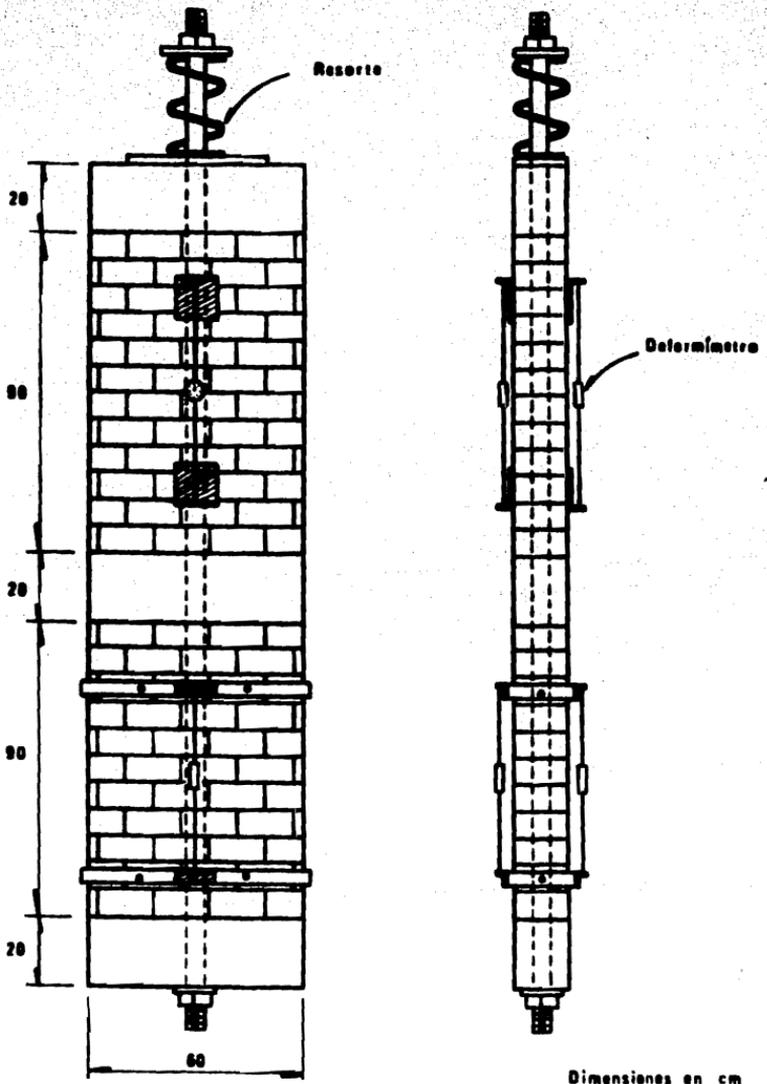


Fig 3. Sistemas de carga y medición (carga sostenida).

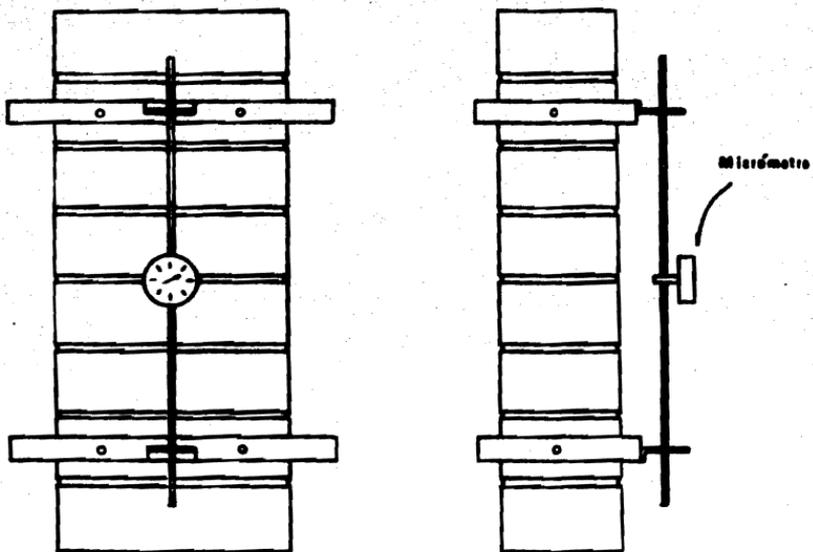


Fig 4. Sistema de medición en los testigos.

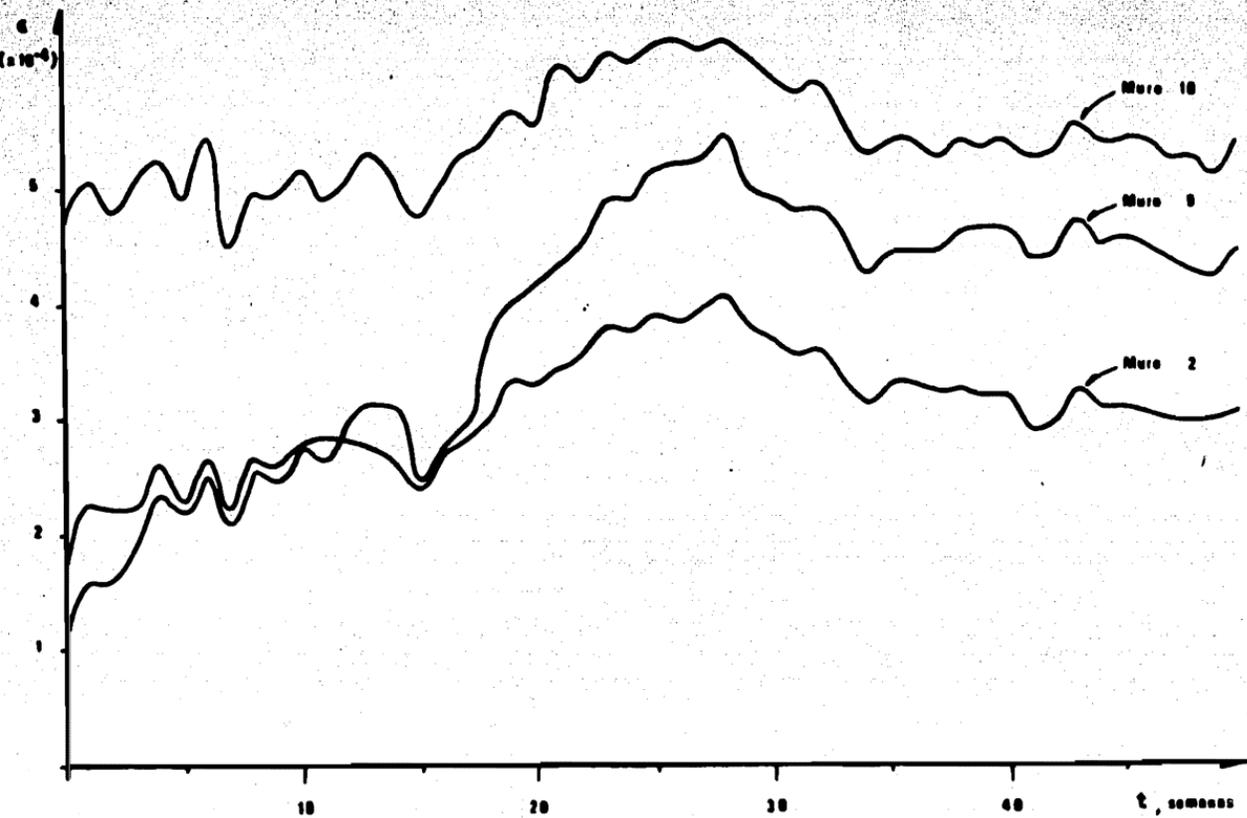


Fig. 8

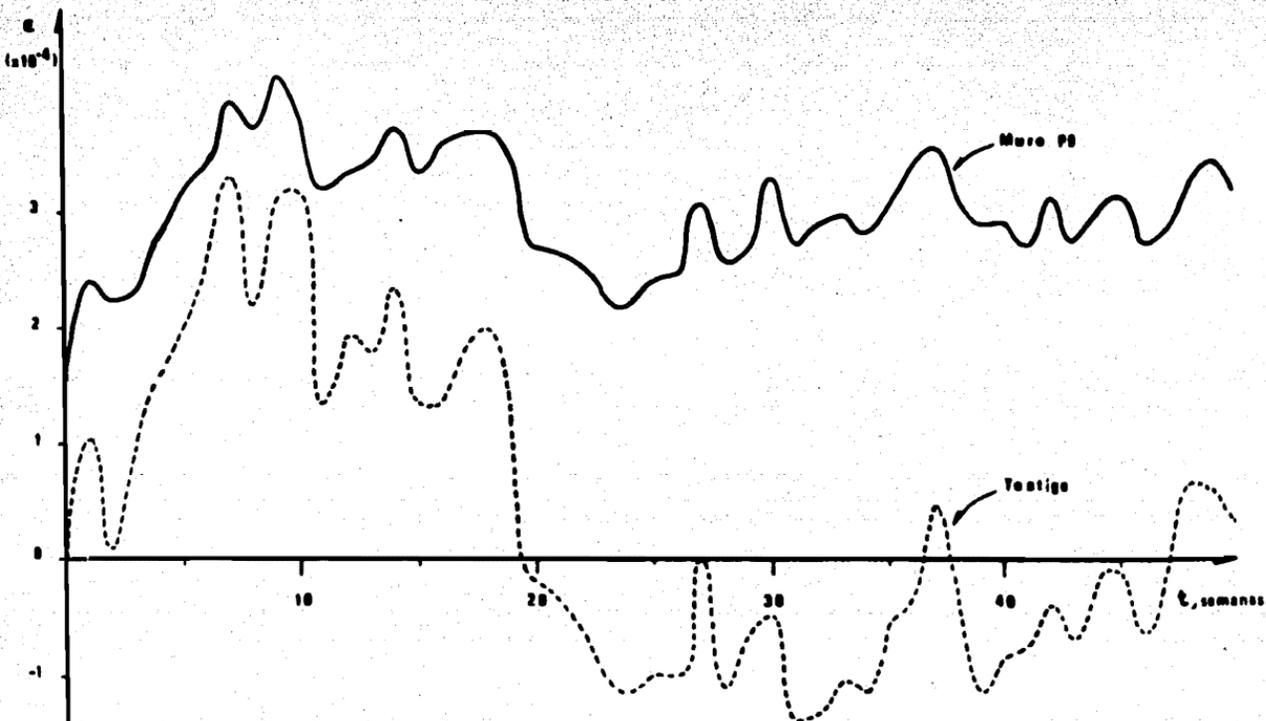


Fig. 6

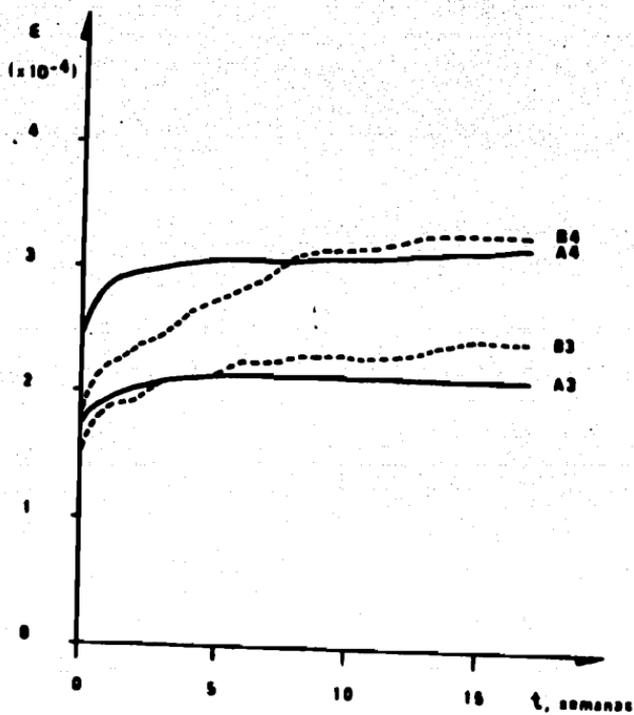


Fig. 7

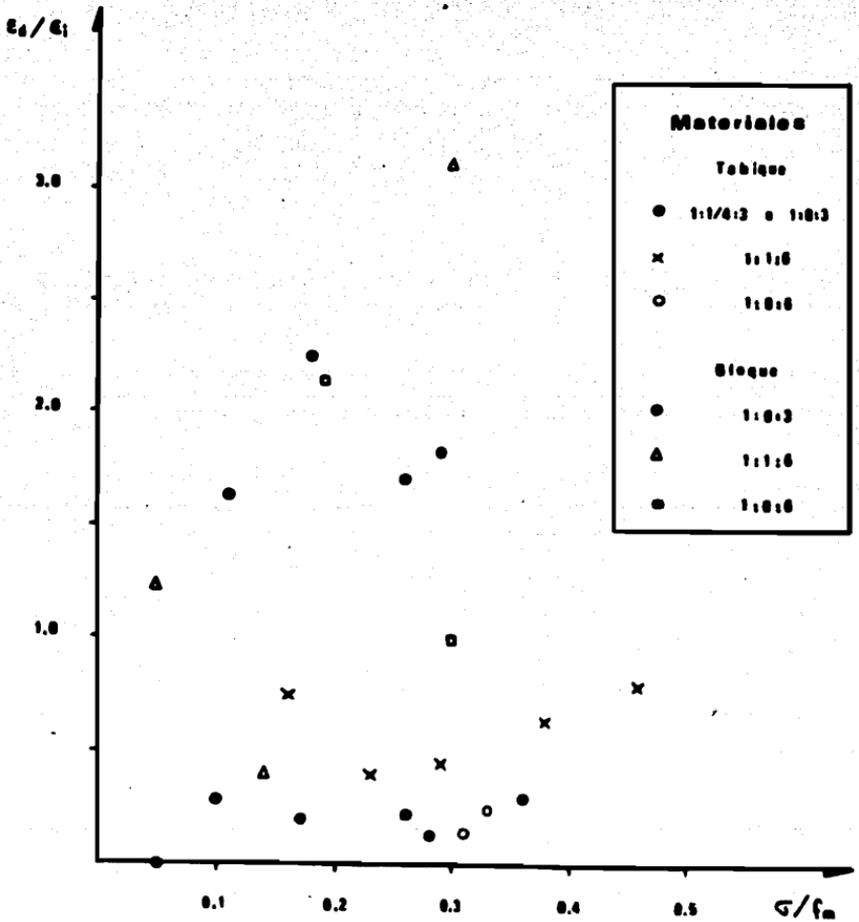


Fig. 8

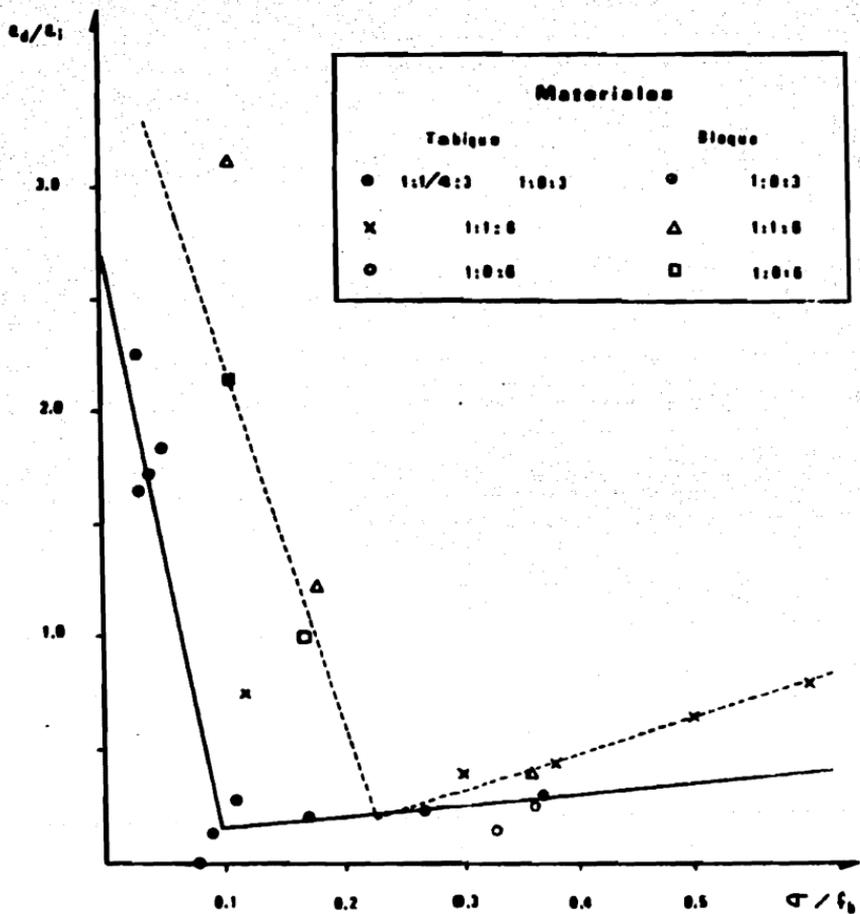
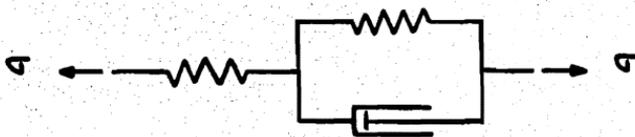
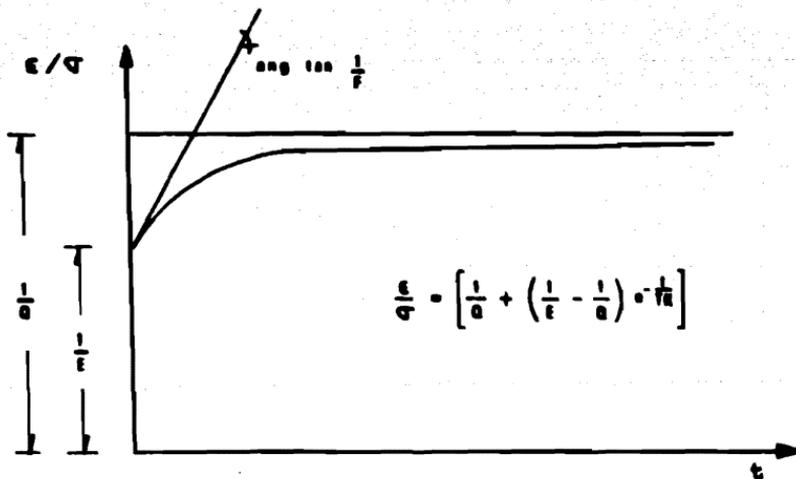


Fig. 9



(a)

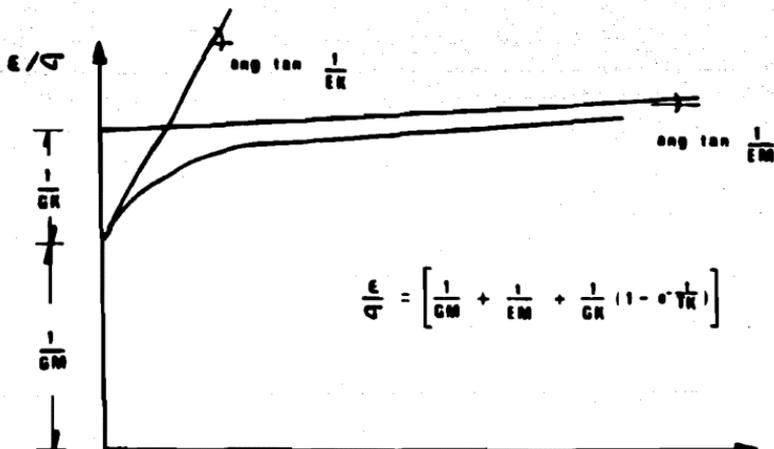


(b)

Fig 10. Sólido de 3 parámetros.

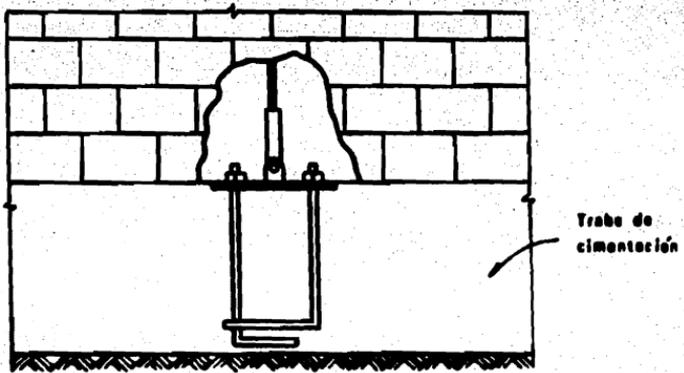


(a)

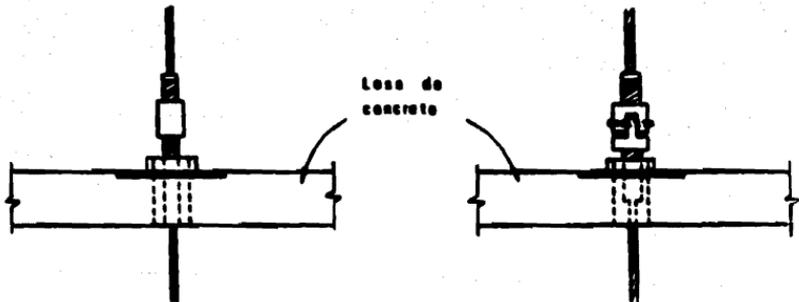


(b)

Fig 11. Fluido de 4 parámetros.



a) Cimentación



b) Anclaje y conexión en un piso intermedio

Fig 12. Detalles de anclaje.



VEREDIDAD NACIONAL
ANPETA

Al Pasante señor HERIBERTO DE JESUS AGUILAR JUAREZ,
P r e s e n t e .

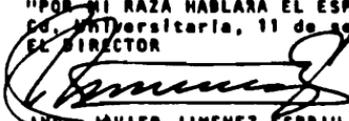
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Oscar Hernández Basilio, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"MAPOSTERIA POSTENSADA"

1. Antecedentes y objetivos.
2. Desarrollo del programa experimental.
3. Modelos teóricos para predicción de las deformaciones diferidas.
4. Recomendaciones preliminares de diseño y construcción.
5. Conclusiones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
C. U. N. I. Versitaria, 11 de septiembre de 1979
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU


JJE/0001/sor