



ENSAYOS ESTRUCTURALES EN MUROS DE ALBAÑILERÍA REFORZADOS POR UNA SOLA CARA – SEGUNDA ETAPA

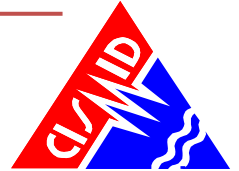
INFORME No. 1

Elaboración del programa experimental de ensayos
estructurales y ensayos para la caracterización de los
materiales



NOVIEMBRE - 2022





CONTENIDO

CONTENIDO	2
LISTA DE FIGURAS	3
LISTA DE TABLAS	4
1. ANTECEDENTES	5
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	5
3. VIVIENDAS CON MUROS DE ALBAÑILERÍA INFORMAL	6
4. EQUIPO PROFESIONAL DE TRABAJO	7
5. DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES	8
5.1. Materiales	8
5.2. Muros	8
5.3. Fabricación de los muros	9
6. ENSAYOS ESTRUCTURALES	13
6.1. En especímenes pequeños	13
6.2. En muros	15
7. CRONOGRAMA DE TRABAJO	19



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Viviendas no ingenieriles o informales	7
Figura 2. Espécimen a escala real de muro de albañilería reforzado con malla electrosoldada	12
Figura 3. Disposición de muro a escala real	12
Figura 4. Ensayo de compresión axial de pilas	14
Figura 5. Ensayo de resistencia al corte de muretes.....	15
Figura 6. Historia de carga (controlada por deformación)	16
Figura 7. Dispositivo de ensayo de carga lateral cíclica en muro.	17
Figura 8. Instrumentación del muro	18



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Ensayos de resistencia a compresión en cubos de mortero	13
Tabla 2. Ensayos de resistencia a compresión del concreto	14
Tabla 3. Ensayos de compresión axial en pilas de albañilería	14
Tabla 4. Ensayos de compresión en muretes de albañilería.....	15
Tabla 5. Amplitudes relativas de la historia de cargas	16
Tabla 6. Ensayos de carga lateral en muros.....	19



ENSAYOS ESTRUCTURALES EN MUROS DE ALBAÑILERÍA REFORZADOS POR UNA SOLA CARA – SEGUNDA ETAPA

INFORME No. 1

Elaboración del programa experimental de ensayos estructurales y ensayos para la caracterización de los materiales

1. ANTECEDENTES

En fecha 25 de octubre del 2022 se suscribió el Convenio Específico N° 10-2022-02.00 con Registro OCAL-UNI N° 118-2022, entre el Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) y la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI); el cual tiene por objeto la cooperación interinstitucional, que permita validar mediante ensayos estructurales, la técnica de reforzamiento de muros de albañilería por una sola cara utilizando la malla electrosoldada, de acuerdo a los descrito en los anexos del convenio específico N° 09-2020-01.00.

El presente documento muestra la elaboración del programa experimental de ensayos estructurales correspondiente al primer informe, conforme a lo establecido en los anexos del Convenio Específico N° 10-2022-02.00.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Validar mediante ensayos estructurales, la técnica de reforzamiento de muros de albañilería por una sola cara utilizando la malla electrosoldada.



3. VIVIENDAS CON MUROS DE ALBAÑILERÍA INFORMAL

CISMID viene realizando estudios de vulnerabilidad y Riesgo sísmico gracias al financiamiento de instituciones como el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) y el Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) a través del Programa presupuestal 0068 de Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por Desastres (PREVAED PP0068). Parte de estos estudios involucran el levantamiento de las características de edificaciones más sensibles para el cálculo de la vulnerabilidad y riesgo sísmico. En este sentido, se ha realizado hasta el 2021 el levantamiento de las tipologías más representativas en todo Lima Metropolitana y el Callao. Producto de estos estudios, se ha observado que el 83% de las viviendas son de albañilería. A pesar de que en el país existe una normatividad dada por el estado peruano a través del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (Norma Técnica de Edificaciones E070 – Albañilería), que comprende en el caso de las edificaciones, los requerimientos mínimos que deben cumplir las estructuras para dar seguridad a sus ocupantes; la falta de fiscalización ha hecho que la informalidad en la construcción de las viviendas llegue alrededor de 60%. Si a este contexto, incluimos el silencio sísmico que atraviesa la zona costera central del Perú, donde se encuentra la ciudad de Lima, el cual nos indica que está próximo a liberarse una gran cantidad energía acumulada en las últimas décadas; debe plantearse mejoramientos de la capacidad sísmica que reduzcan el daño en las viviendas en caso de sismo severo, especialmente en Lima donde se concentra gran parte de las viviendas informales, especialmente en la periferia y zonas emergentes. Las viviendas informales se concentran más en la periferia de la ciudad, desarrollando conos de expansión circundantes.

Se pueden reconocer dos tipologías de viviendas de albañilería informal, la cuales se describen a continuación:

- a) Viviendas de Albañilería con muros conformados por ladrillos artesanales macizos o ladrillos tubulares sin soleras, y techo liviano, localizados en taludes inestables: edificaciones que han evolucionado en el tiempo donde los muros se han construido, pero aún no se cuenta con un techo y vigas de amarre, utilizándose calaminas o planchas de cubierta como techo.
- b) Viviendas de Albañilería con muros conformados por ladrillos artesanales macizos o ladrillos tubulares, y techo aligerado: edificaciones en zonas consolidadas con algunas deficiencias estructurales y constructivas por carecer de asesoría ingenieril.



Figura 1. Viviendas no ingenieriles o informales

Se debe generar conocimiento de la albañilería informal y técnicas de reforzamiento para los sectores menos favorecidos económicamente de alternativas de reforzamiento de bajo costo y sin complejidad constructiva, que no requieran de mano de obra calificada y equipos especiales.

4. EQUIPO PROFESIONAL DE TRABAJO

A continuación, se presenta el equipo técnico:

Jefe de Laboratorio de Estructuras	Dr. Ing. Roy Reyna Zalazar Profesor auxiliar FIC-UNI Investigador Principal CISMID-FIC-UNI CIP: 260179
Ingeniero especialista en ensayos de laboratorio	Dr. Ing. Carlos Zavala Toledo Profesor Principal FIC-UNI Investigador Principal CISMID-FIC-UNI CIP: 31832



Coordinador del proyecto Ingeniero de Laboratorio de Estructuras	Dr. Ing. Miguel Díaz Figueroa Profesor investigador FIC-UNI Investigador Principal CISMID-FIC-UNI CIP: 116123
Responsable del control de calidad del proceso constructivo	MSc. Erika Flores Terreros Profesor Asistente FIC-UNI Investigador CISMID-FIC-UNI

5. DESCRIPCIÓN DE LOS ESPECÍMENES

5.1. Materiales

Para reproducir las condiciones reales de la albañilería confinada informal con reforzamiento en una cara, se utilizarán dos tipos de unidades de albañilería: sólido artesanal y tubular industrial.

Las unidades de albañilería tendrán las siguientes dimensiones nominales:

- El ladrillo sólido artesanal de dimensiones nominales 9x12x24 cm.
- El ladrillo tubular industrial de dimensiones nominales 10x12x25 cm.

El mortero cemento-arena tendrá una relación de volumen de 1:6.

El concreto de los elementos de confinamiento tendrán una resistencia a la compresión nominal de 140kg/cm². Su dosificación se establecerá para que la resistencia a compresión del concreto tenga un valor aproximado al nominal el día del ensayo del muro.

El acero corrugado de los elementos de confinamiento tendrá un esfuerzo de fluencia nominal de 4200kg/cm².

5.2. Muros

Los muros para ambos tipos de unidades de albañilería tendrán las siguientes características, como se observa en la Figura 2:

- Longitud: 2.6 m. Altura: 2.4 m. Espesor: 0.12 m (asentado de soga).

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Laboratorio de Estructuras

- Espesor de juntas: 1 a 1.5 cm.
- Conexión dentada columna-muro.
- Columnas de 0,12x 0,20 m, reforzadas con 4 ϕ ½" y estribos de ¼" liso, 1 @ 5, 4 @10, r @ 20 cm.
- Viga solera de 0,12x 0,20 m, reforzada con 4 ϕ ¾" y estribos de ¼" liso, 1 @ 5, 4 @10, r @ 20 cm.
- Refuerzo con Malla Electrosoldada ASTM A-497 Q-188, D=6.0mm cocada 150mm, en una sola cara.

5.3. Fabricación de los muros

El proceso constructivo representará las prácticas usadas en una construcción típica de la costa del Perú. La secuencia será la siguiente:

- Se fabrica la viga de base dejando anclada la armadura vertical de las columnas. La superficie superior de la viga se raya en el área de asentado del muro.
- Se limpia y humedece la superficie de la viga de base antes de aplicar la capa de mortero para el asentado de la primera hilada del muro.
- Los muros de albañilería se construyen con amarre de sogá, asentando los ladrillos (secos y limpios) a plomo y en línea, con juntas entre 1 cm a 1.5 cm de espesor. Se dejarán los extremos dentados para su conexión con las columnas.
- La fabricación se hará en dos jornadas, sin exceder 1.30 m de altura en un día.
- Se revisa la verticalidad del refuerzo de las columnas y el espaciamiento entre los estribos. Se coloca el encofrado de los lados de las columnas y se procede al vaciado del concreto.
- La viga solera se fabricará después de desencofrar las columnas. La separación entre el refuerzo de acero inferior y los ladrillos del muro será 2.7cm. Se verificará el espaciamiento entre los estribos. Se colocará el encofrado de los lados de la viga y se procederá al vaciado del concreto.
- El curado de los elementos de confinamiento se realizará con rodillo o similar, este proceso durará 21 días, luego se procederá a colocar el refuerzo de malla en el muro.
- Reforzamiento de muros con malla electrosoldada: Los muros a ensayar serán reforzados en una sola cara con malla electrosoldada. El procedimiento para seguir, según esta técnica, es el siguiente:

i) Perforaciones para los conectores del muro:

En muro: Se realizan perforaciones en las juntas del muro, hasta una profundidad de 7.5cm medidos desde la cara del lado a reforzar, con un taladro y broca de 1/4", como máximo cada 300 mm (dos veces la cocada de la malla) en dirección horizontal y cada tres hiladas en dirección vertical. Luego se procede a limpiar las perforaciones con aire comprimido.



En columnas de confinamiento: Se realizan perforaciones en las columnas de confinamiento, hasta una profundidad de 7.5cm medidos desde la cara del lado a reforzar, con un taladro y broca de 3/8", distribuidos en altura con un espaciamiento máximo de 15cm a excepción de los extremos que tienen un espaciamiento de 5cm en los extremos del muro. Luego se procede a limpiar las perforaciones con aire comprimido.

En elementos de confinamiento horizontales (viga y base): Se realizan perforaciones en elementos de confinamiento horizontales (viga y base) hasta una profundidad de 10cm medidos desde la cara del lado a reforzar, con un taladro y broca de 3/8", distribuidos en altura con un espaciamiento máximo de 15cm. Luego se procede a limpiar las perforaciones con aire comprimido.

ii) Instalación de Conectores

En muro: Empleando un soplador de aire se removerán las partículas sueltas que se encuentren en las perforaciones. Posteriormente en estas se instalarán conectores de alambre recocido N°8 que servirán de sujetadores para la malla electrosoldada. Dichos conectores serán fijados empleando anclaje químico ASTM C-881 Tipo IV, dejando el tiempo necesario para su endurecimiento.

En columnas de confinamiento: Empleando un soplador de aire se removerán las partículas sueltas que se encuentren en las perforaciones. Posteriormente en estas se instalarán bastones de anclaje (dowells) de 8 mm de diámetro y de acero corrugado ASTM A615 GRADO60 que servirán de sujetadores para la malla electrosoldada en las columnas de confinamiento. Dichos dowells serán fijados empleando anclaje químico ASTM C-881 Tipo IV, dejando el tiempo necesario para su endurecimiento.

En elementos de confinamiento horizontales (viga y base): Empleando un soplador de aire se removerán las partículas sueltas que se encuentren en las perforaciones. Posteriormente en estas se instalarán bastones de anclaje (dowells) de 8 mm de diámetro y de acero corrugado ASTM A615 GRADO60 que servirán de sujetadores para la malla electrosoldada en los elementos horizontales de confinamiento. Dichos dowells serán fijados empleando anclaje químico ASTM C-881 Tipo IV, dejando el tiempo necesario para su endurecimiento.



iii) Instalación de Malla Electrosoldada

Se instalará la malla electrosoldada Q-188 ASTM A-497, que será fijada a través de los conectores de alambre recocido N°8 y dowells en los elementos de confinamiento, esta se amarrará con alambre recocido N°16. Durante su instalación se emplearán separadores de plástico (crucetas) cada 45cm, con la finalidad de asegurar una separación libre de 1cm entre la malla electrosoldada y el muro. Una vez instalada la malla electrosoldada se retirarán los separadores de plástico.

iv) Aplicación de capa de mortero y tarrajeo de muro perforado

Se deberá humedecer el muro para luego empezar a pañetear en dos tiempos el muro con un mortero de cemento:arena gruesa en proporción 1:4 hasta cubrir la malla electrosoldada y asegurando un espesor de 3cm. Para obtener un tarrajeo liso del muro se deberá emplear arena fina en la última parte del mortero, al día siguiente se deberá curar el mortero por un lapso de 7 días para lograr su hidratación.

- Una vez culminado el proceso de reforzamiento, se pintará de blanco el muro, para realizar el pintado de grietas.
- El proveedor da por culminado el servicio cuando se entreguen los muros pintados. Los especímenes deben de cumplir con las especificaciones del plano que se adjunta en el presente documento. A fin de que la disposición final de los especímenes del muro sea como se muestra en la Figura 3.

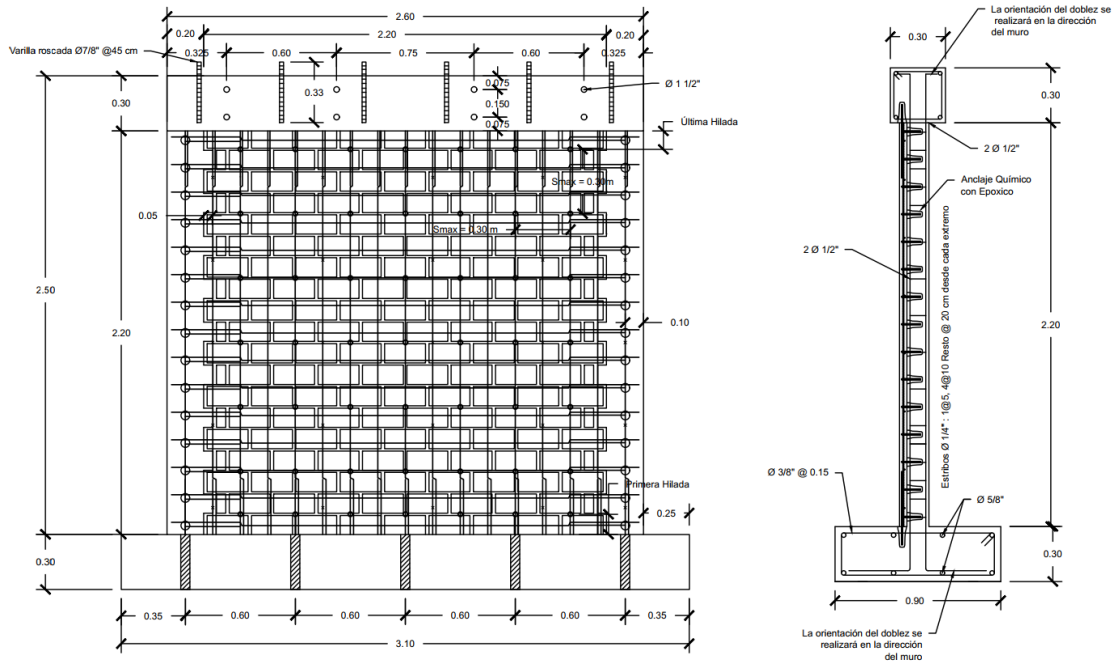


Figura 2. Espécimen a escala real de muro de albañilería reforzado con malla electrosoldada



Figura 3. Disposición de muro a escala real



6. ENSAYOS ESTRUCTURALES

Para determinar el comportamiento sísmico de muros de albañilería informal con reforzamiento en una cara, se ha planteado realizar diversos ensayos como ensayos de compresión de cubos de mortero y probetas de concreto, ensayos de compresión axial de pilas, ensayos de compresión diagonal de muretes y ensayos de carga cíclica en muros de albañilería confinada informal con reforzamiento de mallas electrosoldadas en una cara. Se han considerado dos tipos de unidades para conformar los muros: ladrillo de arcilla artesanal macizo (sólido artesanal) y ladrillo de arcilla pandereta (tubular industrial).

6.1. En especímenes pequeños

Los ensayos estructurales sirven para caracterizar los materiales que constituyen el sistema de albañilería confinada.

La resistencia a la compresión del mortero utilizado en la elaboración de los especímenes de albañilería, se realizarán los ensayos de laboratorio siguiendo los procedimientos indicados en la NTP399.610. La Tabla 1 muestra la cantidad de especímenes a ser ensayados.

Tabla 1. Ensayos de resistencia a compresión en cubos de mortero

TIPO DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA	EDAD	CANTIDAD
Sólido artesanal	A los 3 días	3
	A los 7 días	3
	A los 28 días	3
Tubular industrial	A los 3 días	3
	A los 7 días	3
	A los 28 días	3

La resistencia a la compresión del concreto utilizado en la elaboración de los especímenes, se realizarán los ensayos de laboratorio siguiendo los procedimientos indicados en la NTP399.613. La Tabla 2 muestra la cantidad de especímenes a ser ensayados.

Tabla 2. Ensayos de resistencia a compresión del concreto

ELEMENTO	CANTIDAD	EDAD (días)
Vigas de base	3	7
	3	28
Columnas	6	7
	6	28(1)
Vigas soleras	3	7
	3	28(1)

(1) En la fecha de ensayos del muro

Para conocer los valores de resistencia a la compresión de las pilas de albañilería (f'm), se realizarán el ensayo de compresión axial en pilas siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 399.605. La Tabla 3 muestra la cantidad de especímenes a ser ensayados.



Figura 4. Ensayo de compresión axial de pilas

Tabla 3. Ensayos de compresión axial en pilas de albañilería

TIPO DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA	CANTIDAD
Sólido artesanal	3
Tubular industrial	3

Para conocer los valores de resistencia al corte de muretes de albañilería (v'm), se realizarán el ensayo de compresión diagonal en muretes siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 399.621. La Tabla 4 muestra la cantidad de especímenes a ser ensayados.



Figura 5. Ensayo de resistencia al corte de muretes

Tabla 4. Ensayos de compresión en muretes de albañilería

TIPO DE UNIDAD DE ALBAÑILERÍA	CANTIDAD
Artesanal macizo	3
Tubular industrial	3

6.2. En muros

Para conocer el comportamiento frente a cargas laterales y las propiedades mecánicas, como rigidez, degradación de la rigidez, cargas y distorsiones de agrietamiento, fluencia y máxima, se realizarán ensayos estáticos cíclicos a escala natural en muros de albañilería confinada informal con reforzamiento en una cara.

Los muros se someterán a ensayos de carga cíclica siguiendo el procedimiento del reporte FEMA 461 (FEMA, 2007), consistente en la aplicación de carga lateral (horizontal) en la parte superior del muro, en sentido de ida y de vuelta. El patrón de carga está dado por ciclos repetitivos de valor incremental. Se deben realizar dos ciclos por amplitud, tal como se muestra en la Figura 6. En ese gráfico se define la historia de carga con los siguientes parámetros:

- $\Delta 0$ es la amplitud mínima, que debe ser suficientemente menor a la amplitud que se espera inicie el primer estado de daño. Ese primer estado de daño debe ocurrir cuando se hayan realizado por lo menos seis ciclos de carga.
- Δm es la amplitud máxima, que debe ser un valor para el cual se espera que se produzca el daño más severo. Este valor debe estimarse antes del ensayo. Si durante la ejecución, el estado de daño más severo no

Facultad de Ingeniería Civil
Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas
y Mitigación de Desastres
Laboratorio de Estructuras

- ocurriera a la amplitud esperada, se deberá seguir aplicando incrementos de amplitud de $0.3 \Delta_m$.
- n es el número de fases (o incrementos) del ensayo. Generalmente serán diez o más.
 - a_i es la amplitud de la fase i . La amplitud inicial (a_1) será Δ_0 y la amplitud final (a_n) será Δ_m . Cuando sea posible, el ensayo debe continuar más allá de Δ_m , aún si el estado de daño más severo ha sido alcanzado. El ensayo terminará cuando se llegue a la capacidad máxima del dispositivo o el espécimen se haya degradado tan severamente, que ya no se pueda obtener ninguna información adicional relevante.
 - La amplitud a_{i+1} de la fase $i+1$ (que incluye dos ciclos) será: $a_{i+1} = 1.4 a_i$, donde a_i es la amplitud de la fase anterior.
 - Como la amplitud a_n será igual a Δ_m , el cociente a_i/a_n se puede calcular en función del número de fases del ensayo, tal como se muestra en la Tabla 5.

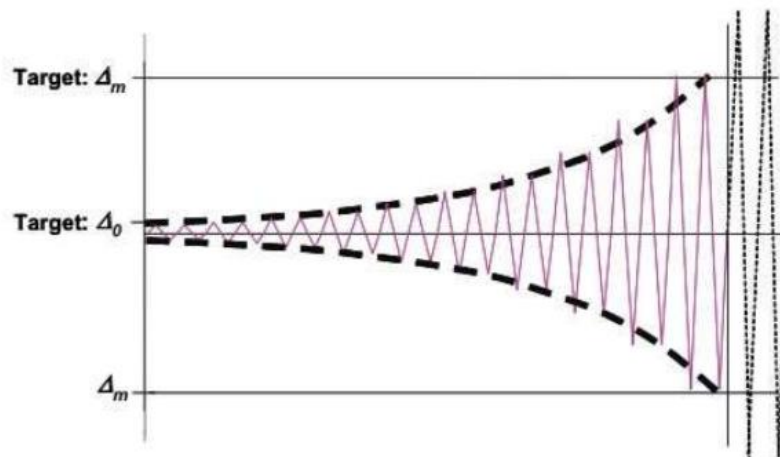


Figura 6. Historia de carga (controlada por deformación)

Tabla 5. Amplitudes relativas de la historia de cargas

N	13	12	11	10
a_i/a_n	0.018	0.025	0.035	0.048

Este procedimiento de ensayo de carga lateral cíclica abarca el comportamiento elástico e inelástico del espécimen, con un número de ciclos que permite que la curva de carga y descarga versus desplazamiento lateral superior muestre un lazo histerético estable.

A partir de la envolvente de los lazos histeréticos (tanto de los desplazamientos de ida como los de retorno), se grafica la curva carga versus desplazamiento, en

la cual se deberá identificar el punto correspondiente a cada uno de los siguientes estados:

1. Primera fisura de tracción por flexión en el concreto, que se forma en la base del muro, originada cuando el esfuerzo de tracción producido por las cargas es mayor a 20 kg/cm^2 . Este punto se presenta para una deriva de alrededor de $1/1600$.
2. Rotura diagonal con agrietamiento en aspa del muro, acompañada de una caída ligera en la resistencia. Esta falla se produce para una deriva del orden de $1/800$.
3. Límite de reparación asociado a una deriva de $1/200$ (para la albañilería de ladrillos macizos, según la Norma E.070), punto hasta donde se considera que el sistema es económicamente reparable.
4. Falla final, en la que se presenta trituración de los talones del muro, y el pandeo del refuerzo vertical o la trituración de las unidades de albañilería. La deriva alcanzada puede ser de hasta $1/100$.

Simultáneamente a la acción de la carga lateral, en los especímenes se aplicará una carga vertical (axial al muro) de 14 toneladas (140 kN), que se mantendrá constante durante todo el ensayo. En la Figura 7 se muestra un esquema tentativo del aparato de carga para el ensayo.

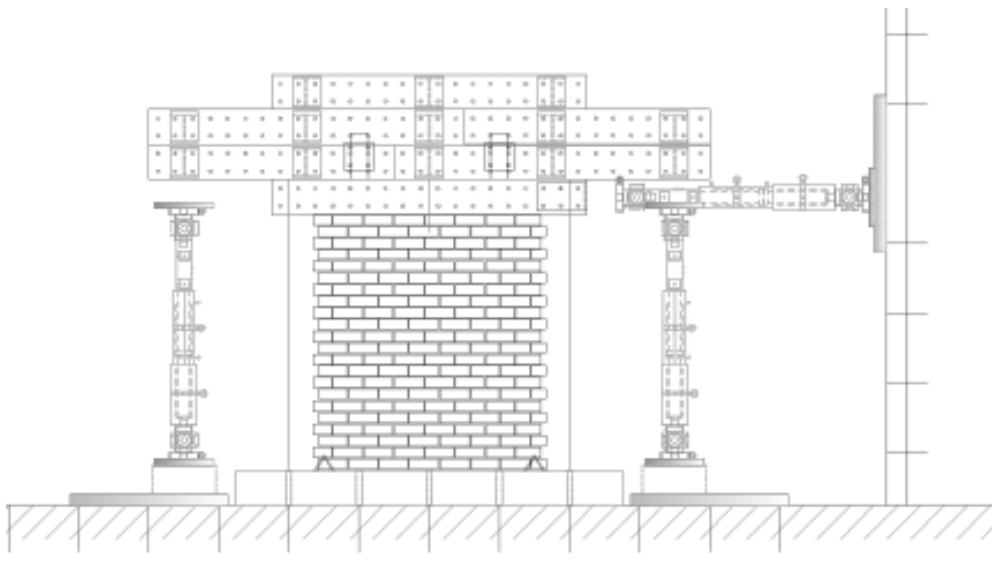


Figura 7. Dispositivo de ensayo de carga lateral cíclica en muro.

El sistema de carga consiste en cuatro gatas hidráulicas estáticas; cada una tiene una capacidad de aplicación de carga de 500 kN con una amplitud del embolo (stroke) de $\pm 250 \text{ mm}$. Dos de estas gatas hidráulicas serán las responsables de la aplicación de la carga cíclica lateral, mientras las otras dos gatas hidráulicas serán los responsables de mantener una carga axial que simule la presencia de carga de pisos sobre el muro a ensayar. Durante el desarrollo

del ensayo esta carga axial se mantendrá constante. La carga axial es aplicada con dos gatas hidráulicas, bajo control de carga, usando la carga vertical requerida, que se distribuye horizontalmente mediante una viga de acero soportada por la viga superior de concreto del espécimen.

Para medir los desplazamientos en los muros, se instrumentará el espécimen con transductores de desplazamiento (LVDT) en las posiciones y canales CH-03 al CH-19 que se observan en la Figura 8 con la numeración especificada.

Adicionalmente, las cargas deberán ser registradas mediante celdas de carga montadas sobre cada una de las gatas hidráulicas en canales CH-00 al CH-02. Para el control del desplazamiento de las gatas hidráulicas se utilizará un transductor de desplazamiento monitor como se muestra en la Figura 8.

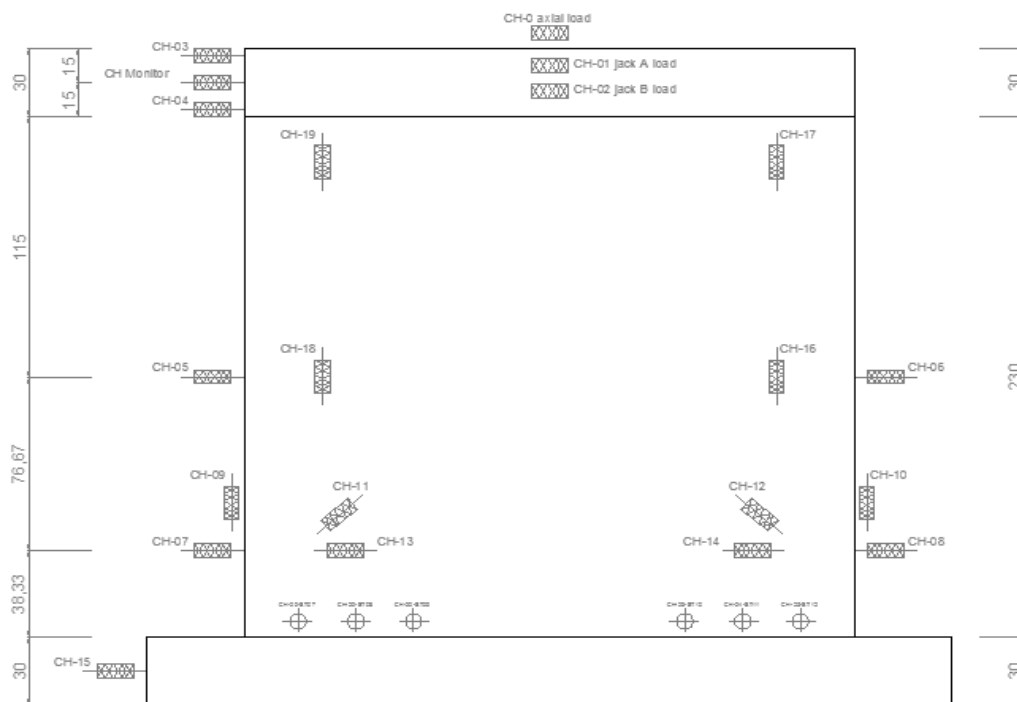


Figura 8. Instrumentación del muro

De cada tipo de unidad de albañilería considerada (sólido artesanal y tubular industrial) se construirán dos muros con los que se realizarán cuatro ensayos, según se explica a continuación. En la Tabla 6 se presenta un resumen del total de ensayos.

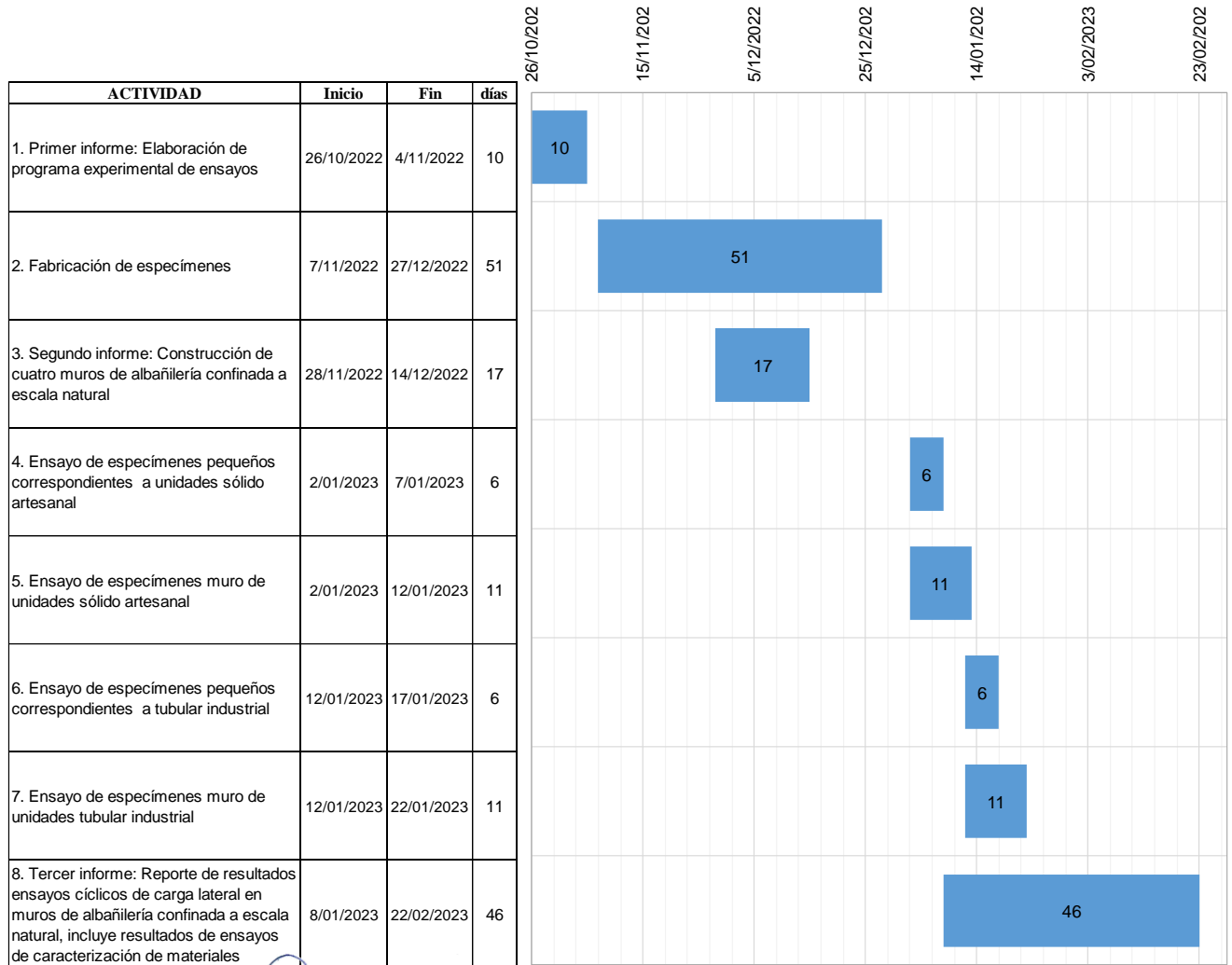
- Ensayos con carga axial (140 kN) hasta la rotura en dos muros de cada tipo de ladrillo (cuatro ensayos en total). Deberá llegarse hasta una situación de falla extrema.

Tabla 6. Ensayos de carga lateral en muros

TIPO DE UNIDAD	CONDICIÓN DEL ENSAYO	CANTIDAD
Sólido artesanal	Con carga axial hasta la rotura	2
Tubular industrial	Con carga axial hasta la rotura	2

7. CRONOGRAMA DE TRABAJO

A continuación, se presenta el cronograma de trabajo:



Dr. Ing. Miguel Augusto Diaz Figueroa
 Sub Director de investigación
 Coordinador del Proyecto
 CISMID/FIC/UNI