

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL DESEMPEÑO DE MUROS DE
CONTENCIÓN DE PIEDRA DE JUNTA SECA USANDO
ESPECÍMENES A ESCALA REDUCIDA**

Tesis para obtener el título profesional de **Ingeniero Civil**

AUTOR:

Julio César Alcántara Cornejo

ASESORA:

Dra. Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo

Lima, junio del 2020

RESUMEN

La ciudad de Lima es una zona altamente sísmica, en el que el 30% de la población vive en las laderas de los cerros. Esta situación, sumada a informalidad en las construcciones, ocasiona una situación de gran vulnerabilidad. Para poder habitar en las laderas de los cerros, los habitantes emplean terraplenes y muros de piedra de junta seca (pircas) como muros de contención. Los efectos de un sismo de gran intensidad podrían provocar la falla en los terraplenes y las pircas, dando lugar a grandes daños materiales y lamentables pérdidas humanas. Para disminuir la vulnerabilidad de las pircas, es necesario realizar estudios experimentales para poder caracterizar las propiedades de este tipo de construcciones y evaluar su desempeño ante cargas laterales perpendiculares a su plano. En el proyecto 109-2017-FONDECYT, que propone la construcción y ensayos de pircas a escala natural, se ha visto la necesidad de llevar a cabo ensayos complementarios a escala reducida con el fin de definir algunos parámetros y verificar los modelos numéricos. El objetivo es evaluar experimentalmente el desempeño de muros de piedra de junta seca frente a cargas laterales estáticas perpendiculares a su plano, mediante el uso de especímenes (muros) a escala reducida. Primero, se caracteriza los especímenes a ensayar según la geometría y armado, obteniendo un espécimen ideal. Luego, se diseña y construye un equipo portátil inclinable para ensayos estáticos ante cargas laterales. A continuación se diseña, construye y ensaya los especímenes, realizando diez ensayos con el fin de hallar la fuerza máxima que puedan resistir los especímenes. Con los bloques regulares (adoquines) se hizo tres ensayos en los que se arman muros sin arriostres. Con los bloques irregulares (rocas) se hizo: tres ensayos en los que se arman muros sin arriostres, tres ensayos en los que se arma muros con arriostres, y un ensayo en el que se arma un muro con tarrajeo. Con los ensayos realizados, se obtiene la fuerza máxima como el porcentaje del peso propio de los especímenes: en bloques regulares sin arriostres, 32%; en bloques irregulares sin arriostres, 24%, en bloques irregulares con arriostres, 33%; y en bloques irregulares con tarrajeo, 57%. En conclusión, se logra el objetivo mencionado, ya que con los ensayos a escala reducida se puede validar (teóricamente) los resultados de ensayos a escala natural.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesora, la Dra. Sandra Santa Cruz, por guiarme a lo largo de este proyecto y brindarme valiosos comentarios al respecto.

A la profesora PhD Dominique Daudon, por orientación y acertadas anotaciones en el proyecto.

A mi familia, por apoyarme durante todos estos años y creer en mí. Un especial agradecimiento al señor César Alcántara, mi padre, quien colaboró conmigo en diversas etapas de este proyecto.

A la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, por su apoyo financiero y logístico durante mis ensayos.

Al CONCYTEC, por el apoyo financiero en la realización de este proyecto mediante el convenio 109-2017-FONDECYT.

A mis amigos, por darme ánimos cuando más lo necesitaba.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
TABLA DE CONTENIDOS	iv
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABLAS	viii
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 HIPÓTESIS	4
1.4 JUSTIFICACIÓN	4
1.5 METODOLOGÍA	4
2. CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE.....	7
2.1 MUROS DE CONTENCIÓN Y SUS FALLAS AFINES	7
2.2 MODELOS DE EQUIPOS PARA ENSAYOS ESTÁTICOS	8
2.3 ANÁLISIS DIMENSIONAL Y MODELACIÓN A ESCALA REDUCIDA	11
3. CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE PIRCAS USADAS EN LA CIUDAD DE LIMA.....	15
4. CAPÍTULO IV: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO.....	20
4.1 CRITERIOS DE DISEÑO.....	20
4.2 CONCEPTUALIZACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA	21
4.3 DISEÑO Y ELABORACIÓN DE PLANOS	23
4.4 ELABORACIÓN DE PRESUPUESTO	34
4.5 CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO.....	34
4.6 INSTRUMENTACIÓN Y CALIBRACIÓN DE EQUIPO	36
5. CAPÍTULO V: MODELOS Y ENSAYOS A ESCALA	37
5.1 ANÁLISIS DIMENSIONAL Y DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE ESCALA.....	37
5.2 DEFINICIÓN DE ESPECÍMENES A ENSAYAR	40
6. CAPÍTULO VI: RESULTADOS DE ENSAYOS	45
6.1 RESULTADOS DE MUROS CON BLOQUES REGULARES.....	45
6.2 RESULTADOS DE MUROS CON BLOQUES IRREGULARES.....	47

6.3	COMENTARIOS SOBRE DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	63
7.	CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
8.	REFERENCIAS	67
	APÉNDICE A. PLANOS.....	69
	APÉNDICE B. HOJAS DE CÁLCULO.....	69



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Vivienda sobre terraplén y pirca - distrito de Carabaylo	1
Figura 2. Vivienda con muro de concreto armado sobre pirca – distrito de Carabaylo.....	2
Figura 3. Muro de concreto ciclópeo – distrito de Villa María del Triunfo	2
Figura 4. Diagrama de cuerpo libre de un espécimen genérico	6
Figura 5. Muros de piedra de junta seca que han fallado por <i>toppling</i> (McCombie, P. F., Mundell, C., Heath, A., & Walker, P., 2012)	8
Figura 6. Ensayo de un muro de piedra de junta seca mediante fuerzas hidrostáticas (Villemus et al., 2007).....	9
Figura 7. Máquina centrifugadora de ensayos (Fukumoto et al., 2014)	10
Figura 8. Máquina con prensa hidráulica que ejerce fuerza armónica lateral (T.T. Bui et al., 2017)	10
Figura 9. Máquina con plano inclinado (Restrepo et al., 2009).....	11
Figura 10. Gráficos resumen de características de pircas (Santa Cruz S., Valderrama N., Daudon D., 2018).....	16
Figura 11. Caracterización de pircas – Vista de perfil (Santa Cruz S., Valderrama N., Daudon D., 2018).....	17
Figura 12. Vista panorámica de un vecindario en el distrito de Carabaylo	18
Figura 13. Vista panorámica de un vecindario en el distrito de Villa María del Triunfo	18
Figura 14. Vista de una pirca en un colegio del distrito de Ancón.....	18
Figura 15. Mapa de los yacimientos líticos en la ciudad de Lima (INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO, 2018).....	19
Figura 16. Diagrama de cuerpo libre del tablero	20
Figura 17. Esquema de equipo con tablero inclinable - Alternativa 1	21
Figura 18. Esquema de equipo con tablero inclinable - Alternativa 2.....	22
Figura 19. Esquema de equipo con tablero inclinable - Alternativa 3.....	22
Figura 20. Esquema de perfil del espécimen reducido a escala 1:4.....	23
Figura 21. Esquema isométrico del mecanismo del equipo completo (principal + auxiliar).....	24
Figura 22. Vista frontal del mecanismo (máquina, espécimen y grúa pórtico) en reposo	25
Figura 23. Vista frontal del mecanismo (máquina, espécimen y grúa pórtico) en movimiento.....	28
Figura 24. Distribución de cargas en tablero.....	31
Figura 25. Secciones críticas en los elementos más cargados, dimensiones en cm.....	31
Figura 26. Proceso constructivo del equipo, cada foto corresponde a un día diferente	35

Figura 27. Mecanismo completo (sin topes) ya ensamblado.....	35
Figura 28. Equipo con dispositivo de medición calibrado.....	36
Figura 29. Muro de adoquines (bloques regulares)	40
Figura 30. Muro de piedras (bloques irregulares)	41
Figura 31. Esquema del arriostres anclados a los topes del tablero.....	42
Figura 32. Espécimen con arriostres instalados en ambos extremos	42
Figura 33. Espécimen con tarrajeo a un lado	43
Figura 34. Elaboración de las piezas: a la izquierda, los bloques regulares; y a la derecha, los irregulares	44
Figura 35. Instante de falla de muro de bloques regulares sin arriostres (2do ensayo)	45
Figura 36. Vista de muro de bloques regulares sin arriostres – inclinación de 15° (2do ensayo).....	46
Figura 37. Instante de falla de muro de bloques irregulares sin arriostres (3er ensayo)	48
Figura 38. Instante de falla de muro de bloques irregulares con arriostres (2do ensayo)	48
Figura 39. Instante de falla de muro de bloques irregulares con tarrajeo (1er ensayo).....	49
Figura 40. Vista de muro de bloques irregulares sin arriostre – inclinación de 10° (3er ensayo).....	49
Figura 41. Vista de muro de bloques irregulares con arriostre – inclinación de 15° (2do ensayo).....	50
Figura 42. Vista de muro de bloques irregulares con tarrajeo – inclinación de 30° (1er ensayo).....	50
Figura 43. Esquema de ubicación del espécimen respecto al sistema OPQ	52
Figura 44. Esquema de alturas de los puntos de interés	52
Figura 45. Esquema de posición de un punto genérico en el espacio OPQ.....	53
Figura 46. Esquema de posición de los todos los sistemas de coordenadas en el espacio.....	54
Figura 47. Esquema de posición de puntos de interés en el espécimen y de rectas Ci	54
Figura 48. Esquema de posición de sistema XZ en los especímenes	55
Figura 49. Ubicación de la intersección de la recta P y la recta Ci.....	56
Figura 50. Esquema de las posiciones de punto i (real y teórica) tanto en sistema OPQ como en plano XZ.....	56
Figura 51. Gráfico de deformaciones en el perfil 123 del muro sin arriostres.....	57
Figura 52. Gráfico de deformaciones en el perfil 456 del muro sin arriostres	57
Figura 53. Gráfico de deformaciones en el perfil 789 del muro sin arriostres.....	58
Figura 54. Gráfico de deformaciones en el perfil 123 del muro con arriostres.....	58
Figura 55. Gráfico de deformaciones en el perfil 456 del muro con arriostres.....	59
Figura 56. Gráfico de deformaciones en el perfil 789 del muro con arriostres	59
Figura 57. Gráfico de deformaciones en el perfil 123 del muro con tarrajeo.....	60
Figura 58. Gráfico de deformaciones en el perfil 456 del muro con tarrajeo	60
Figura 59. Gráfico de deformaciones en el perfil 789 del muro con tarrajeo	61
Figura 60. Ensayo S2 en el mecanismo G, con bloques regulares (Restrepo, 2009).....	64

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Lista de magnitudes físicas (Chereque, 1993).....	12
Tabla 2. Puntuación de alternativas de equipo	22
Tabla 3. Dimensiones de máquina y espécimen ideal	25
Tabla 4. Metrado y cálculo de peso aproximado de máquina y espécimen ideal	26
Tabla 5. Dimensiones de grúa pórtico.....	26
Tabla 6. Metrado y cálculo de peso aproximado de grúa pórtico	26
Tabla 7. Pesos y coordenadas de centroides de la máquina.....	27
Tabla 8. Pesos y coordenadas de centroides de la grúa pórtico	27
Tabla 9. Variación de los centroides de la máquina (equipo principal móvil)	27
Tabla 10. Variación de punto de izaje	28
Tabla 11. Variación de momentos de volteo e izaje, y sus correcciones	29
Tabla 12. Variación de tensión en polipasto y fuerzas en grúa pórtico	30
Tabla 13. Esfuerzos admisibles en madera (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2006).....	32
Tabla 14. Características de secciones críticas en equipo principal	32
Tabla 15. Fuerzas máximas derivadas de los esfuerzos admisibles.....	32
Tabla 16. Resumen de pesos admisibles y factores de seguridad.....	33
Tabla 17. Verificación de deflexiones en el tablero	33
Tabla 18. Factores de escala para los ensayos estáticos	39
Tabla 19. Resumen de características de los especímenes ensayados	44
Tabla 20. Resultados de ensayos de muros con bloques regulares sin arriostre	45
Tabla 21. Comparación de fuerzas en muros con bloques regulares sin arriostre	46
Tabla 22. Resultados de ensayos de muros con bloques irregulares sin arriostre.....	47
Tabla 23. Resultados de ensayos de muros con bloques irregulares con arriostre	47
Tabla 24. Resultados de ensayos de muros con bloques irregulares con tarrajeo.....	47
Tabla 25. Comparación de fuerzas en muros con bloques irregulares sin arriostre.....	51
Tabla 26. Comparación de fuerzas en muros con bloques irregulares con arriostre.....	51
Tabla 27. Comparación de fuerzas en muros con bloques irregulares con tarrajeo.....	51
Tabla 28. Desplazamientos en muros con bloques irregulares sin arriostre	61
Tabla 29. Desplazamientos en muros con bloques irregulares con arriostre	62
Tabla 30. Desplazamientos en muros con bloques irregulares con tarrajeo	62

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La ciudad de Lima es una zona altamente sísmica debido a su posición geográfica cerca del Cinturón de Fuego del Pacífico, encontrándose en una zona de silencio sísmico de 270 años (Tavera, 2001). Esta situación ocasiona un riesgo sísmico alto. Asimismo, la informalidad está presente en una considerable parte de las construcciones, en la que se da escasa o nula asistencia técnica al momento de la edificación de viviendas sobre el terreno agreste (Miyashiro, 2009).

Aproximadamente el 30% de la población de la ciudad de Lima viven en las laderas de los cerros (Paredes, 2006). Para ocupar las laderas de los cerros, los habitantes construyen terraplenes nivelar el terreno y emplean las pircas (muros de piedra de junta seca) como muros de contención para sus terraplenes (De los Rios, 2008), como se muestra en la figura 1. Los efectos de un sismo de gran intensidad podrían provocar la falla en los terraplenes y las pircas, dando lugar a grandes daños materiales y lamentables pérdidas humanas.

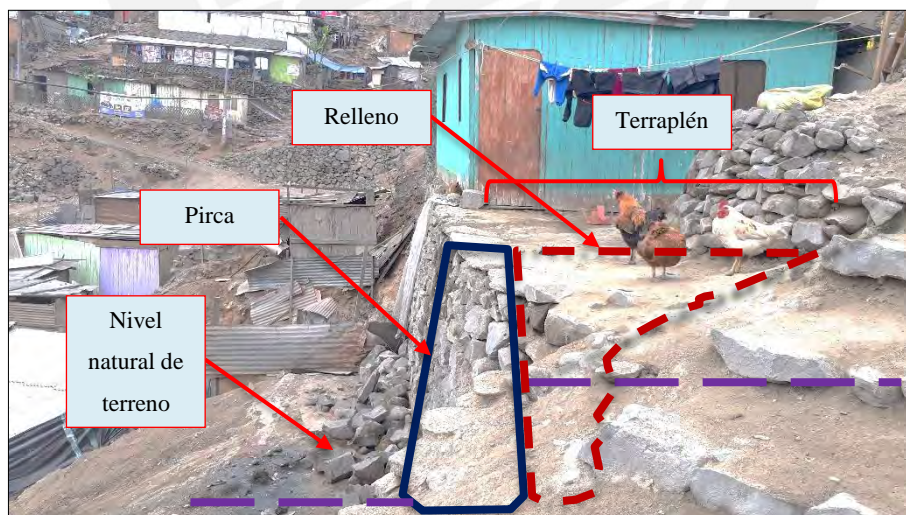


Figura 1. Vivienda sobre terraplén y pirca - distrito de Carabayllo

Este problema ha venido tratándose de diversos modos; como agregar mortero en la construcción de pircas (desco, 2010), elaborar un muro de concreto armado sobre la pirca existente (ver figura 2) o con

muros de concreto ciclópeo en lugar de la pirca (ver figura 3). Los agentes involucrados son los mismos vecinos, usualmente con el apoyo de organizaciones gubernamentales y no gubernamentales (Centro de Estudios y Prevención de Desastres - PREDES, 2011).

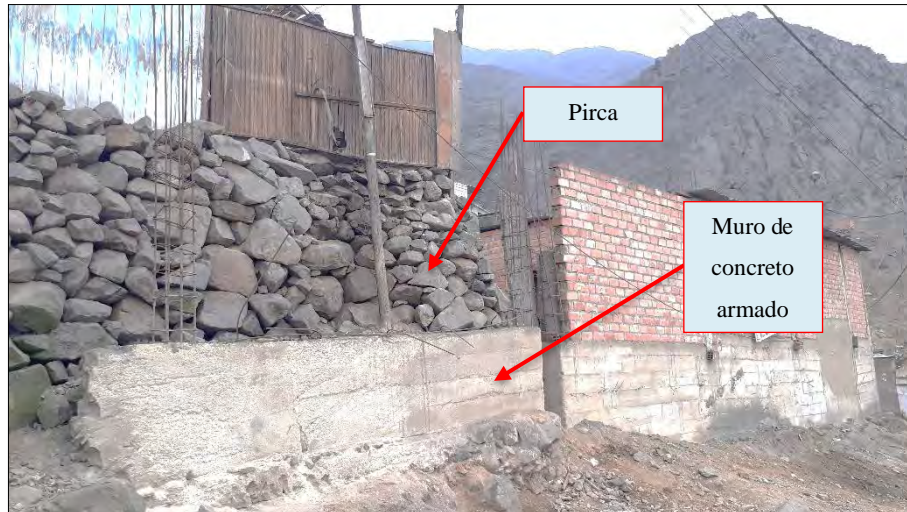


Figura 2. Vivienda con muro de concreto armado sobre pirca – distrito de Carabaylo



Figura 3. Muro de concreto ciclópeo – distrito de Villa María del Triunfo

Estas medidas provisionales ayudan con la estabilización de las pircas ante fuerzas sísmicas perpendiculares a su plano. Al tener un refuerzo en la contención de las piezas líticas se evitan accidentes

menores, como golpes y daños en techos. Sin embargo, no dejan de ser soluciones temporales. Ante un movimiento telúrico de gran intensidad, es incierto hasta qué punto resistirían estos muros de piedra. La aleatoriedad de la colocación de las piedras (armado), de la forma de las mismas y de las condiciones de borde en el conjunto. Esto hace que no se pueda predecir a simple cálculo el desempeño exacto de estas estructuras.

Para entender el comportamiento ante cargas perpendiculares a su plano, el proyecto N°109-2017-FONDECYT tiene como actividades realizar ensayos a escala real de pircas con un equipo con una mesa inclinable (Rivas, 2019) y modelación numérica con elementos discretos (Zanelli, 2019). Estas pircas presentan características representativas de las que han venido construyéndose en las laderas de la ciudad. Como actividades previas se tiene contemplado realizar ensayos a escala reducida para validar el método experimental propuesto en el proyecto; y dar algunos resultados preliminares que puedan ser aplicados al caso de pircas y muros de piedra en general.

Queda evidente la necesidad de evaluar la resistencia de estos muros y conocer su comportamiento ante sobrecargas laterales perpendiculares a su plano para tomar medidas estructurales correctivas adecuadas, económicamente viables. Cabe indicar que el fin de que estas medidas serán provisionales, ya que la situación de riesgo sólo sería paliada mas no resuelta.

1.2 Objetivos

El objetivo general es evaluar experimentalmente el desempeño de muros de piedra de junta seca frente a cargas laterales estáticas perpendiculares a su plano, mediante el uso de especímenes a escala reducida.

Los objetivos específicos son:

- a) Caracterizar los especímenes a ensayar según la geometría y arreglo más comunes en la ciudad de Lima.
- b) Diseñar y construir un equipo portátil inclinable para ensayos estáticos ante cargas laterales.
- c) Diseñar, construir y ensayar especímenes (dos tipos de armado) a escala reducida de muros de junta seca frente a cargas laterales estáticas en dirección perpendicular a su plano.
- d) Calcular y comparar las cargas máximas y modos de falla de ambos tipos de armado según sus deformaciones.

1.3 Hipótesis

El desempeño ante cargas laterales perpendiculares al plano depende del armado de las piedras y las condiciones de borde.

1.4 Justificación

La investigación sirve para obtener resultados semejantes a los que se obtendrían de un ensayo a escala natural. Con ello se busca obtener evidencia acerca de la vulnerabilidad de las pircas como muros de contención, al menor costo posible. Asimismo, el equipo a construir puede ser usado para diversos especímenes a escala reducida que requieran un ensayo estático. Esto con el plus de que, al ser portátil, los ensayos pueden realizarse cerca del lugar donde se obtienen los materiales de los especímenes.

1.5 Metodología

Para llevar a cabo el objetivo de este trabajo se realizarán las siguientes actividades.

Reunión bibliográfica

Se requiere conocer el estado del arte de los equipos y los ensayos con cargas perpendiculares al plano del espécimen, así como los modos de falla de este tipo de esfuerzos. Asimismo, se buscará información sobre la teoría de escalas y análisis dimensional, de modo que se pueda obtener especímenes adecuados para los ensayos a escala reducida.

Caracterización de los especímenes a ensayar

Consiste en la búsqueda de información de distintas fuentes (censos, Organizaciones No Gubernamentales, testimonios de pobladores de la zona de estudio) acerca de las formas y características más resaltantes de las pircas en la capital del Perú. Asimismo, se identifican los tipos de rocas más característicos en: mapas geológicos de la zona de estudio, ensayos de rocas (estudios previos) y visitas de campo. Finalmente, se propone dos caracterizaciones de prototipos para ser ensayados a escala reducida posteriormente.

Diseño y construcción de un equipo portátil inclinable para los ensayos

Dado que se espera aplicar cargas estáticas por inclinación a los especímenes, se requiere que el equipo cuente con un tablero donde construir los especímenes *in situ*. Asimismo, se definen los criterios: elaboración, costo, portabilidad y operación.

Se conceptualiza el mecanismo del equipo y se plantea distintas variantes para el equipo. Para la selección de la mejor alternativa, se toma en cuenta los criterios mencionados anteriormente y se contrasta las características de cada concepto relevante; mediante un sistema de puntaje sencillo, el *scoring*.

Para el diseño estructural, se utiliza el método de esfuerzos admisibles y se verifican deflexiones relevantes. El equipo resultante debe poder albergar cualquiera de los especímenes a escala con holgura. También se diseña los accesorios para la operación del equipo. Finalmente, con los cálculos ya realizados y con las dimensiones calculadas, se elabora los planos del equipo.

Otro punto que se toma en mente es la instrumentación del equipo. Se busca un dispositivo que pueda medir el ángulo de inclinación del tablero de la manera más simple posible. Asimismo, se tiene presente que tanto el equipo como el instrumento deben estar nivelados para evitar lecturas equivocadas del instrumento.

A continuación, se elabora el presupuesto del equipo y sus accesorios. En este se considera dos factores básicos: materiales y mano de obra. Para el metrado de materiales, se usa las unidades de metrado propias del mercado limeño. Para la mano de obra, se solicita una cotización a un carpintero en base a los planos y la cantidad de piezas de madera a elaborar. Por añadidura, el costo de las herramientas se incluye con el pago de la mano de obra.

Para finalizar, se realiza la construcción del equipo. Con los planos y el material a disposición, se procede a preparar las distintas piezas diseñadas. Una vez listas las piezas del equipo, se procede a transportarlo al lugar de ensayo. Una vez ensamblado el equipo, se ensambla el dispositivo de medición a la vez que se calibra todo el equipo. Para tal cometido, se verifica que el dispositivo de medición marque la horizontal.

Diseño, construcción y ensayo de tres especímenes a escala reducida de pircas

Para comenzar con esta fase, se requiere determinar el espécimen ya caracterizados previamente. A continuación, se procede a realizar el análisis dimensional para un espécimen genérico de pirca a escala. Se aplica el teorema Π (π) de Vaschy-Buckingham y el teorema de la semejanza. De este proceso, se obtienen factores de escala para las distintas dimensiones relevantes.

Con los factores de escala definitivos para las distintas magnitudes a evaluar se procede a escalar las dimensiones de los especímenes; y se obtienen las medidas del espécimen genérico en la escala deseada. Con las medidas y con el material habilitado (piedras), se procede a construir las pircas encima del

tablero. Una vez listo el espécimen, se le instala los topes al tablero para evitar un probable desliz de este en el tablero.

Por último, se realizan al menos tres ensayos por cada tipo de espécimen, para obtener un promedio de mediciones confiable. Para cada espécimen se registrará sus ángulos de inclinación en el cual falle. Asimismo, conforme los especímenes se van deformando, se registran datos adicionales. Estos están vinculados a las configuraciones de la deformada de la sección transversal de cada tipo de espécimen.

Cálculo de la carga máxima resistente de los especímenes

Mediante el equilibrio de las fuerzas actuantes (ver figura 4), donde el peso del espécimen es W , se puede calcular la fuerza perpendicular al plano de cada espécimen a escala reducida. A cada carga se le aplica el factor de escala, de modo que se obtiene la fuerza lateral máxima aproximada que se aplicaría al espécimen en escala natural. Adicionalmente, se verifica la existencia de desplazamientos relativos entre las piezas que componen el espécimen en escala reducida.

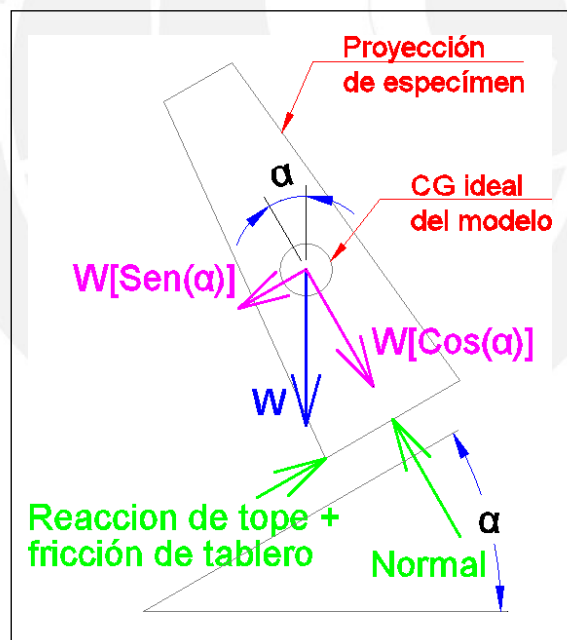


Figura 4. Diagrama de cuerpo libre de un espécimen genérico

2. CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE

2.1 Muros de contención y sus fallas afines

Las pircas son muros de gravedad de mampostería que se utilizan como muros de contención en las habilitaciones urbanas informales en las laderas de Lima. Para el diseño de este tipo de muro de contención se tiene que tener en cuenta cuatro aspectos importantes. Primero es conocer las propiedades mecánicas del suelo de apoyo. Luego sigue estimar el peso del muro en base a los materiales usados y su ordenamiento al construirse. A continuación, se debe estimar las dimensiones del muro (altura, longitud y espesor). Por último, se debe identificar las cargas más representativas que puedan ser aplicadas al muro.

Acerca del suelo en plataformas (terraplenes), este puede fallar de distintas formas ante sobrecargas laterales. Una forma de falla muy común implica que el suelo (arcilloso) falle en arco (Bishop, 1955), volcándolo y deslizando su base (British Geological Survey, 2013), lo cual desestabilizaría los terraplenes contenidos por las pircas.

Sin embargo, las pircas en la ciudad de Lima suelen apoyarse directamente sobre la roca cortada o en su defecto, sobre un solado improvisado. Además, el relleno del terraplén suele estar compuesto por restos de roca no usados, desmonte o material granular irregular; por lo que la teoría de Bishop (1955) para predecir fallas en estos terraplenes brinda un pronóstico incierto. Por lo tanto, existe incertidumbre acerca del desempeño real que tendrán los cimientos en los que se apoyan las pircas.

Las fallas *per se* que se presentan en este tipo de muros son de dos tipos primordialmente: *toppling* (volteo) y *sliding* (deslizamiento). Las pircas son estructuras plásticas, ya que al armarse con piedras de forma irregular, estas pueden llevar a cabo desplazamientos locales entre piezas ante cargas perpendiculares a su plano (ver figura 5). Experimentalmente, la gran mayoría de ensayos a escala real muestran una predominancia de la falla tipo *toppling* (Vincens, E., Plassiard, J.-P., & Fry, J. J, 2016).



Figura 5. Muros de piedra de junta seca que han fallado por *toppling* (McCombie, P. F., Mundell, C., Heath, A., & Walker, P., 2012)

2.2 Modelos de equipos para ensayos estáticos

En los ensayos estáticos se aplican fuerzas controladas durante periodos “largos”, para evitar esfuerzos dinámicos que puedan alterar los resultados deseados. También se tiene en cuenta que, para las pircas, estos ensayos son destructivos dado su comportamiento plástico ante las diversas sollicitaciones importantes. Por último, los especímenes a ensayar pueden ser de escala natural o de escala reducida; siendo contraproducente ensayar especímenes a escala agrandada dado el alto costo que supone.

Una forma de ensayo consiste en construir un muro con piedras con armado semirregular (tratando de mantener hileras superpuestas) a escala natural, dentro de un marco en forma de caja compuesto de pórticos de acero. En esta caja se instalan los instrumentos de medición relevantes, de modo que se pueda registrar las deformaciones de un perfil determinado (cara de muro) causados por las crecientes cargas. Las cargas son aplicadas por un relleno de material granular y por celdas porosas pegadas a la cara opuesta a la cara libre del muro (Mundell, C., McCombie, P., Heath, A., & Harkness, J., 2008). Al final, se realiza un análisis y empleando los métodos simples de equilibrio; obteniéndose como resultado que los comportamientos ante cargas estáticas son bien predecibles, a diferencia de los que enfrentan cargas dinámicas (McCombie et al., 2012).

Una forma similar consiste en hacer el muro con piedras de similar tamaño a escala natural, de armado semi-regular, al lado de un muro rígido de seguridad (ver figura 6). Asimismo, dispone de dispositivos hidráulicos en la cara que da al muro de seguridad, los cuales aplican sólo fuerzas hidrostáticas distribuidas a lo ancho del muro (Villemus, B., Morel, J. C., & Boutin, C., 2007). El análisis posterior consistirá en comparar los resultados de las deformaciones obtenidas en el ensayo y los de modelos matemáticos teóricos; verificando el rango de error del desempeño que un muro real pueda presentar respecto a valores ideales fácilmente calculables.



Figura 6. Ensayo de un muro de piedra de junta seca mediante fuerzas hidrostáticas (Villemus et al., 2007)

Por otro lado, se tienen ensayos que vienen a usar tanto especímenes reales a escala natural como especímenes generados por computadora, para su posterior comparación de resultados. Conviene destacar un ensayo en el que se experimenta primero de manera similar a la forma mencionada anteriormente; y luego se compara con un modelo virtual, el cual emplea el método de elementos discretos (Vincens et al., 2016).

Asimismo, se puede hacer un ensayo en el cual el modelo a escala reducida y el relleno se encuentran confinados en una caja; la cual puede girar en un eje, dando lugar a una fuerza de empuje centrípeta (ver figura 7). Queda recalcar que esta última forma de ensayo es dinámica. Aun así, fuera de comparar especímenes reales con virtuales, la meta de este ensayo es demostrar que la forma de las piezas que componen las hileras del muro influye en la deformada final (Fukumoto, Y., Yoshida, J., Sakaguchi, H., & Murakami, A., 2014). Para cerrar con los ensayos dinámicos, también es posible emplear una prensa hidráulica, la cual impone una fuerza armónica a una plataforma pequeña (T.T. Bui, A. Limam, V. Sarhosis, M. Hjiij, 2017). Todo esto con el fin de simular fuerzas sísmicas laterales perpendiculares al plano de los muros (ver figura 8).



Figura 7. Máquina centrifugadora de ensayos (Fukumoto et al., 2014)

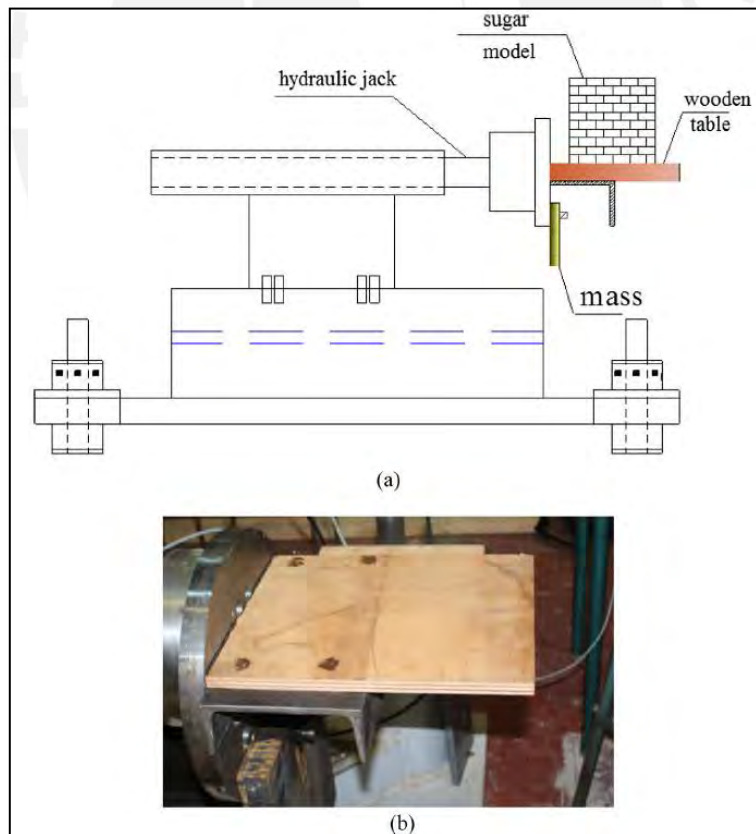


Figura 8. Máquina con prensa hidráulica que ejerce fuerza armónica lateral (T.T. Bui et al., 2017)

Por último, una forma de ensayo estático más sencilla de realizar es la de inclinar el modelo a escala natural en un tablero pivotado y girado por gatas hidráulicas muy potentes. El objetivo será medir la fuerza máxima y los desplazamientos correspondientes, a través de la medición del ángulo de inclinación (Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C., 2011). Una variante de este ensayo, que tiene como meta ensayar especímenes a escala reducida, emplea un dispositivo semejante (ver figura 9). Este se compone del tablero para apoyar el modelo; de marcos de acero y una parrilla superior, de la cual se puede colgar lastres para simular sobrecargas; y de gatas hidráulicas para ejercer el giro (Restrepo, V. L. F., Magenes, G., Centre for Post-Graduate Training and Research in Earthquake Engineering and Engineering Seismology., & Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia., 2009).

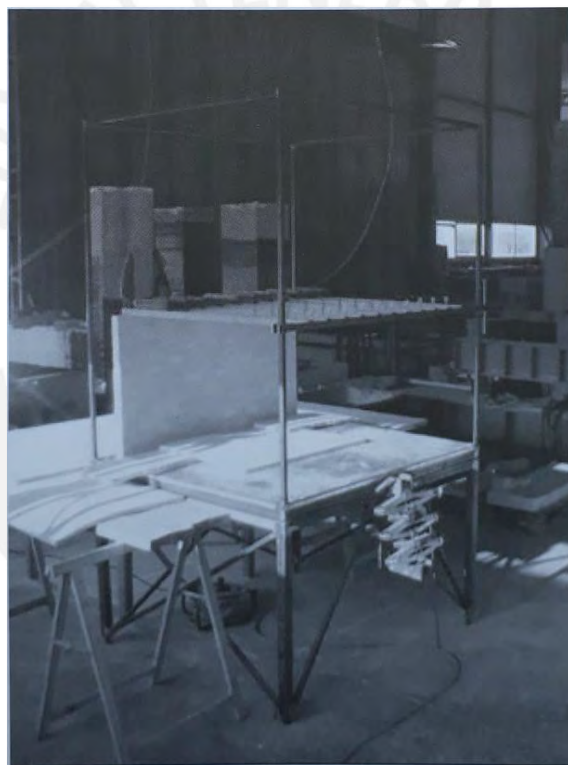


Figura 9. Máquina con plano inclinado (Restrepo et al., 2009)

2.3 Análisis dimensional y modelación a escala reducida

El análisis dimensional y la teoría de semejanzas han venido siendo usado por varias disciplinas científicas. Esto se da para la resolución de problemas especiales que requieren experimentación en modelos previo al diseño de prototipos. (Chereque, 1987). Caber indicar que existe una clara diferencia entre prototipo y modelo. Se denomina prototipo a la estructura, máquina o infraestructura en condiciones reales, listo para comenzar operaciones (especímen a escala natural). El modelo viene a ser

un prototipo escalado, ideal para los ensayos de laboratorio (espécimen a escala reducida/aumentada). Con estas teorías es posible modelar prototipos; para su posterior ensayo y análisis. Por lo general, se busca ensayar modelos a escala reducida, ya que ensayar prototipos a escala natural de gran envergadura resulta muy costoso.

El análisis dimensional permite expresar una basta lista de magnitudes físicas en función de tres dimensiones fundamentales. Estas se representan de dos modos: fuerza, longitud y tiempo (F, L, T); o masa, longitud y tiempo (M, L, T). A continuación, se presenta una lista de magnitudes físicas y sus respectivas unidades en los dos modos de representación.

Tabla 1. Lista de magnitudes físicas (Chereque, 1993)

Unidades de diferentes magnitudes en términos de las fundamentales		
Magnitud	Unidades	
	(FLT)	(MLT)
área	L^2	L^2
volumen	L^3	L^3
velocidad	LT^{-1}	LT^{-1}
aceleración	LT^{-2}	LT^{-2}
velocidad angular (rad/sg)	T^{-1}	T^{-1}
fuerza	F	MLT^{-2}
masa	FT^2L^{-1}	M
peso específico	FL^{-3}	$ML^{-2}T^{-2}$
densidad	$FL^{-4}T^{-2}$	ML^{-3}
presión	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
viscosidad	FTL^{-2}	$ML^{-1}T^{-1}$
viscosidad cinemática	L^2T^{-1}	L^2T^{-1}
potencia	FLT^{-1}	ML^2T^{-3}
par	FL	ML^2T^{-2}
caudal	L^3T^{-1}	L^3T^{-1}
esfuerzo de corte	FL^{-2}	$ML^{-1}T^{-2}$
tensión superficial	FL^{-1}	MT^{-2}
peso	F	MLT^{-2}

Cuando se requiere representar un fenómeno, sea algún esfuerzo o fuerza en un prototipo, se suele desconocer las magnitudes relevantes involucradas. Si el fenómeno “X” tiene hasta tres magnitudes físicas “q”, se puede proceder a realizar el siguiente análisis usando:

$$X = f(q_1, q_2, q_3) ; \text{ donde X se reemplaza por su forma dimensional FLT o MLT}$$

Asimismo, los “ q_n ” también juntarán sus funciones con el complemento de un factor adimensional “ K ”. Se presenta la expresión derivada del vector “ F ”:

$$f(q_1, q_2, q_3) = K * q_1^a * q_2^b * q_3^c ; a, b, c \text{ son exponentes propios cada } q_n$$

$$K * q_1^a * q_2^b * q_3^c = (F \text{ ó } M)^{f(a, b, c)} * L^{f(a, b, c)} * T^{f(a, b, c)}$$

Finalmente se igualan la expresión del fenómeno y la del vector “ F ”, con lo que se hallan los exponentes a , b y c . El factor “ K ” se halla posteriormente mediante experimentación (Chereque, 1987).

Con el teorema π de Buckingham se puede representar fenómenos de cuatro o más magnitudes teniendo como resultado una expresión base con las magnitudes adecuadas. De un fenómeno físico “ f ” en el que intervienen “ n ” magnitudes físicas “ q ”, se escogen tres como básicas. Cada una de estas debe contener necesariamente una dimensión fundamental diferente a las demás. Puede expresarse el fenómeno como:

$$- f(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0$$

Esta expresión puede reemplazarse por el vector \emptyset :

$$- \emptyset(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{n-3}) = 0$$

Cada π es un grupo adimensional que sólo depende de cuatro magnitudes físicas “ q ”. Para este propósito, se escogen tres de estas magnitudes como básicas. De estas tres se deberá tener en cuenta las siguientes indicaciones (Chereque, 1987):

- No deben ser adimensionales.
- Dos de ellas no deben tener las mismas dimensiones.
- En las dimensiones de estas tres magnitudes básicas deben estar comprendidas las tres magnitudes fundamentales (FLT o MLT).

El número de grupos (o funciones) π viene a ser la diferencia entre el número de magnitudes “ q ” y el número de magnitudes fundamentales (usualmente son las tres) relevantes al fenómeno.

Para cada función “ π_n ” se realizará un análisis dimensional similar al explicado anteriormente. Finalmente, cada valor hallado se ingresará en el vector \emptyset , de π valores. Asimismo, Chereque (1987) propone algunas reglas útiles del teorema:

- Si una de las magnitudes q es adimensional, constituye un número π sin tener que seguir el camino ordinario.
- Si dos de las magnitudes q tienen iguales dimensiones su cociente es un número π .
- Cualquier número π puede ser sustituido por una potencia del mismo, incluyendo -1.
- Cualquier número π puede sustituirse por su producto por una constante numérica.
- Cualquier π puede expresarse como función de otros π .

Cuando se habla de semejanza entre modelo y prototipo, se tienen tres tipos: semejanza geométrica, semejanza cinemática y semejanza hidráulica. En la geométrica, las relaciones entre las dimensiones homólogas son iguales. En la cinemática, las trayectorias de partículas homólogas son geoméricamente semejantes y las relaciones entre las velocidades de partículas homólogas son iguales. En la dinámica, se tendrá semejanza geométrica y cinemática al mismo tiempo; y las relaciones entre las fuerzas homólogas son iguales (Chereque, 1987).

Por último, queda explicar el factor de escala de un parámetro. Este se define como la razón del valor del parámetro en el prototipo dividido entre el valor de dicho parámetro en el modelo. También se puede definir escalas para los parámetros adimensionales de modo experimental, obteniéndose cocientes de corrección (García-Naranjo, 2015).

3. CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE PIRCAS USADAS EN LA CIUDAD DE LIMA

Las pircas en la ciudad de Lima se vienen construyendo de diversas formas, y con variedad de características. Sin embargo, se pueden encontrar ciertos aspectos en común, tales como: bloques irregulares, carencia de drenajes, uso de material propio de la zona, escaso o nulo asesoramiento técnico en la construcción. Estudios realizados en diversas zonas de la capital avalan esta afirmación.

Los estudios del proyecto financiado por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC), emplearon un censo y visitas a campo. El sitio de la muestra tiene lugar en la quebrada El progreso, distrito de Carabayllo; del cual se obtuvo la caracterización de pircas usadas como muros de contención (Santa Cruz S., Valderrama N., Daudon D., 2018).

Asimismo, se pudo obtener el procedimiento constructivo empleado. El material se obtiene de la misma zona de construcción. Este se extrae de la ladera utilizando puntales de maderas, picos o barretas y, en caso de hallar piedras muy voluminosas, se queman y se parten con combas hasta conseguir bloques más pequeños y manejables. De tenerse mayor proporción de material fino respecto a la roca, la excavación se encarece ya que se deberá conseguir bloques de roca de otro lado. Luego, las rocas se limpian para eliminar las partículas de su superficie. Los bloques de mayor tamaño serán utilizados para la pirca mientras que el material sobrante será utilizado como relleno. Luego de la extracción, se habilita el terreno a construir. Primero se traza el perímetro con cal y cordel guía. A continuación, se eliminan las piedras superficiales. Luego de habilitado el terreno, se procede con la cimentación. Para esta fase, se excava una zanja hasta encontrar suelo rígido o roca sana. En el caso de no encontrar el suelo rígido, se compacta el suelo con apisonador o piedras de gran tamaño. La zanja suele tener las siguientes dimensiones: 1 metro de ancho (mínimo) y de 0.30 a 0.50 metros de profundidad. Después, se coloca en la zanja las piedras de mayor tamaño. Culminada la fase de cimentación, se procede con la construcción de la pirca. El cuerpo de la pirca se compone de dos capas: la cara que da al exterior, por las piedras más grandes y con cara plana; y la cara que da al terreno, se colocan las demás piedras. En cada hilera, se procura colocar cada roca sobre la junta de la hilera inferior para producir el efecto de trabazón. Conforme se van armando las hileras, se van colocando de más grandes a más pequeñas. Para dar un mayor soporte a la carga lateral, se suele dar una pendiente a la estructura, la cual oscila en la proporción de 0.15:1 (H:V). En la construcción de las pircas no se suele colocar algún tipo de drenaje. El relleno suele estar compuesto tanto por material sobrante de la excavación, como por material de desecho (envoltorios, desmonte, etc.). Algunos maestros piquereros lo compactan de manera no controlada cada 0.50 metros de capa (Santa Cruz S., Valderrama N., Daudon D., 2018).

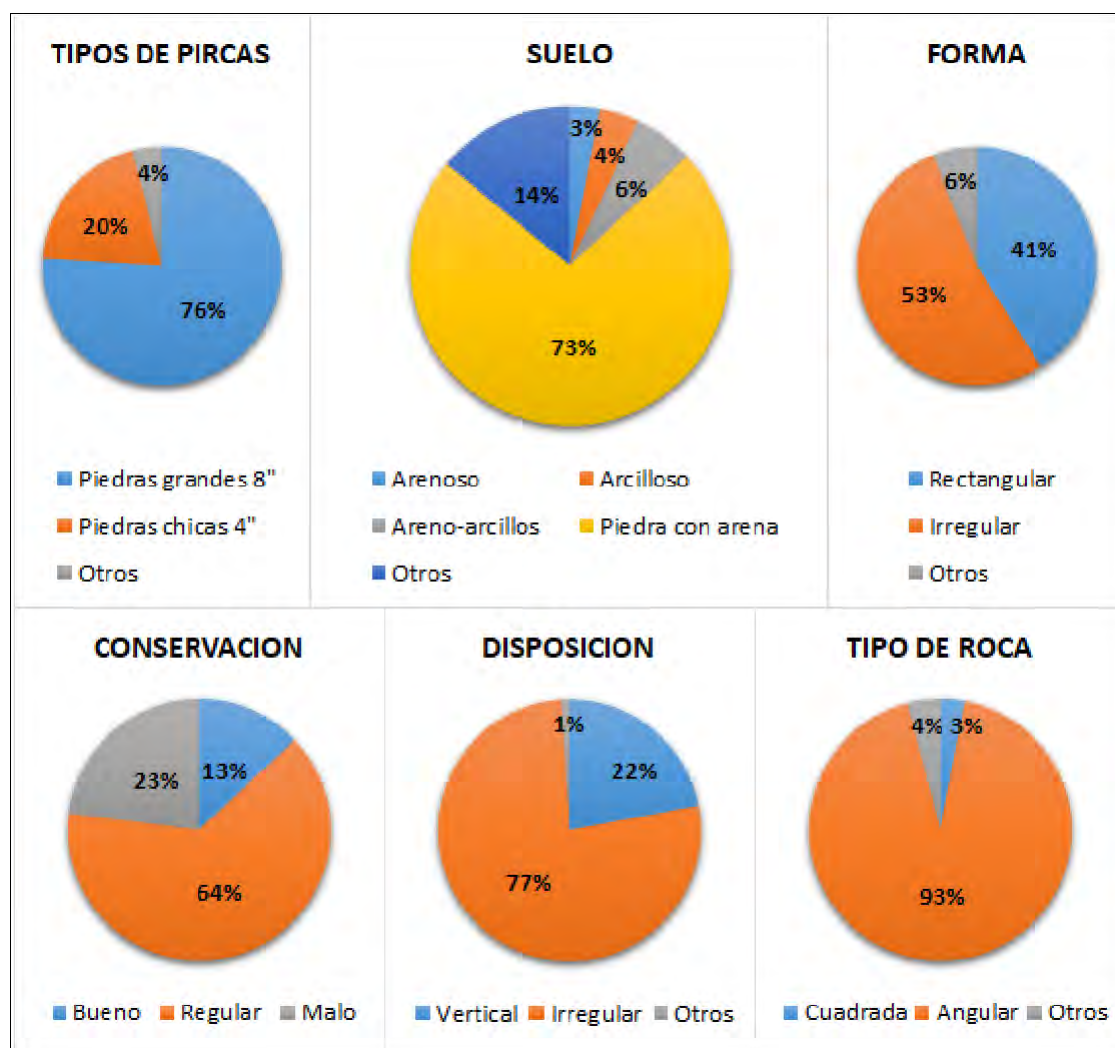


Figura 10. Gráficos resumen de características de pircas [gráfico adaptado] (Santa Cruz S., Valderrama N., Daudon D., 2018)

Las pircas de esta zona tienen formas y configuraciones muy variadas. Predomina la configuración con rocas de gran tamaño (8"), provenientes del mismo terreno o en alguna zona vacía cercana a este. Del tipo de suelo en que se apoyan estos muros, mayoritariamente se tiene un suelo compuesto de piedra y arena, propios de la intemperización de la roca madre que forma la ladera. Acerca de la forma de las pircas, estas suelen ser tanto irregulares como rectangulares; siendo el relieve de la ladera y la pendiente de esta los factores que dictan la forma definitiva. El armado de las rocas es usualmente irregular, con predilección por las rocas angulares (ver figura 10).

Del total de pircas dimensionadas en el censo (cobertura del 70% del total de la zona de estudio), se planteó tres formas idealizadas de pircas, tomándose en cuenta los ajustes estadísticos necesarios para la altura, longitud, y ancho promedio. La sección transversal del eje longitudinal de la pirca idealizada

se plantea como un trapecio isósceles (ver figura 11), y la longitud de las pircas 1, 2 y 3 son: 4 metros, 6 metros y 8 metros; respectivamente.

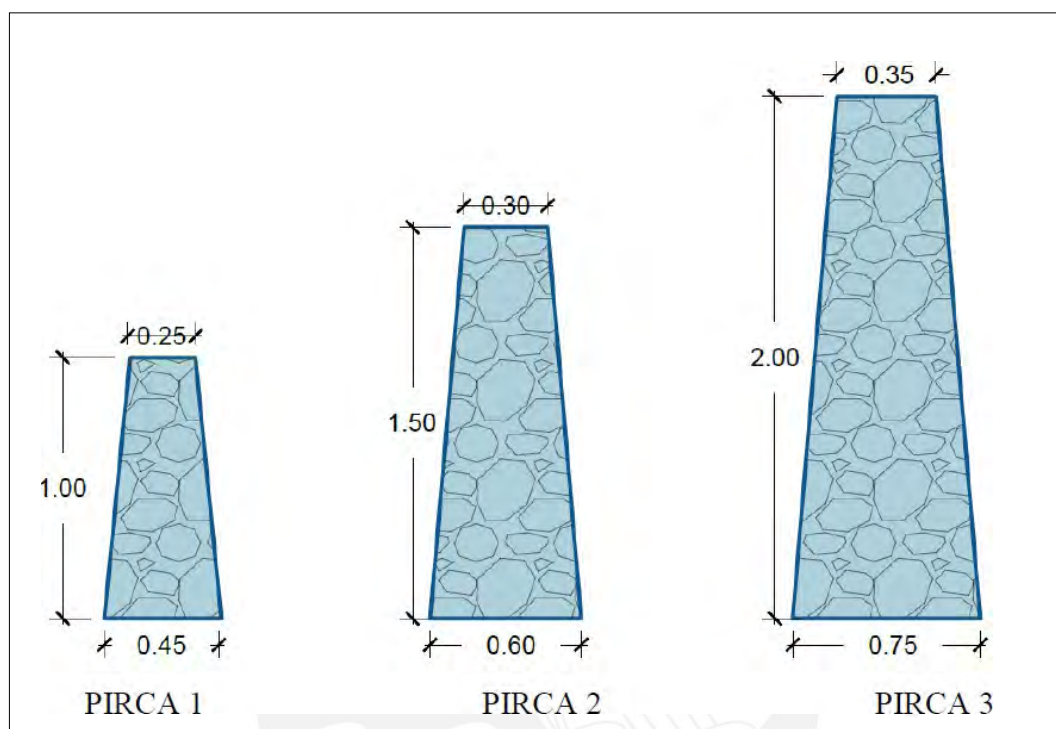


Figura 11. Caracterización de pircas – Vista de perfil (Santa Cruz S., Valderrama N., Daudon D., 2018)

Por último, mediante ensayos e inspección, se determinó que casi toda la totalidad de rocas empleadas en la elaboración de pircas eran rocas ígneas (andesita). Estas rocas presentan una densidad aproximada de 2.8 gr/cm^3 y una resistencia a la compresión promedio de 2600 kg/cm^2 (Santa Cruz S., Valderrama N., Daudon D., 2018).

Por otra parte, se ha realizado visitas de campo en otros lugares donde se construyen pircas como elementos de contención de terraplenes; a modo de contrastar los resultados del estudio presentado anteriormente. Los lugares visitados fueron: una urbanización en el distrito de Carabayllo, una urbanización en el distrito de Villa María del Triunfo y un colegio en el distrito de Ancón.



Figura 12. Vista panorámica de un vecindario en el distrito de Carabaylo



Figura 13. Vista panorámica de un vecindario en el distrito de Villa María del Triunfo



Figura 14. Vista de una pirca en un colegio del distrito de Ancón

Como se aprecia en las figuras 12, 13 y 14; el patrón es bien similar respecto al estudio presentado anteriormente. Si bien existe el uso de pircas es bien extendido, sobre todo en los conos norte y sur, las configuraciones y tipos de rocas pueden variar dependiendo el sitio específico en el que se cimentan. Adicionalmente, tomando en cuenta la carta geológica de la provincia de Lima (ver imagen 15), los

depósitos de rocas varían entre sedimentos y detritos del cuaternario, hasta roca plutónica del cretáceo (INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO, 2018).

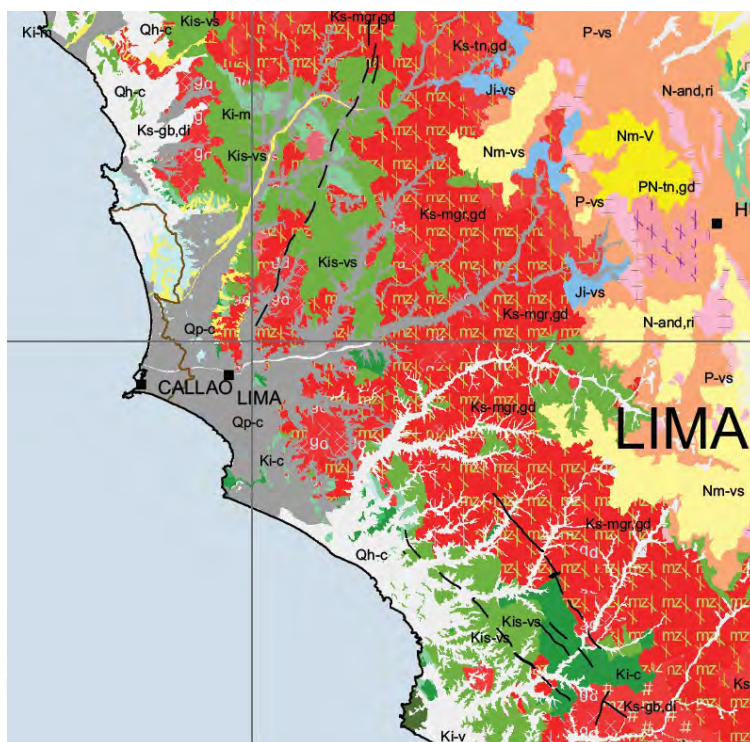


Figura 15. Mapa de los yacimientos líticos en la ciudad de Lima (INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO, 2018)

Por lo tanto, al momento de escoger un tipo de roca representativa como prototipo para ensayar a escala reducida, se podrá emplear cualquier roca que sea proveniente de una de las laderas de la ciudad; siendo este modelo resultante representativo sólo para las zonas afines al tipo de roca existente. Queda entonces establecida la necesidad de realizar ensayos con todos los tipos de roca existentes. Sin embargo, esta meta ideal escapa del alcance del proyecto. Por lo tanto, es necesario escoger en lo posible un sólo tipo de roca por configuración, las que más convengan para el proyecto. En cuanto a la forma de las rocas, el uso de rocas angulares es el más idóneo de emplear.

De igual modo se podría decir lo mismo de la caracterización de la pirca prototipo. Existe bastante variabilidad para la forma final de estas, por lo que se decide tomar la forma trapezoidal de la PIRCA 2 (ver figura 11) con sus dimensiones respectivas como espécimen base. Con esta pirca tipo, se dará continuación a la elaboración de los especímenes a escala reducida. Con respecto al armado de las piezas, al ser de interés la comparación de una configuración con otra; se propone el armado regular, con uso de piezas prismáticas; y el irregular, de piezas irregulares.

4. CAPÍTULO IV: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE EQUIPO

4.1 Criterios de diseño

El fin primario de la máquina es el de inclinar un espécimen (construido sobre el equipo) para que su propio peso haga una carga lateral perpendicular a su plano. El ensayo buscará obtener la fuerza máxima en el cual el modelo falla y las deformaciones que va adquiriendo mediante la progresiva inclinación inducida por el equipo. Para el cálculo de fuerza en el espécimen bastará tomar la componente del peso del modelo en función al ángulo de falla (α). Según el esquema mostrado en la figura 4, la fuerza de empuje perpendicular al plano del espécimen (F) se calcula como $F=W[\text{Sen}(\alpha)]$, siendo W el peso del modelo. Asimismo, el espécimen efectúa fuerzas en el tablero, en adición a las fuerzas de izaje (ver figura 16).

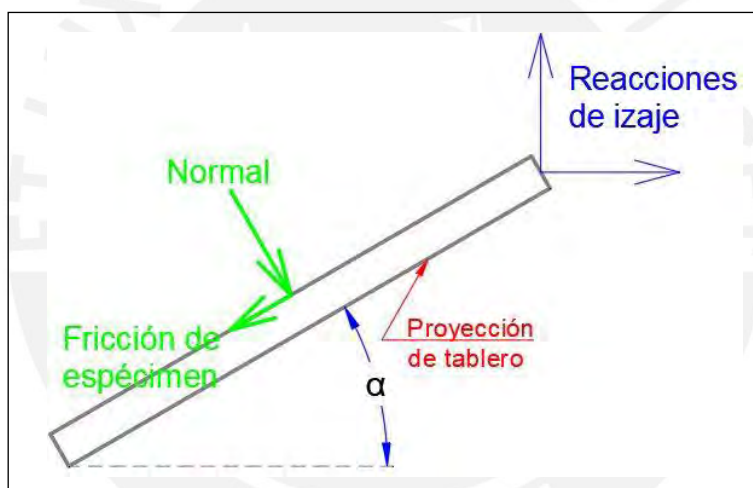


Figura 16. Diagrama de cuerpo libre del tablero

Como se justificó en el primer capítulo, se busca obtener un equipo que permita un ensayo estático sencillo. Se requiere que el mecanismo del equipo sea de fácil construcción, de modo que la mano de obra sea accesible y que los materiales sean sencillos de adquirir en el medio local. También se busca tener el menor peso en sus piezas ligado al hecho de que se buscará hacer una máquina desmontable, fácil y segura de acarrear. Esto con el fin de que pueda ser ensamblada en cualquier parte de la ciudad, siempre que se le brinde un lugar propicio. Finalmente, se requiere que el costo total no sea muy elevado.

En resumen, se definen cuatro criterios base para la elección del equipo. En primer lugar, se tiene la elaboración, la cual está relacionada con el mecanismo y la disposición de mano de obra y herramientas. En segundo lugar, se tiene el costo, el cual está relacionado al presupuesto del equipo y al tiempo que tomaría su construcción. En tercer lugar, se tiene la portabilidad, la cual está relacionada al volumen,

forma y peso de las diferentes piezas que compongan el equipo. Por último, se tiene la operación, la cual se relaciona con la manipulación del equipo y con el hecho de qué tan lento puede inducir la inclinación sin incurrir a fuerzas de inercia (dinámicas).

4.2 Conceptualización y selección de alternativa

A continuación, se conceptualiza el mecanismo del equipo, el cual requiere necesariamente un tablero plano que pueda ser inclinado. Esto abre diversas posibilidades, las cuales tienen el objetivo en común de poder inclinar el tablero con el menor esfuerzo y velocidad posible. Para la selección de la mejor alternativa, se toma en cuenta los criterios mencionados anteriormente y se contrasta las características de cada alternativa.

Se proponen tres alternativas que cumplen en mayor medida los criterios necesarios. El primero es un tablero pivotado en el extremo de un lado, apoyado sobre una zapata en el punto de rotación, e izado por el borde extremo opuesto del tablero (ver figura 17). El segundo es un tablero sobre semi-discos con palancas anexas al tablero de las cuales se hace el izaje (ver figura 18). El tercero es un tablero pivotado al centro, apoyado en un marco con forma una mesa (ver figura 19). Cabe decir que las tres alternativas contemplan el uso de piezas de madera en la mayor medida posible, debido al bajo peso, facilidad en su dimensionamiento y disponibilidad de herramientas para trabajarla. Sin embargo, el equipo auxiliar para izaje, junto con sus accesorios y estructuras de soporte, influye en el costo, el inventario de materiales.

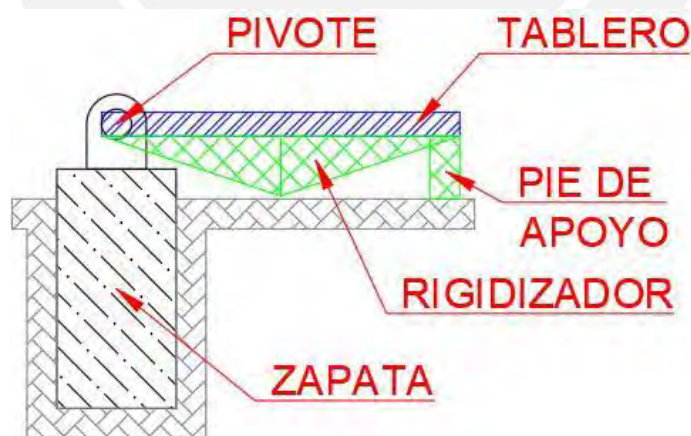


Figura 17. Esquema de equipo con tablero inclinable - Alternativa 1



Figura 18. Esquema de equipo con tablero inclinable - Alternativa 2

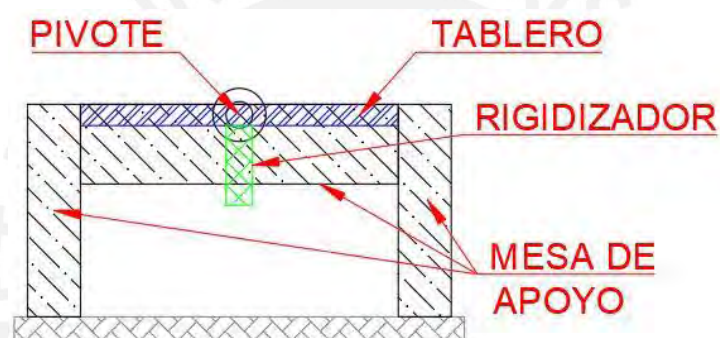


Figura 19. Esquema de equipo con tablero inclinable - Alternativa 3

Con la Tabla 1 se realiza la elección de alternativa con el método de *scoring*, donde se puntúa del 1 al 5 (el 5 es el valor más alto). La alternativa más favorable es la segunda (tablero sobre semi-discos y con palancas), siendo la seleccionada para proceder a dimensionar y diseñar sus elementos.

Tabla 2. Puntuación de alternativas de equipo

Nº Alternativa	Elaboración	Costo	Portabilidad	Operación	Puntuación total	
1	Tablero con pivote en borde y zapata	3	4	1	5	13
2	Tablero sobre semi-discos y con palancas	4	5	5	4	18
3	Tablero con pivote central sobre mesa	3	4	4	5	16

4.3 Diseño y elaboración de planos

Los especímenes que podrán ser ensayados en el equipo serán muros a escala de reducción 1:3, 1:4 y 1:5. Mayores escalas darán a lugar especímenes muy pequeños y complejos de construir, además de llevar un costo extra por el tallado o fábrica de los componentes del muro. Por otro lado, las escalas menores darán a lugar especímenes de tamaño similar a los de escala natural, y dependiendo de su tamaño exigirán mayor esfuerzo para el izaje. Para poder dar unas dimensiones iniciales al tablero, se toma las dimensiones del espécimen de pirca escogido en el capítulo anterior. Tomando la escala 1:4 (factor de escala $e=3$), se obtienen las siguientes dimensiones: Largo de 150 cm, base inferior de 15 cm, base superior de 7.5 cm y altura de 37.5 cm (ver figura 20).

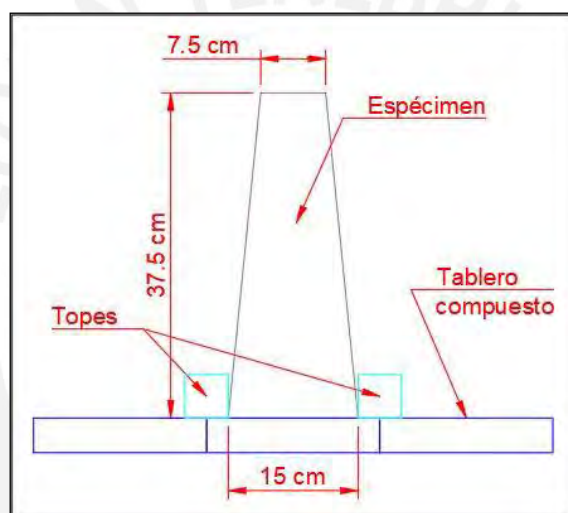


Figura 20. Esquema de perfil del espécimen reducido a escala 1:4

Con estas dimensiones, y tomando en cuenta que las piezas del equipo deben poder ser transportadas en una camioneta o *station wagon*, se realizó un predimensionamiento de las piezas (ver anexo A –planos E-01 y E-02). El equipo principal incluye: el tablero inclinable, los topos para evitar el deslizamiento del espécimen, los semi-discos de rodamiento, los brazos de palanca, las patas de apoyo para el estado de reposo, y la viga de izaje que conecta los brazos de palanca. Para los últimos tres componentes mencionados se determinó que sean hechos de tubo metálico (acero laminado al caliente) Se escoge este material en los brazos de palanca, ya que este ocupa menos espacio por la misma resistencia que pueda ofrecer un perfil de madera. En el caso de las patas de apoyo y la viga de izaje, se empleará el resto del tubo (el proveedor comercializa este tipo de perfiles en elementos de 6 metros) por motivos de simplicidad en su unión con los brazos (soldadura por arco eléctrico simple). El equipo auxiliar sirve para izar los brazos de palanca con la menor velocidad y esfuerzo posibles. Para el concepto de este dispositivo de izaje se propuso usar un marco de madera con un polipasto, a modo de una pequeña grúa

pórtico. Asimismo, para la maniobra del izaje se consideró el uso de una manivela (compuesta por rodajes de chumaceras y una barra lisa) adosada a la columna opuesta a la máquina de ensayos (equipo principal). Se muestra en la figura 21 un esquema isométrico de los dos equipos ya ensamblados, las uniones y la manivela no se muestran (para verlas, revisar anexo A).

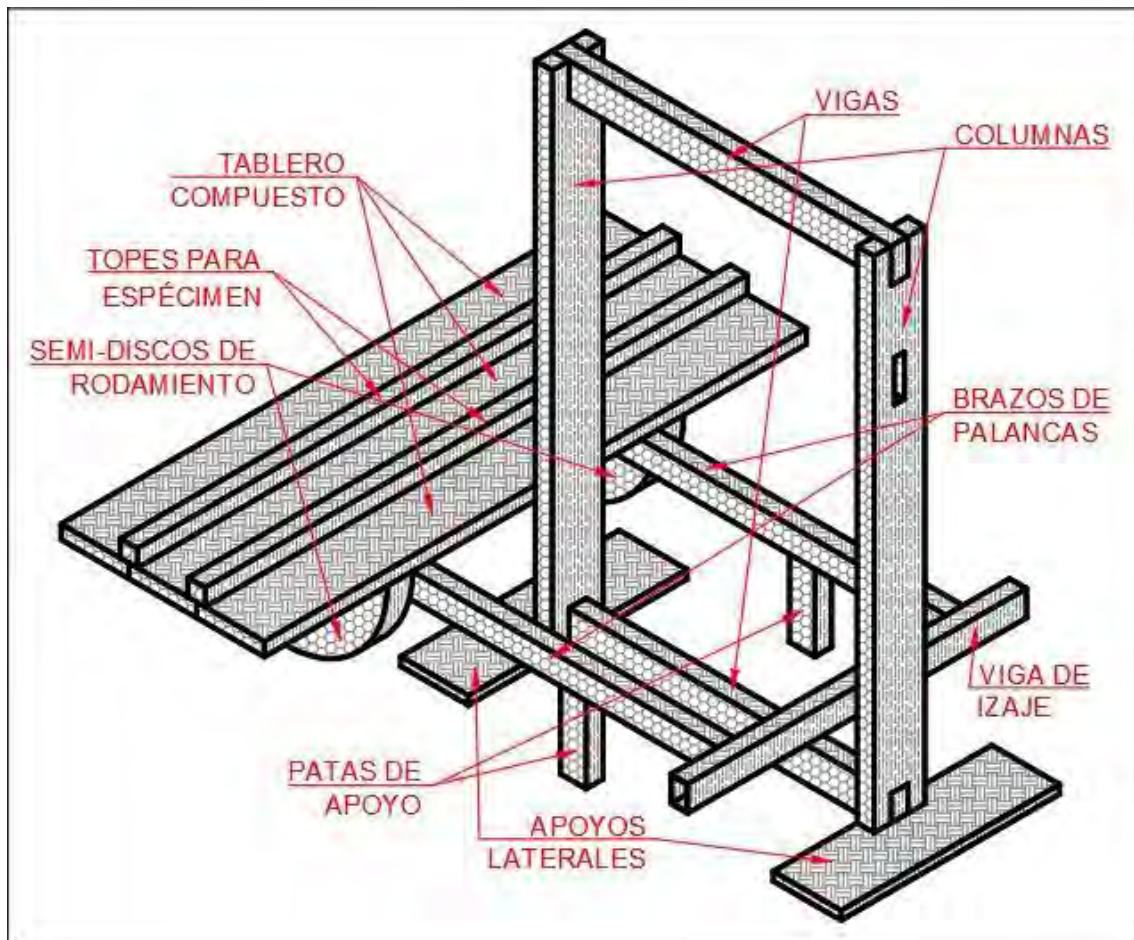


Figura 21. Esquema isométrico del mecanismo del equipo completo (principal + auxiliar)

Para analizar el equilibrio del mecanismo, se requerirá fijar un punto de origen en un plano, de modo que sea más fácil calcular el equilibrio. Se coloca el punto de origen en el eje del semi-disco (cuando inclinación de tablero es 0°), de modo del eje de las abscisas positivo será a la derecha; y el de las ordenadas, hacia arriba. En la figura 22 se muestra el sistema XZ, con el que trabajará el equilibrio del mecanismo. Cabe decir que a partir de ahora, se analizará el equilibrio con un espécimen idealizado, con las dimensiones y geometría mencionadas anteriormente, asumiéndolo como sólido rígido lleno y tomando una densidad de 2.8 gr/cm^3 . Asimismo se pone presente que se le dará al mecanismo una inclinación o giro (α) límite de 45° .

El giro (α°) del tablero inclinable será posible siempre que la máquina tenga una rotación relativa inminente en sentido horario, es decir, cuando el momento de volteo del mecanismo respecto al punto de pivote (ver figura 22) hace que este regrese a inclinación de 0° y no gire en sentido antihorario. Este momento horario será finalmente equilibrado por la tensión de la cuerda del polipasto. En el caso desfavorable de que el momento se dirija contrariamente a lo especificado, la cuerda que une la grúa con la viga de izaje no trabajará, desequilibrando el sistema.

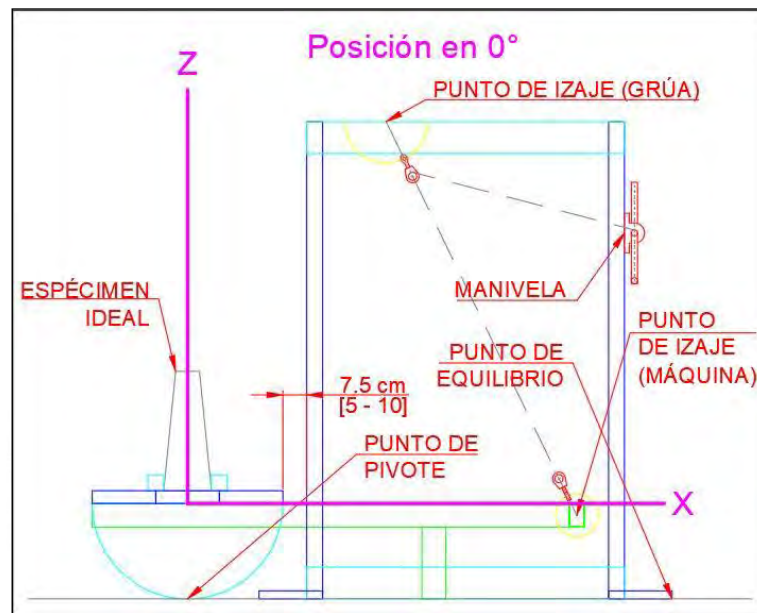


Figura 22. Vista frontal del mecanismo (máquina, espécimen y grúa pórtico) en reposo

Se presentan las tablas 3 y 4, en las que se tabulan las dimensiones del equipo principal y del espécimen ideal, así como el metrado de los pesos de cada componente, respectivamente.

Tabla 3. Dimensiones de máquina y espécimen ideal

Máquina y espécimen	Largo	Ancho	Alto	Espesor	Radio
Piezas	cm	cm	cm	cm	cm
Semi-disco de rodamiento	--	--	--	7.50	30.00
Tablero compuesto	160.00	20.00	4.00	--	--
Tope de espécimen	160.00	5.00	5.00	--	--
Brazo de palanca	150.00	5.00	7.50	0.30	--
Viga de izaje (P. de izaje)	100.00	5.00	7.50	0.30	--
Pie de apoyo	22.50	5.00	7.50	0.30	--
Espécimen ideal	150.00	11.25	37.50	--	--

Tabla 4. Medrado y cálculo de peso aproximado de máquina y espécimen ideal

Máquina y espécimen	V. unidad	N° piezas	V. total	ρ	P. unidad	P. total
Piezas	cm ³	und	cm ³	gr/cm ³	kgf	kgf
Semi-disco de rodamiento	10602.88	2	21205.75	0.45	4.77	9.54
Tablero compuesto	12800.00	3	38400.00	0.45	5.76	17.28
Tope de espécimen	4000.00	2	8000.00	0.45	1.80	3.60
Brazo de palanca	1071.00	2	2142.00	7.85	8.41	16.81
Viga de izaje (P. de izaje)	714.00	1	714.00	7.85	5.60	5.60
Pie de apoyo	160.65	2	321.30	7.85	1.26	2.52
Espécimen ideal	--	--	63281.25	2.80	--	177.19
TOTAL						232.55

Se presentan las tablas 5 y 6, en las que se tabulan las dimensiones del equipo auxiliar, así como el medrado de los pesos de cada componente, respectivamente.

Tabla 5. Dimensiones de grúa pórtico

Grúa pórtico	Largo	Ancho	Alto
Piezas	cm	cm	cm
Columna	150.00	5.00	15.00
Viga	100.00	5.00	10.00
Apoyo lateral	64.50	20.00	2.50

Tabla 6. Medrado y cálculo de peso aproximado de grúa pórtico

Grúa pórtico	V. unidad	N° piezas	V. total	ρ	P. unidad	N° piezas	P. total
Piezas	cm ³	und	cm ³	gr/cm ³	kgf	und	kgf
Columna	11250.00	2	22500.00	0.45	5.06	2	10.13
Viga	5000.00	2	10000.00	0.45	2.25	2	4.50
Apoyo lateral	3225.00	2	6450.00	0.45	1.45	2	2.90
TOTAL							17.53

El equilibrio se verificará comparando los momentos que se generan en los centroides de las distintas piezas (incluyendo el centroide del espécimen) con el momento que se genera en el izaje; todo conforme se incremente el giro en el mecanismo. Son datos de entrada para el cálculo de equilibrio: el peso de cada componente y las coordenadas [X,Z] de los centroides de cada pieza cuando el mecanismo esté en reposo (ver tablas 7 y 8). Asimismo, se presentan algunas coordenadas fijas extra de interés en la tabla 8, como: el punto de izaje en la grúa pórtico, punto del que el polipasto se cuelga; y el punto de equilibrio en la grúa pórtico, punto de referencia en el extremo del apoyo lateral para calcular posteriormente el factor de seguridad por volteo. Como acotación, se tomará el centroide de la viga de izaje como el punto de izaje en la máquina, punto variable respecto al giro del mecanismo.

Tabla 7. Pesos y coordenadas de centroides de la máquina

Máquina y espécimen	Peso	X	Z
Piezas	Kg	cm	cm
Semi-disco de rodamiento	9.54	0.00	-12.73
Tablero compuesto	17.28	0.00	2.00
Tope de espécimen	3.60	0.00	6.50
Brazo de palanca	16.81	45.00	-3.75
Viga de izaje (P. de izaje)	5.60	122.50	-3.75
Pie de apoyo	2.52	77.50	-18.75
Espécimen ideal	177.19	0.00	20.67

Tabla 8. Pesos y coordenadas de centroides de la grúa pórtico

Grúa pórtico	Peso	X	Z
Piezas	kg	cm	cm
Punto de izaje	--	62.50	120.00
Punto de equilibrio	--	152.50	-30.00
Columna	10.13	87.50	45.00
Viga	4.50	87.50	45.00
Apoyo lateral	2.90	87.50	-28.75

Con los datos de la tabla 7, se calculan las posiciones de cada punto y pieza relevante según el ángulo de inclinación (ver tabla 9). Se toma en cuenta que basta tomar las coordenadas X_i de cada pieza; pero en el punto de izaje, sí se requiere la coordenada Z_i (se calculan con las siguientes fórmulas, donde L_o y Y_o corresponden a las coordenadas del mecanismo en reposo y α al giro del tablero):

$$X_i = X_o \cdot \cos(\alpha) + \text{Radio.semi-disco} \cdot (\alpha) - Y_o \cdot \sin(\alpha)$$

$$Y_i = Y_o \cdot \cos(\alpha) + X_o \cdot \sin(\alpha)$$

Tabla 9. Variación de los centroides de la máquina (equipo principal móvil)

Giro	Xpivote	Xdisco	Xtablero	Xtope	Xbrazo	Xviga	Xpie	Xespecimen	Xizaje	Zizaje
α°	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	45.00	122.50	77.50	0.00	122.50	-3.75
5.0	-2.62	-1.51	-2.79	-3.18	42.54	119.74	76.22	-4.42	119.74	6.94
10.0	-5.24	-3.03	-5.58	-6.36	39.73	116.05	74.34	-8.82	116.05	17.58
15.0	-7.85	-4.56	-8.37	-9.54	36.58	111.44	71.86	-13.20	111.44	28.08
20.0	-10.47	-6.12	-11.16	-12.70	33.10	105.92	68.77	-17.54	105.92	38.37
25.0	-13.09	-7.71	-13.94	-15.84	29.28	99.52	65.07	-21.82	99.52	48.37
30.0	-15.71	-9.34	-16.71	-18.96	25.14	92.26	60.78	-26.04	92.26	58.00
35.0	-18.33	-11.02	-19.47	-22.05	20.69	84.17	55.91	-30.18	84.17	67.19
40.0	-20.94	-12.76	-22.23	-25.12	15.94	75.31	50.48	-34.23	75.31	75.87
45.0	-23.56	-14.56	-24.98	-28.16	10.91	65.71	44.50	-38.18	65.71	83.97

Se presentan las distancias H_i y D_i de izaje para el mecanismo en movimiento (rotación más traslación) en la tabla 10. La distancia H_i corresponde a la distancia vertical entre el punto de izaje de la máquina y el suelo. La distancia D_i viene a ser la distancia horizontal entre el punto de izaje de la máquina y el punto del pivote (punto de rodadura de los semi-discos). En la figura 23 se muestra el mecanismo en movimiento con un giro α genérico.

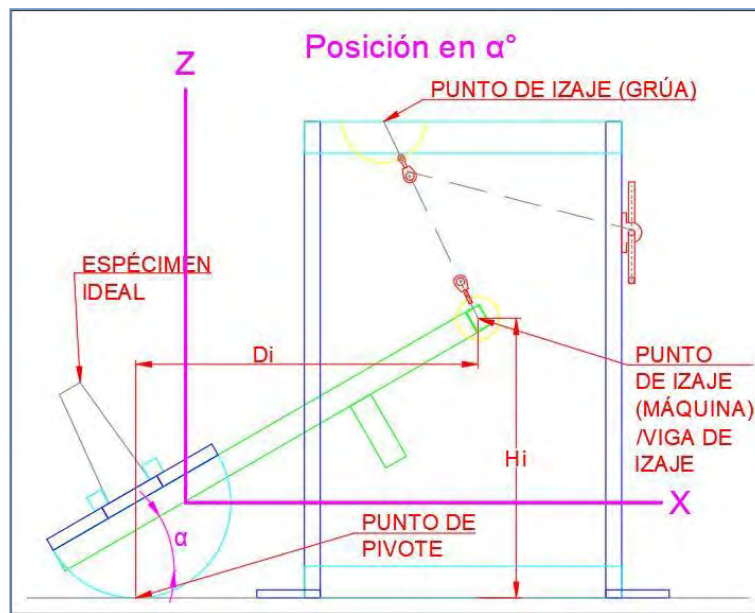


Figura 23. Vista frontal del mecanismo (máquina, espécimen y grúa pórtico) en movimiento

Tabla 10. Variación de punto de izaje

Giro	H_i	D_i
α°	cm	cm
0.0	26.25	122.50
5.0	36.94	122.36
10.0	47.58	121.29
15.0	58.08	119.30
20.0	68.37	116.39
25.0	78.37	112.61
30.0	88.00	107.96
35.0	97.19	102.50
40.0	105.87	96.25
45.0	113.97	89.27

A continuación, se calculan los momentos generados por los pesos de las piezas de la máquina y el espécimen (M_{volteo}) para cada ángulo de inclinación del tablero. Como se va a izar la máquina con el equipo auxiliar, se calculará la fuerza vertical equivalente (F_{vertical}), asumiendo una fuerza de izaje vertical. Dependiendo del peso y la ubicación del centroide del espécimen, el F_{vertical} puede tornarse con valor negativo. Cuando se dé esta situación, se perderá el equilibrio; ya que un momento negativo de la máquina provocará el desequilibrio del sistema. Por lo tanto, es imperante tener a la mano algunos lastres para evitar este efecto perjudicial (se deben colgar en la viga de izaje de la máquina, preferentemente al medio de su luz), siendo F_{lastre} esta fuerza aplicada. La suma de F_{vertical} y F_{lastre} dará lugar a las F_{neto} , fuerzas de izaje netas verticales, las cuales deben ser siempre de valor positivo (en caso contrario, significa que se requiere más lastre). Finalmente, se halla el momento de la máquina final (M_{final}), el cual será el que el polipasto del equipo auxiliar tenga que vencer. El M_{final} viene a ser la diferencia entre el M_{volteo} y el producto de F_{neto} y D_i . Como se busca izar la máquina con la grúa pórtico con el menor esfuerzo posible, se buscará colocar los lastres (de ser necesarios) paulatinamente. Se presenta la tabla 11 con el resumen de los cálculos mencionados.

Tabla 11. Variación de momentos de volteo e izaje, y sus correcciones

Giro	M_{volteo}	F_{vertical}	F_{lastre}	F_{neto}	M_{final}
α°	kg-cm	kg	kg	kg	kg-m
0.0	1638.73	13.38	0	13.38	1638.73
5.0	1330.33	10.87	0	10.87	1330.33
10.0	1011.80	8.34	0	8.34	1011.80
15.0	685.58	5.75	0	5.75	685.58
20.0	354.13	3.04	10	13.04	1518.08
25.0	19.99	0.18	10	10.18	1146.07
30.0	-314.30	-2.91	10	7.09	765.33
35.0	-646.20	-6.30	20	13.70	1403.74
40.0	-973.18	-10.11	20	9.89	951.83
45.0	-1292.76	-14.48	20	5.52	492.69

Con el equilibrio asegurado, se procede a calcular las fuerzas en el polipasto, el cual es la unión del punto de izaje en la máquina con el punto de izaje en la grúa (punto fijo). Cabe resaltar que el punto de izaje de la grúa se colocó de tal forma que el equipo principal esté lo más próximo al equipo auxiliar de izaje, para este caso, se toma unos 7.5 cm como separación entre el borde del tablero y la cara que da a la máquina de la columna (ver imagen 21 y planos en anexo A).

A continuación, se calculó la tensión en la cuerda ($T_{\text{polipasto}}$), convirtiendo el M_{final} a fuerzas en el punto de izaje de la grúa pórtico. Cuando el $T_{\text{polipasto}}$ llegue a la manivela, su valor será la mitad (T_{manivela}). Sin embargo, al tener una manivela en ese punto, esta fuerza se reduce drásticamente (al

90%) al momento de ejercerla manualmente, asegurando un manejo lento (un promedio de 0.75° de inclinación de tablero por segundo) y menos fatigoso. Por último, se verificó el equilibrio de la grúa pórtico, para constatar que no se voltee. Se definen las fuerzas y momento en la grúa: Gvertical, componente vertical de la fuerza de polipasto que afecta a la grúa pórtico; Ghorizontal, componente horizontal de la fuerza de polipasto que afecta a la grúa pórtico; Mgresis (momentos respecto al punto de equilibrio provocados por los pesos de las piezas del equipo auxiliar y por el Gvertical); y Mgvoleo (momento respecto al punto de equilibrio provocado por el Ghorizontal. Para finalizar la verificación respectiva al equilibrio, se calcula el factor de seguridad al volteo (FSvolteo), siendo el cociente del Mgresis con el Mgvoleo. En la tabla 12 se muestra el resumen de los cálculos realizados.

Tabla 12. Variación de tensión en polipasto y fuerzas en grúa pórtico

Giro	Tpolipasto	Tseno	Tcoseno	Tmanivela	Gvertical	Ghorizontal	Mgresis	Mgvoleo	FSvolteo
α°	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg-cm	kg-cm	grua
0.0	16.59	14.93	-7.24	8.30	-14.93	7.24	-2482.84	1085.70	2.29
5.0	14.39	12.83	-6.50	7.19	-12.83	6.50	-2294.34	974.69	2.35
10.0	11.84	10.49	-5.49	5.92	-10.49	5.49	-2083.80	823.11	2.53
15.0	8.79	7.76	-4.13	4.39	-7.76	4.13	-1837.52	619.64	2.97
20.0	21.49	18.97	-10.09	10.74	-18.97	10.09	-2846.66	1513.79	1.88
25.0	17.89	15.89	-8.21	8.95	-15.89	8.21	-2569.79	1232.15	2.09
30.0	12.92	11.64	-5.59	6.46	-11.64	5.59	-2187.25	838.27	2.61
35.0	24.23	22.42	-9.20	12.12	-22.42	9.20	-3157.03	1380.04	2.29
40.0	15.13	14.53	-4.22	7.56	-14.53	4.22	-2446.60	632.31	3.87
45.0	6.25	6.23	-0.55	3.13	-6.23	0.55	-1699.74	83.22	20.42

Habiendo realizado el predimensionamiento y verificado el equilibrio del mecanismo a cada instante de la operación, se procederá a calcular los factores de seguridad de las secciones críticas en los elementos más vulnerables, que son los de mayor carga. Se omite considerar como vulnerables a las piezas del equipo auxiliar, ya que las fuerzas que ingresen siempre serán bajas en la medida que se coloquen adecuadamente los lastres. De las piezas del equipo principal, se destacan los semi-discos y la tabla central del tablero compuesto (por el espécimen considerado, sólo 1 tabla recibe la carga directamente); siendo las secciones críticas aquellas que tomas el corte, compresión y flexión importantes (ver figura 24). Asimismo, se asumirá que la carga distribuida del peso del espécimen se concentra en la luz central de la tabla central del tablero (ver figura 25). Se da esta condición para sobrellevar el caso más desfavorable en un modelo mayor a la luz entre los apoyos (semi-discos). En caso se tenga un modelo de menor longitud, se recomienda considerar la carga como puntual en el centro de luz de los apoyos.



Figura 24. Distribución de cargas en tablero

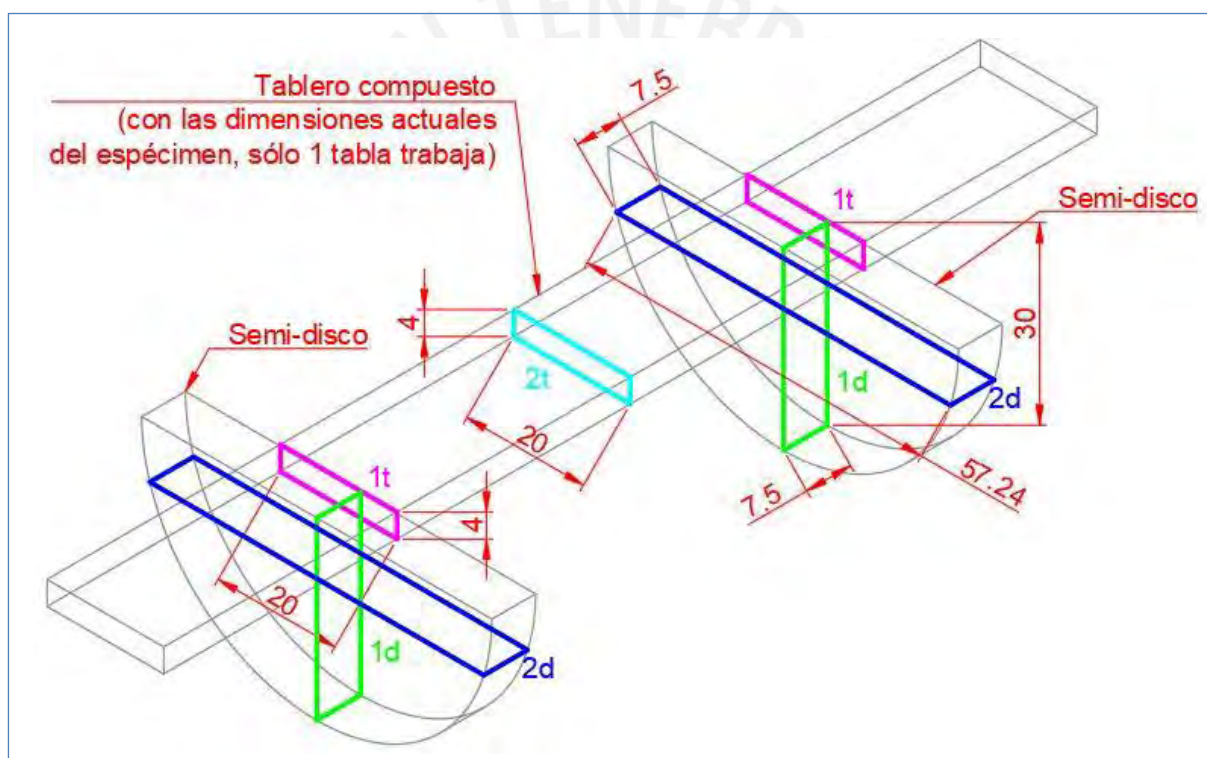


Figura 25. Secciones críticas en los elementos más cargados, dimensiones en cm

El peso del equipo principal es de aproximadamente 56 kg (peso fijo) y el del espécimen ideal es de 178 kg (peso que puede variar dependiendo del espécimen). Por lo tanto se buscará comparar el peso aplicado con el peso máximo derivado de los esfuerzos admisibles de la madera. Para los semi-discos, el peso aplicado ideal (W) es de 234 kg (peso del equipo más el peso del espécimen); y para la tabla central, el peso aplicado ideal (W) es de 178 kg (peso de espécimen).

Como la madera utilizada fue extraída del árbol Tornillo, se verificó que esta especie es del grupo C según el anexo 3 de la norma de madera E.010 (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento,

2006). En la tabla 13 se muestran los esfuerzos admisibles en kg/cm^2 para los distintos tipos de solicitaciones.

Tabla 13. Esfuerzos admisibles en madera (Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, 2006)

Grupo	Esfuerzos Admisibles - kg/cm^2				
	Flexión	Tracción Paralela	Compresión Paralela	Compresión Perpendicular	Corte Paralelo
A	210	145	145	40	15
B	150	105	110	28	12
C	100	75	80	15	8

Se muestra la tabla 14, en la que se resumen las características de las secciones vulnerables a analizar. En la tabla 15 se muestran las fuerzas máximas derivadas de los esfuerzos admisibles, donde se resalta (letra en negrita) los resultados relevantes para cada sección. Cabe indicar que para las secciones 2d, se considera tanto la compresión paralela como la compresión perpendicular ya que la fibra de esta madera (el lote adquirido en específico) resulta entreverada y no uniforme.

Tabla 14. Características de secciones críticas en equipo principal

Elemento	Secciones críticas	Dimensiones		N° de secciones afectadas	Área involucrada
		b	h		cm ²
		cm	cm		
Semi-disco	1d	7.50	30.00	2	450.0
	2d	7.50	57.24	2	858.6
Tabla central de tablero	1t	20.00	4.00	2	160.0
	2t	20.00	4.00	1	80.0

Tabla 15. Fuerzas máximas derivadas de los esfuerzos admisibles

Elemento	Secciones críticas	Fuerzas máximas - kgf				
		Flexión	Tracción Paralela	Compresión Paralela	Compresión Perpendicular	Corte Paralelo
Semi-disco	1d	45000	33750	36000	6750	3600
	2d	85860	64395	68688	12879	6868.8
Tabla central de tablero	1t	16000	12000	12800	2400	1280
	2t	8000	6000	6400	1200	640

Con estas fuerzas máximas (F_{max}), se puede hallar el peso máximo admisible (W_{max}) en el mecanismo. Para la sección 1d y 1t, el peso máximo admisible es igual a la fuerza máxima por corte paralelo. Para la sección 2d, el W_{max} es el promedio de las fuerzas máximas por compresión paralela y perpendicular. Para la sección 2t, el W_{max} viene a ser el resultado de despejar las siguientes expresiones:

$M = F_{max} * 2/3 * h$; $2/3 * h$ es el brazo de palanca asumiendo sección no fisurada

$M = (W_{max}/L) * L^2/8 = (W_{max}) * L/8$; L es la luz central de la tabla, con valor de 80 cm

$W_{max} = F_{max} * 16/3 * h/L$

Se presenta la tabla 16 como resumen de los W_{max} calculados y de los W considerados. Asimismo, se muestran los factores de seguridad correspondientes al cociente de W_{max}/W .

Tabla 16. Resumen de pesos admisibles y factores de seguridad

Elemento	Secciones críticas	Peso máximo admisible	Peso aplicado ideal (W)	Factor de Seguridad
		kgf	kgf	
Semi-disco	1d	3600	234	15.4
	2d	40784	234	174.3
Tabla central de tablero	1t	1280	178	7.2
	2t	2133	178	12.0

Se puede constatar que para las dimensiones tomadas en el equipo principal, se tiene bastante holgura respecto al peso máximo admisible. El caso que marca el límite de la máquina es la fuerza de corte. Aun así, el hecho de que la carga máxima sea 1280 kg da la confianza para proseguir con los ensayos, ya que los especímenes reales a escala reducida rondarán el peso del espécimen ideal empleado.

A modo de adición, se ha verificado las deflexiones del tablero, más específicamente, en la tabla central. Como datos a considerar se tiene el ancho (B), el alto (H), la luz libre (L); así como la carga distribuida (w) que el peso aplicado ideal (W) ejerce. Con estos datos y con el módulo de elasticidad mínimo (E) de la norma E.010, se halló la inercia de la sección (I) y la flecha por carga distribuida (flechaW). Se ha considerado una deflexión admisible de 1/300 para evitar esfuerzos perjudiciales en los especímenes. Se presenta resumen de los cálculos hechos en la tabla 17.

Tabla 17. Verificación de deflexiones en el tablero

B	H	L	I	E	W	flechaW	flechaW	L/300	L/300
cm	cm	cm	cm ⁴	kg/cm ²	kg/cm	cm	mm	cm	mm
20.00	4.00	80.00	106.67	5.50E+04	2.23	0.20	2.02	0.27	2.67

Si bien los equipos tienen dimensiones mayores respecto a lo mínimo necesario, al ser portátil, tendrá que ser desensamblado varias veces en su tiempo de servicio. Estas acciones suelen desgastar a los materiales, por lo que al tener secciones “generosas”, nos aseguramos que este equipo tenga mayor durabilidad.

4.4 Elaboración de presupuesto

La madera se compró una cantidad en bruto de pie tablares mayor a la cantidad neta necesaria, alcanzando un 30% de desperdicio. Este valor alto de desperdicio es así porque la maderera tenía tablas ya dimensionadas en su inventario, teniendo que redimensionarlas según requerimiento de los planos y tomando en cuenta la pérdida de material por cepillado y corte. Sin embargo, los cortes de madera no usados para los equipos fueron empleados como elementos auxiliares al momento de la construcción. El costo final de la madera rondó los 460 soles. Para el caso del tubo metálico, se compró un tubo de 5cm x 7.5cm x 3mm x 6m (ancho, alto, espesor, y largo respectivamente). Este tuvo un precio de 120 soles, precio que incluía el corte para obtener las longitudes deseadas de piezas. Los espárragos y demás elementos menores de acero costaron cerca de 150 soles. Las poleas, la soga y la manivela tuvieron un costo de 120 soles. La mano de obra se estima en 600 soles. Se hace una estimación del costo de herramientas como el 8% del costo de mano de obra, por lo que las herramientas salen 50 soles. Por lo tanto, se puede aproximar el costo total de la construcción de los equipos en 1500 soles.

4.5 Construcción de equipo

Con los resultados del diseño, el presupuesto y los planos, se empieza la construcción del mecanismo (ver imagen 26 y 27). Esta se da en un área de 20 m², con la participación de un operario y un ayudante. El tiempo de construcción acumulado resulta en 28 horas, en un lapso de 4 días. El primer día se empezó habilitando los semi-discos de madera, con el uso de una escofina, prensas y una lijadora eléctrica. Luego de habilitaron los brazos metálicos (palancas), colocándose unos pernos sin cabeza (adaptados de espárragos de acero de 3/8") con tuercas y arandelas para ajustar los brazos a los discos. El segundo día se habilitaron los listones y tablas de la grúa, y sus respectivos pernos. Asimismo, se realizó una prueba de carga con la soga, para constatar el comportamiento del polipasto previsto. Para el 3er día, se habilitó el tablero y se hizo un montaje previo de este sobre los discos. Para el último día se contactó con un operario que ofrecía el servicio de soldadura con arco eléctrico. Ese día se habilitó la manivela, las bisagras de conexión entre brazos de palanca y viga de izaje, y de las patas de apoyo.



Figura 26. Proceso constructivo del equipo, cada foto corresponde a un día diferente



Figura 27. Mecanismo completo (sin topes) ya ensamblado

4.6 Instrumentación y calibración de equipo

La medición de los ángulos de inclinación se hará manualmente, con ayuda de un transportador adosado al tablero y una regla nivel; tomando como referencia el punto medio superior de la cara de la tabla central del tablero. Para la calibración del equipo, se necesita ensamblarlo en el lugar final donde se va a realizar el ensayo. Luego, se coloca el transportador con un tornillo para fijarlo a la tabla y con otro tornillo se lo fija definitivamente, previa nivelación en 0° con la regla nivel (ver imagen 28).



Figura 28. Equipo con dispositivo de medición calibrado

5. CAPÍTULO V: MODELOS Y ENSAYOS A ESCALA

5.1 Análisis dimensional y determinación del factor de escala

Se empieza definiendo las magnitudes influyentes. Como los ensayos a realizar son estáticos, para un ángulo de inclinación (α) entre 0° y 45° , son magnitudes relevantes del modelo: peso específico del material (γ), largo del modelo (L), alto del modelo (H), ancho promedio del modelo (B), módulo de fricción estática del material (μ), y la fuerza de empuje lateral perpendicular al plano del modelo (F). El peso, la normal y la fricción, así como el área de sección y el volumen, son derivados de las magnitudes mencionadas.

Se define un fenómeno adimensional $f(q_1, q_2, q_3, \dots, q_n)$:

$$- f_1(\gamma, F, L, H, B, \mu, \alpha)$$

Asimismo, por conveniencia de análisis, se realizará este con las magnitudes fundamentales [FLT]. Como las magnitudes involucradas no presentan al tiempo como dimensión relevante, y tomando como magnitudes base γ y F; el número de π_i será de 5.

Para π_1 se tendrá el desarrollo usando el teorema Pi:

$$- [F]^0 [L]^0 = \gamma^{a_1} F^{b_1} L$$

$$- [F]^0 [L]^0 = [F \cdot L^{-3}]^{a_1} [F]^{b_1} [L]$$

Se obtienen las ecuaciones:

$$- 0 = a_1 + b_1$$

$$- 0 = -3a_1 + 1$$

$$- \text{Solución: } a_1 = 1/3 \text{ y } b_1 = -1/3$$

Por lo tanto, se tiene la expresión final:

$$- \pi_1 = \gamma^{1/3} F^{-1/3} L$$

De manera análoga, se hallan los demás π_i :

$$- \pi_2 = \gamma^{1/3} F^{-1/3} H$$

- $\pi_3 = \gamma^{1/3} F^{-1/3} B$
- $\pi_4 = \mu$ [adimensional]
- $\pi_5 = \alpha$ [adimensional]

Con estas relaciones π_i se procede a establecer relaciones de escala para definir un modelo verdadero y obtener los factores de escalas. Se comenzará tomando en cuenta que los fenómenos en los que gobiernan las fuerzas gravitatorias están relacionados con el número de Froude (Chereque, 1993). Este valor adimensional (Fro) relaciona la velocidad (v), la gravedad (g) y la longitud (L):

- $Fro = v / (g * L)^{1/2}$

La particularidad de este número en cuanto se relaciona con los factores de escala es que se considera que la relación de escala de la gravedad (y por ende, de la aceleración) es 1 ($a_r = 1$). Tomando esto último, por otro lado, el valor π_1 (es indistinto tomar π_1 , π_2 , ó π_3) puede rearmarse como:

- $F = K * \gamma * L^3$

Cabe resaltar que K es una constante numérica experimental en función de π_1 . Para hallar K, se tendría que comparar resultados de fuerzas en el prototipo y contrastarlo con el modelo. Esta acción escapa del alcance del presente proyecto, por lo que cuando se halle el factor de escala para la fuerza, este nos brindará un valor de fuerza teórico en el prototipo. El factor de escala de la fuerza dependerá entonces del peso específico (γ) y la longitud (L).

Se define la escala como e, y el factor de escala de una magnitud (S) como S_r , donde:

- $S_r = S_m / S_p$; S_m es la magnitud en el modelo y S_p , en el prototipo

La longitud entonces tendrá un factor de escala de $1/e$ ($L_r = 1/e$). Por lo tanto, queda como incógnita el factor de escala del peso específico ($\gamma_r = ?$). Ante esta incertidumbre, se toma en cuenta una recomendación de Restrepo (2009). Se asevera que se puede empezar considerando el ensayo estático como un fenómeno dinámico, y realizando un análisis dimensional presenta la siguiente expresión Π :

- $\Pi = (a * L * \rho) / E$

Las magnitudes involucradas son: aceleración (a), longitud (L), densidad (ρ) y módulo de elasticidad (E). Los factores de escala de la aceleración y el módulo de elasticidad son considerados de valor unitario (en términos dimensionales), por lo que la densidad tendrá un factor de escala inverso al de la longitud

($\rho r=1/Lr$), tomando a Π como adimensional. Asimismo, la densidad puede expresarse como el cociente de la masa (m) por el volumen ($\rho r=mr/Lr^3$). Despejando el factor de escala de la masa (mr), este resulta ser igual al cuadrado del factor de escala de la longitud ($mr=Lr^2=(1/e)^2$). Volviendo a la expresión derivada del π_1 hallado al inicio del acápite, esta puede ser reformulada a una expresión más simple (omitiendo la constante K por motivos de sencillez y asumiéndola como un valor cercano a 1), y reemplazando valores de magnitud por factores de escala:

- $Fr=mr$; por lo tanto el factor de escala de la fuerza es similar al de la masa

Hasta este punto, se tiene que el factor de escala de la fuerza es $(1/e)^2$. Sin embargo, para corroborar que el modelo es un “verdadero modelo” se deben cumplir todas las relaciones. La más crítica vendrá a ser la densidad del modelo, ya que esta exige un material con una densidad e veces mayor ($\rho r=1/e$). Esto implicaría que si se emplea piedra en el prototipo, se deberá tener un material e veces más denso para el modelo, teniendo en cuenta que el módulo de elasticidad debe ser lo más parecido posible. En fin, un material así no se tiene a la mano, por lo que o será imposible o demasiado caro (dependiendo del e definido) realizar un verdadero modelo. En la investigación de Restrepo (2009) se afirma, en base a un estudio numérico con un sistema de un solo grado de libertad, que las deformaciones de las rocas por esfuerzos internos son despreciables en comparación a los desplazamientos relativos entre estas. Por lo tanto, el empleo del mismo material del prototipo en el modelo es válido, pues no afectará significativamente a los factores de escala. Todas estas consideraciones aseguran la tenencia de un verdadero modelo al alcance del proyecto.

Con lo mencionado anteriormente, se determina el factor de escala de la densidad igual a 1 ($\rho r=1$). Rehaciendo los cálculos y relaciones correspondientes, el factor de escala de la fuerza pasará a ser el cubo del factor de escala de la longitud ($Fr=Lr^3=(1/e)^3$). Este nuevo factor indica que la fuerza hallada en el modelo deberá ser multiplicada por e^3 para que represente la fuerza (teórica) en el prototipo. Se presenta la tabla 18, en la que se resumen los factores de escala para las distintas magnitudes relevantes a los ensayos:

Tabla 18. Factores de escala para los ensayos estáticos

Factores de escala de las magnitudes - Sistema FLT		
Dimensión	Símbolo	Factor de escala *
Largo (L)	L	1/e
Ancho (B)	L	1/e
Alto (H)	L	1/e
Coefficiente de fricción	μ	1
Ángulo de inclinación	α	1
Aceleración	a	1

Densidad	ρ	1 **
Peso específico	γ	1 **
Peso	W	$(1/e)^3$ **
Fuerza	F	$(1/e)^3$ **
<p>*: Estos factores de escala son válidos para convertir magnitudes de prototipo a modelo. Para la conversión de magnitudes de modelo a prototipo, se toman los valores inversos.</p> <p>** : Estos factores de escala han sido corregidos con la condición propuesta por Restrepo (2009). Sus valores "reales" vendrían a ser: Densidad (1/e), Peso específico (1/e), Peso $(1/e)^2$, Fuerza $(1/e)^2$.</p>		

5.2 Definición de especímenes a ensayar

Se definieron dos armados, uno con bloques regulares y otro con bloques irregulares.

Muros con bloques regulares

Por simplicidad, para los bloques regulares se empleará adoquines de concreto (ver figura 29), los cuales se venden en las ferreterías. Se usará el adoquín de 20cmx10cmx4cm, teniéndose que habilitar con un disco diamantado (ver figura 34). Para realizar un armado estable y habilitar correctamente los adoquines, se realizó un despiece de estos. La sección transversal es de forma de pirámide trunca, con variaciones de 1cm en cada una de sus diez filas. Esto se da así de modo que la silueta se asemeje al espécimen idealizado y permite aprovechar al máximo los adoquines, minimizando el desperdicio (10% aproximadamente). Cabe recalcar que al no usarse mortero, se podrá rearmar los muros, teniendo especímenes muy similares. Al tener todas sus caras en contacto con los demás, el porcentaje de vacíos es prácticamente nulo. El peso del muro es de 135.95 kg.



Figura 29. Muro de adoquines (bloques regulares)

Muros con bloques irregulares

Por otro lado, en el caso de los bloques irregulares de roca, se usarán unas rocas que se tenían a inmediata disposición, ahorrando gastos de compra y transporte. Estas rocas son en su mayoría lutitas y calizas (ver figura 30). Para su habilitación, se empleó una amoladora, un cincel y martillo; ya que las piezas eran algo grandes y superaban las dimensiones mínimas necesarias (ver figura 34). Como los muros no llevarán mezcla en el 85.7% de los ensayos, se podrá rearmar los muros, teniendo especímenes muy similares. Para llevar esto a cabo de una manera rápida y sencilla, se marcaron todas las piezas en una cara con un código alfanumérico. De este modo se puede reubicar las piezas con mayor velocidad. La densidad de este tipo de roca 2.80 gr/cm^3 , en caso su volumen sea el del espécimen ideal, debería tener 177 kg. Sin embargo, el peso del muro es 139.8 kg. Eso significa que el porcentaje de vacíos de esta configuración es de 21%, valor mayor al 15% que obtuvo De los Rios De la Roca (2008) en sus especímenes construidos.



Figura 30. Muro de piedras (bloques irregulares)

Tipos de especímenes a ensayar

Con los bloques regulares se realizan cuatro ensayos, donde ningún muro (especímen) tiene algún tipo de arriostamiento. Siendo todos los especímenes formados, prácticamente iguales. Uno de los ensayos se hace a modo de calibración, solamente registrando el ángulo de falla. De esta forma que cuando se realicen los demás, ya se tenga una idea del ángulo de falla para tomar las precauciones de seguridad y registro de datos necesarios. Por lo tanto, sólo se registran datos de tres ensayos. Los datos obtenidos son el ángulo de falla, con el cual se podrá calcular la fuerza máxima perpendicular al plano de los muros formados.

Con los bloques irregulares se realizan siete ensayos, cuatro sin arriostramiento (un ensayo es de calibración), tres con arriostres en los bordes (ver figura 31 y 32), y uno con tarrajeo en una cara (ver figura 33). Los datos obtenidos son el ángulo de falla y los desplazamientos de nueve puntos dispersos en la cara exterior del espécimen. Con esto datos se podrá calcular la fuerza máxima perpendicular al plano de los muros formados y la deformación de los especímenes conforme se aplique la fuerza ya mencionada.

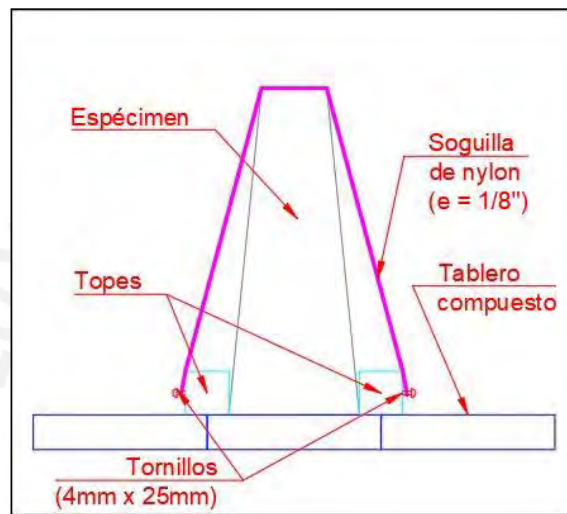


Figura 31. Esquema del arriostres anclados a los topes del tablero



Figura 32. Especimen con arriostres instalados en ambos extremos



Figura 33. Espécimen con tarrajeo a un lado

El arriostre fue colocado como una forma de dar una condición de borde al muro suelto. Se empleó un par de soguillas a presión, ancladas a los topes del equipo. Al dar este arriostre, se busca cambiar el comportamiento del muro, dando lugar a mediciones de interés. Cabe resaltar que el arriostre trabaja a compresión, siendo esta igual al cuádruple de la tensión de una soguilla por un lado. La tensión en estos ensayos no fue medida, ya que no se tenía un dispositivo para tal fin. Sin embargo, se procuró no darle demasiada tensión, ya que esta al estar anclada a los topes, genera esfuerzos extra a los tornillos de sujeción de los bloques. Si la tensión llegara a ser muy grande, se vería comprometida la seguridad del ensayo ante el posible deslizamiento del espécimen en la base. Por otro lado, el tarrajeo aplicado al espécimen de bloques irregulares fue de 1.5 cm en promedio. El espesor aplicado vendría a ser 6 cm, en escala natural; espesor no usado en la realidad debido a ser impráctico y costoso.

Cabe recalcar que sólo los especímenes sin aditamentos, o libres de condiciones de borde, pueden ser considerados verdaderos modelos; y son válidos para hacer cálculos respectivos a los especímenes a escala real. Los especímenes con arriostre y el espécimen con tarrajeo poseen elementos no controlados por el análisis dimensional realizado (soguillas con tensión no controlada y tarrajeo desproporcionado); por lo que los resultados hallados son válidos sólo para inferir posibles efectos en especímenes a escala natural con condiciones de borde similares.

A continuación se presenta la tabla 19 con las características principales de los especímenes a escala reducida, a modo de resumen.

Tabla 19. Resumen de características de los especímenes ensayados

Datos de especímenes o modelos a ensayar								
Número de ensayos	Tipo de bloque	Condición de borde	Altura	Volumen	Peso		Peso unitario	
			cm	cm ³	N	(kgf)	N/m ³	(tonf/m ³)
3	Regular	Libre	40.00	63000	1333.67	(135.95)	21169.36	(2.16)
3	Irregular	Libre	39.07	66960	1371.44	(139.8)	20481.45	(2.09)
3	Irregular	Arriostre	39.07	66960	1371.44	(139.8)	20481.45	(2.09)
1	Irregular	Tarrajeo	39.07	74160	1385.84	(141.27)	18687.14	(1.9)



Figura 34. Elaboración de las piezas: a la izquierda, los bloques regulares; y a la derecha, los irregulares

6. CAPÍTULO VI: RESULTADOS DE ENSAYOS

6.1 Resultados de muros con bloques regulares

Los resultados de los ensayos de estos especímenes se presentan en la tabla 20. Se constató que este tipo de armado falla por volteo (ver figura 35). Las deformaciones del muro eran prácticamente imperceptibles (ver figura 36) hasta el momento de la falla, por lo que la esta podría considerarse súbita.

Tabla 20. Resultados de ensayos de muros con bloques regulares sin arriostre

Ensayo de muro con bloques regulares (sin arriostre)					
Ensayo	Masa	Ángulo de falla	Fuerza máxima		Fuerza máxima
	Kg		N	(Kgf)	% Peso
1er Ensayo	135.95	19.0	434.20	(44.26)	32.6
2do Ensayo	135.95	19.0	434.20	(44.26)	32.6
3er Ensayo	135.95	18.5	423.18	(43.14)	31.7
Promedio	135.95	18.83	430.53	(43.89)	32.28
Desv. Est.	0	0.29	6.36	(0.65)	0.48



Figura 35. Instante de falla de muro de bloques regulares sin arriostres (2do ensayo)



Figura 36. Vista de muro de bloques regulares sin arriostres – inclinación de 15° (2do ensayo)

Tomando en cuenta los el factor de escala de la fuerza, la fuerza que experimenta el espécimen debe ser amplificada en 64 para obtener la fuerza que recibiría el prototipo (aproximadamente). Cabe destacar que la proporción de la fuerza máxima respecto al ángulo de inclinación sigue siendo invariable. Se presenta la tabla 21, en la que se compara las fuerzas del modelo y el prototipo, con la proporción de la fuerza lateral perpendicular al plano respecto al peso propio del espécimen.

Tabla 21. Comparación de fuerzas en muros con bloques regulares sin arriostre

Ensayo de muro con bloques regulares (sin arriostre)					
Ensayo	Fuerza máxima modelo		Fuerza máxima	Fuerza máxima prototipo	
	N	(Kgf)	% Peso	N	(Kgf)
1er Ensayo	434.20	(44.26)	32.56	27788.82	(2832.7)
2do Ensayo	434.20	(44.26)	32.56	27788.82	(2832.7)
3er Ensayo	423.18	(43.14)	31.73	27083.49	(2760.8)
Promedio	430.53	(43.89)	32.28	27553.71	(2808.74)

6.2 Resultados de muros con bloques irregulares

Los resultados de los ensayos de estos especímenes se presentan en las tablas 22, 23 y 24. Se constató que este tipo de arreglo falla en un tiempo mayor al de los bloques regulares, por volteo; con excepción del muro con tarrajeo, el cual sí falla casi instantáneamente (ver figuras 35, 36 y 37). Las deformaciones hasta el momento de falla en los muros eran perceptibles; con excepción del muro con tarrajeo, del cual sus deformaciones eran prácticamente imperceptibles (ver figuras 38, 39 y 40). Por lo que se puede afirmar que sólo el muro con tarrajeo tuvo falla súbita.

Tabla 22. Resultados de ensayos de muros con bloques irregulares sin arriostre

Ensayo de muro con bloques irregulares (sin arriostre)					
Ensayo	Masa	Ángulo de falla	Fuerza máxima		Fuerza máxima
	Kg		N	(Kgf)	% Peso
1er Ensayo	139.77	13.5	320.09	(32.63)	23.3
2do Ensayo	139.77	14.5	343.31	(35)	25.0
3er Ensayo	139.77	15.0	354.88	(36.18)	25.9
Promedio	139.77	14.33	339.42	(34.6)	24.75
Desv. Est.	0	0.76	17.72	(1.81)	1.29

Tabla 23. Resultados de ensayos de muros con bloques irregulares con arriostre

Ensayo de muro con bloques irregulares (con arriostre)					
Ensayo	Masa	Ángulo de falla	Fuerza máxima		Fuerza máxima
	Kg		N	(Kgf)	% Peso
1er Ensayo	139.77	18.0	423.71	(43.19)	30.9
2do Ensayo	139.77	19.0	446.40	(45.5)	32.6
3er Ensayo	139.77	21.5	502.53	(51.23)	36.7
Promedio	139.77	19.50	457.54	(46.64)	33.37
Desv. Est.	0	1.80	40.57	(4.14)	2.96

Tabla 24. Resultados de ensayos de muros con bloques irregulares con tarrajeo

Ensayo de muro con bloques irregulares (con tarrajeo)					
Ensayo	Masa	Ángulo de falla	Fuerza máxima		Fuerza máxima
	Kg		N	(Kgf)	% Peso
1er Ensayo	141.3	35.0	794.90	(81.03)	57.4



Figura 37. Instante de falla de muro de bloques irregulares sin arriostres (3er ensayo)



Figura 38. Instante de falla de muro de bloques irregulares con arriostres (2do ensayo)



Figura 39. Instante de falla de muro de bloques irregulares con tarrajeo (1er ensayo)



Figura 40. Vista de muro de bloques irregulares sin arriestre – inclinación de 10° (3er ensayo)



Figura 41. Vista de muro de bloques irregulares con arrioste – inclinación de 15° (2do ensayo)



Figura 42. Vista de muro de bloques irregulares con tarrajeo – inclinación de 30° (1er ensayo)

Tomando en cuenta los el factor de escala de la fuerza, la fuerza que experimenta el espécimen debe ser amplificada en 64 para obtener la fuerza que recibiría el prototipo (aproximadamente). Cabe destacar que la proporción de la fuerza máxima respecto al ángulo de inclinación sigue siendo invariable. Se presentan las tablas 25, 26 y 27; en las que se compara las fuerzas del modelo y el prototipo, con la proporción de la fuerza lateral perpendicular al plano respecto al peso propio del espécimen.

Tabla 25. Comparación de fuerzas en muros con bloques irregulares sin arriostre

Ensayo de muro con bloques irregulares (sin arriostre)					
Ensayo	Fuerza máxima modelo		Fuerza máxima	Fuerza máxima prototipo	
	N	(Kgf)	% Peso	N	(Kgf)
1er Ensayo	320.09	(32.63)	23.34	20485.58	(2088.23)
2do Ensayo	343.31	(35)	25.04	21971.65	(2239.72)
3er Ensayo	354.88	(36.18)	25.88	22712.20	(2315.21)
Promedio	339.42	(34.6)	24.75	21723.14	(2214.39)

Tabla 26. Comparación de fuerzas en muros con bloques irregulares con arriostre

Ensayo de muro con bloques irregulares (con arriostre)					
Ensayo	Fuerza máxima modelo		Fuerza máxima	Fuerza máxima prototipo	
	N	(Kgf)	% Peso	N	(Kgf)
1er Ensayo	423.71	(43.19)	30.90	27117.23	(2764.24)
2do Ensayo	446.40	(45.5)	32.56	28569.65	(2912.3)
3er Ensayo	502.53	(51.23)	36.65	32161.65	(3278.46)
Promedio	457.54	(46.64)	33.37	29282.84	(2985)

Tabla 27. Comparación de fuerzas en muros con bloques irregulares con tarrajeo

Ensayo de muro con bloques irregulares (con tarrajeo)					
Ensayo	Fuerza máxima modelo		Fuerza máxima	Fuerza máxima prototipo	
	N	(Kgf)	% Peso	N	(Kgf)
1er Ensayo	794.90	(81.03)	57.36	50873.34	(5185.87)

Cálculos de los desplazamientos internos en los especímenes

Luego del ensayo de calibración, se constató que este tipo de arreglo falla luego de una deformación apreciable a la vista. Por lo tanto, se decidió emplear un dispositivo extra de medición (teodolito electrónico) para medir los desplazamientos de ciertos puntos de interés en el espécimen. Se generaron esquemas auxiliares al proceso que se describirá a continuación (ver figuras 43 a la 50) .

Los puntos de interés se ubican en tres hileras verticales en la cara “exterior” (aquella que da al sentido del giro del equipo). Cada hilera tiene tres puntos a tres alturas distintas semejantes. El perfil 123 (siendo el punto 1 el más alto, y el 3 el más bajo) se ubica en el lado del punto extremo más alejado del tablero. El perfil 456 (siendo el punto 4 el más alto, y el 6 el más bajo) se ubica aproximadamente al centro del muro. El perfil 789 (siendo el punto 7 el más alto, y el 9 el más bajo) se ubica al otro extremo del muro.

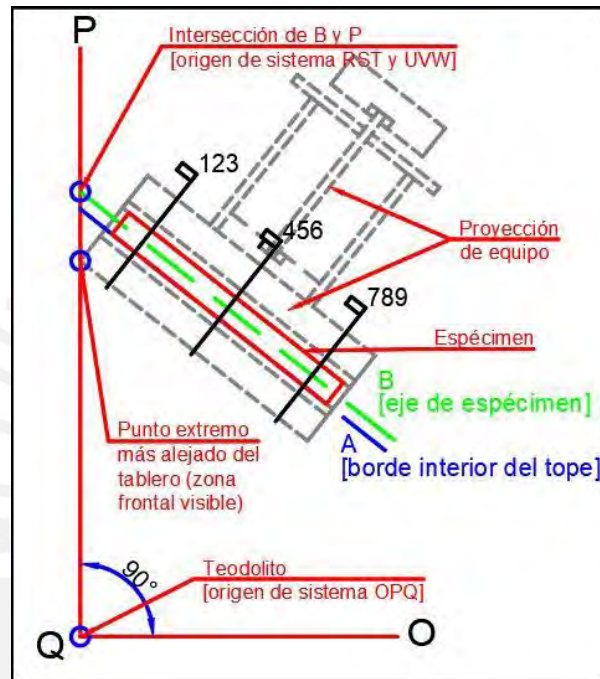


Figura 43. Esquema de ubicación del espécimen respecto al sistema OPQ

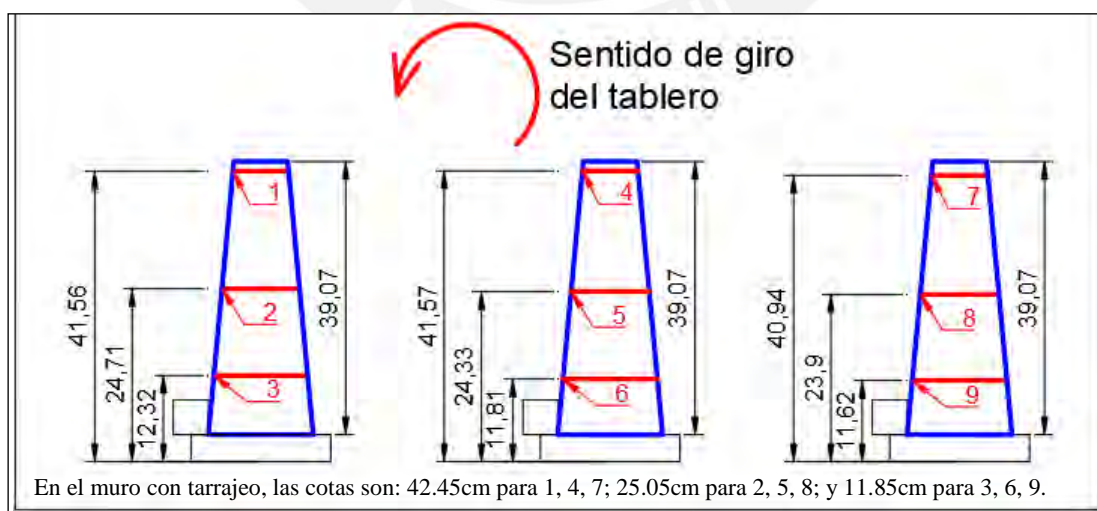


Figura 44. Esquema de alturas de los puntos de interés

Con el uso de un teodolito electrónico, se registraron dos tipos de datos principalmente (para todos los ensayos exceptuando el de calibración): ángulos de barrido horizontal (ψ_i) en sentido horario, tomando como el $0^\circ 0' 0''$ el punto extremo frontal más lejano del tablero; y ángulos de depresión (ϕ_i), tomando como punto de partida el teodolito mismo; también se registra la altura de la mira del teodolito. Se tomará un sistema global OPQ (con origen en la proyección del punto de mira en el piso), donde los puntos de interés se ubican mediante trigonometría, siendo los datos de entrada el ángulo ψ_i (para inclinación del espécimen igual a 0°) y la diferencia de alturas entre el punto de mira del teodolito y el punto de interés mismo.

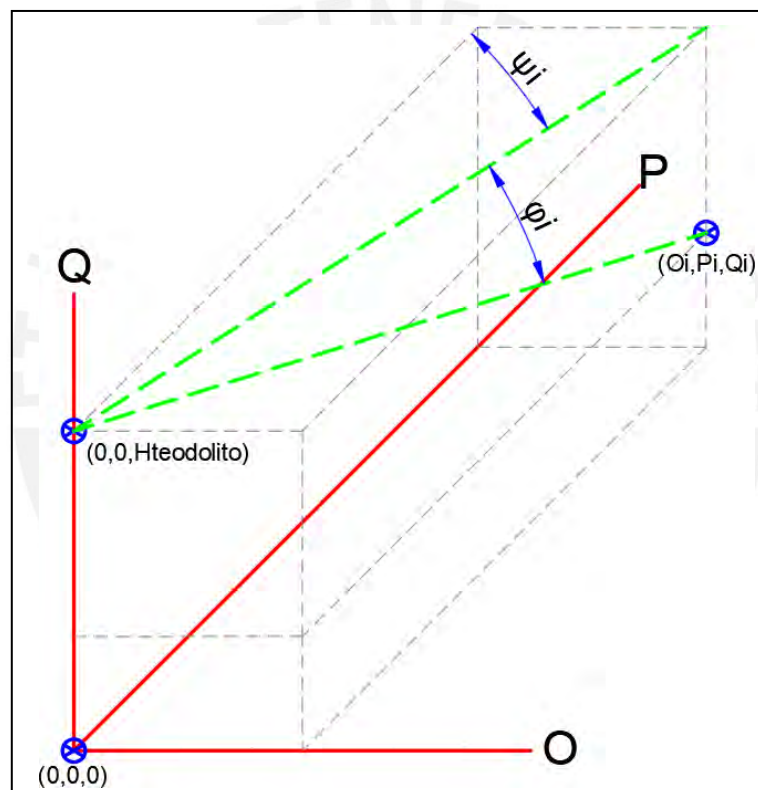


Figura 45. Esquema de posición de un punto genérico en el espacio OPQ

Para poder procesar de un modo más simple los datos de la posición de los puntos, se realizará una traslación seguida por una rotación de los ejes. Así pues el sistema OPQ se trasladará en el eje P hacia la intersección de este con la recta B, y en el eje Q, a 30cm sobre el nivel de piso (se volverá a tomar el centro de rotaciones del tablero en el eje de los semi-discos). La recta A señala el borde interior del tope en el tablero y es la primera en ser definida. La recta B viene a ser una paralela a la A, representando el eje ideal (punto medio de la base) del espécimen. Asimismo, para poder calcular desplazamientos de los puntos, se calculan las recta C_i (se asume que los desplazamientos se darán coplanarmente), cuya pendiente es perpendicular a la de la recta B y pasan por el mismo punto.

Luego de esta traslación, se obtiene un sistema RST temporal, ya que a continuación, se rotará el sistema hasta que el eje S coincida con la recta B, obteniéndose un sistema UVW (V coincide con el eje S luego del giro).

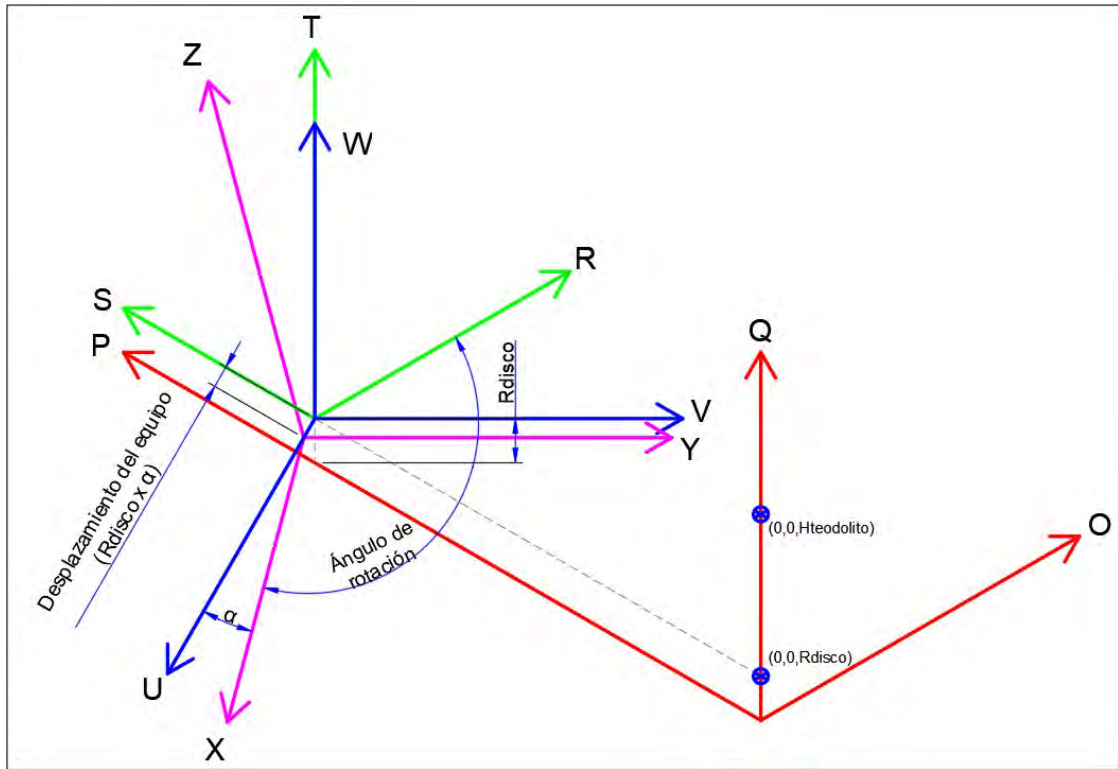


Figura 46. Esquema de posición de los todos los sistemas de coordenadas en el espacio

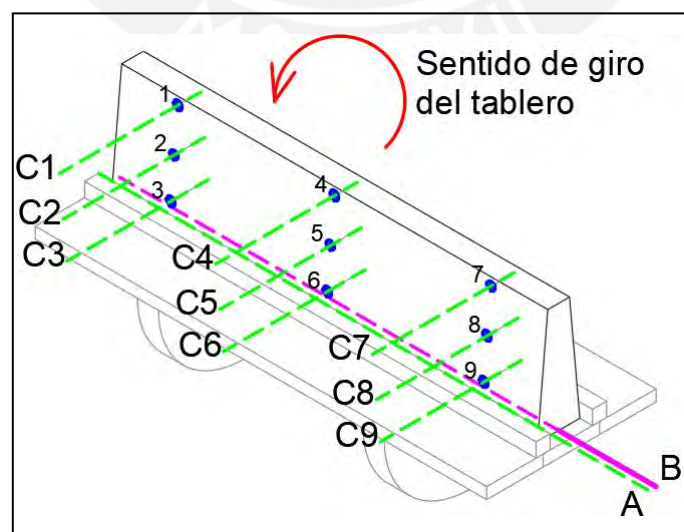


Figura 47. Esquema de posición de puntos de interés en el espécimen y de rectas Ci

Para finalizar lo relacionado a la ubicación de los puntos, se trabajará con un sistema XYZ. Este sistema de coordenadas es móvil, desplazándose y girando en función del ángulo de inclinación inducido por el equipo. El eje X positivo sale por la cara frontal (la que mira el teodolito) del muro; el eje Y está ubicado a lo largo del eje longitudinal del muro; y el eje Z nace del centro de rotaciones del semi-disco. Los desplazamientos en los especímenes se darán exclusivamente en el eje X.

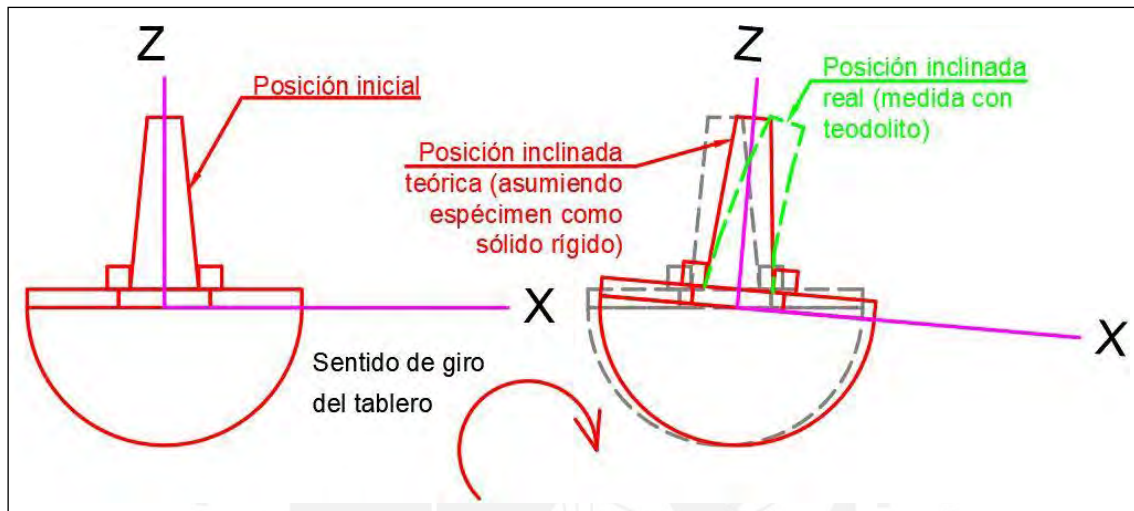


Figura 48. Esquema de posición de sistema XZ en los especímenes

A continuación, con los puntos marcados en el espécimen, se procede con el registro de datos cada 5° de inclinación. Una vez la data ya tabulada se procede a realizar cálculos para convertir coordenadas del sistema OPQ al UVW. Si bien el sistema XYZ representa mejor los desplazamientos de los puntos, al ser posiciones teóricas (asumiendo espécimen como sólido rígido) no tendrán variación respecto a los puntos iniciales (el sistema XYZ se desplaza y rota). Por lo tanto bastará obtener las coordenadas en el sistema OPQ de los puntos para cada ángulo de inclinación del equipo (α).

En cuanto a la posición real de los puntos, se ubicará su posición en el sistema OPQ. Esto se lleva a cabo mediante la intersección de una recta P con el ángulo ψ (correspondiente al α que le toque) y la recta Ci del punto; ambos en el plano OP. Estas nuevas coordenadas “reales” (O^*i, P^*i, Q^*i) en el sistema pertenecen tanto al sistema OPQ como al plano XZ. En suma, estas nuevas coordenadas las convertimos a coordenadas XYZ, y la diferencia entre la posición X^*i y la X_o (referente a un $\alpha=0^\circ$) viene a ser el desplazamiento del punto (ΔX_i).

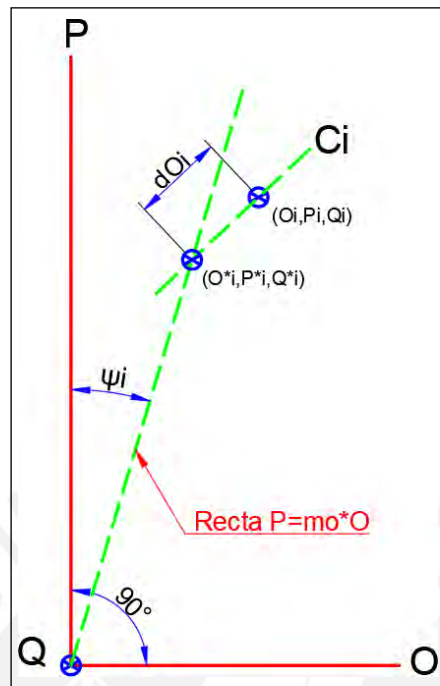


Figura 49. Ubicación de la intersección de la recta P y la recta Ci

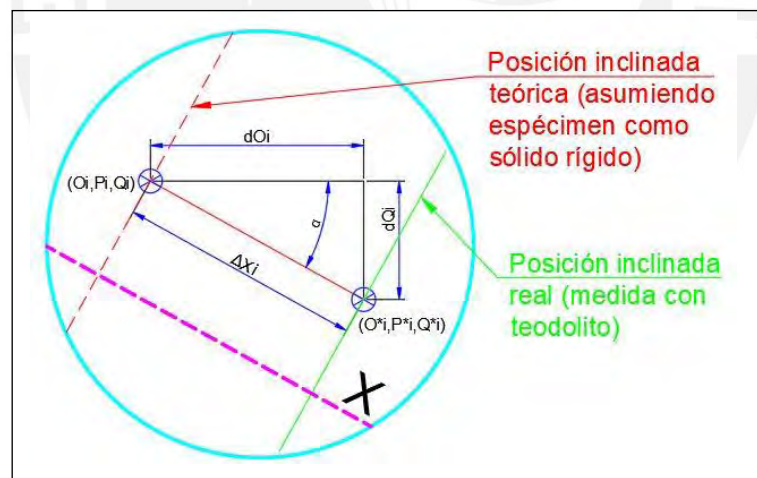


Figura 50. Esquema de las posiciones de punto i (real y teórica) tanto en sistema OPQ como en plano XZ

Ahora bien, como modo de verificación, puede hacerse algunos cálculos extra para verificar la ubicación de los puntos. Este proceso parte por calcular el ángulo de depresión del teodolito (φ^*i) al punto real “calculado”, tomando como datos de entrada la posición real (O^*i, P^*i, Q^*i) y la diferencia de altura entre el teodolito y el punto ($H_{\text{teodolito}} - Q^*i$). Acto seguido, se realiza una diferencia porcentual entre el φ^*i y el φ_i (el medido por el teodolito).

Con ayuda de una hoja de cálculo (Apéndice B) se realizan los todos los cálculos mencionados anteriormente y se generan los gráficos (ver figuras 50 a la 59). Altura de espécimen en eje Z vs deformaciones de los puntos en el eje X, en cada perfil del muro. Los gráficos a presentar son resultado del promedio de las deformaciones obtenidas en los tres ensayos (tanto para muros arriostrados como no arriostrados).

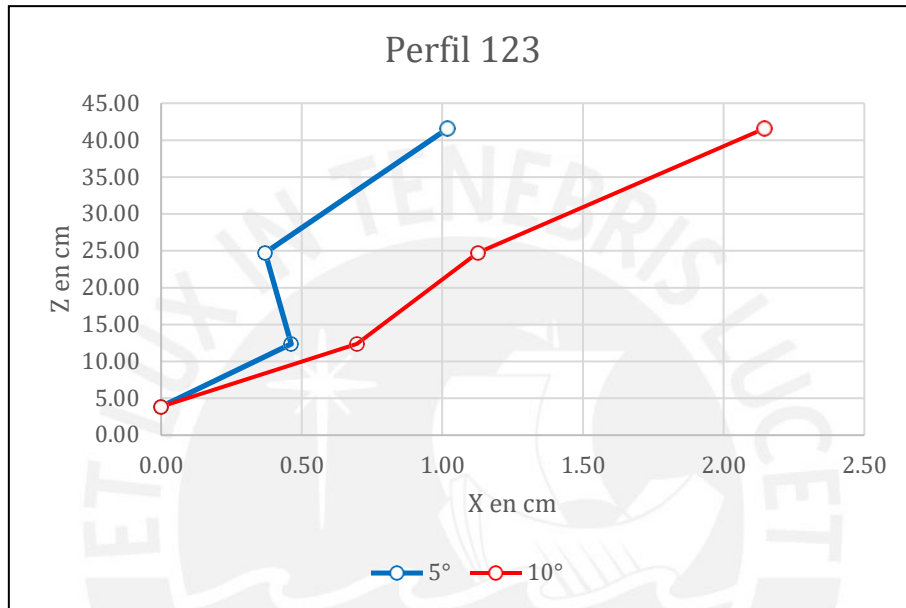


Figura 51. Gráfico de deformaciones en el perfil 123 del muro sin arriostres

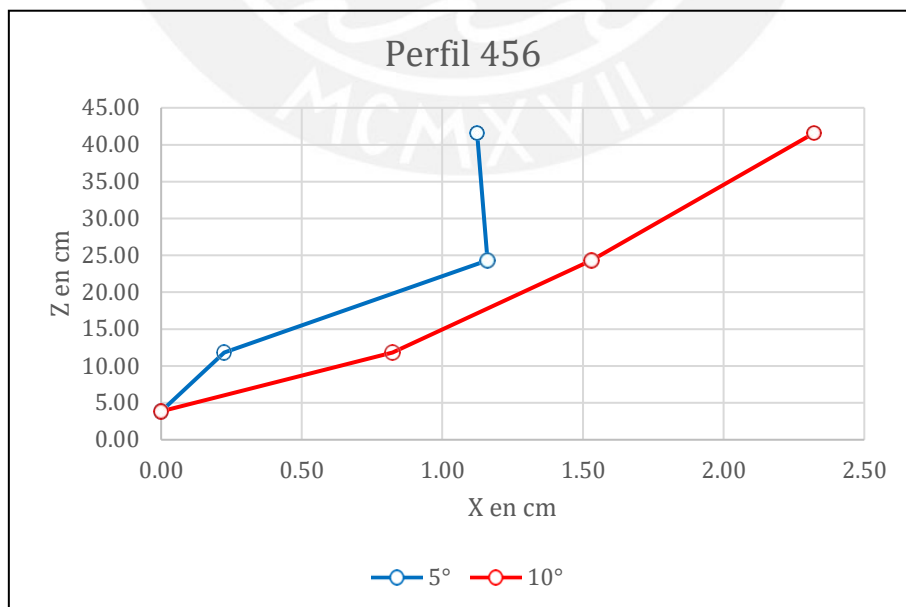


Figura 52. Gráfico de deformaciones en el perfil 456 del muro sin arriostres

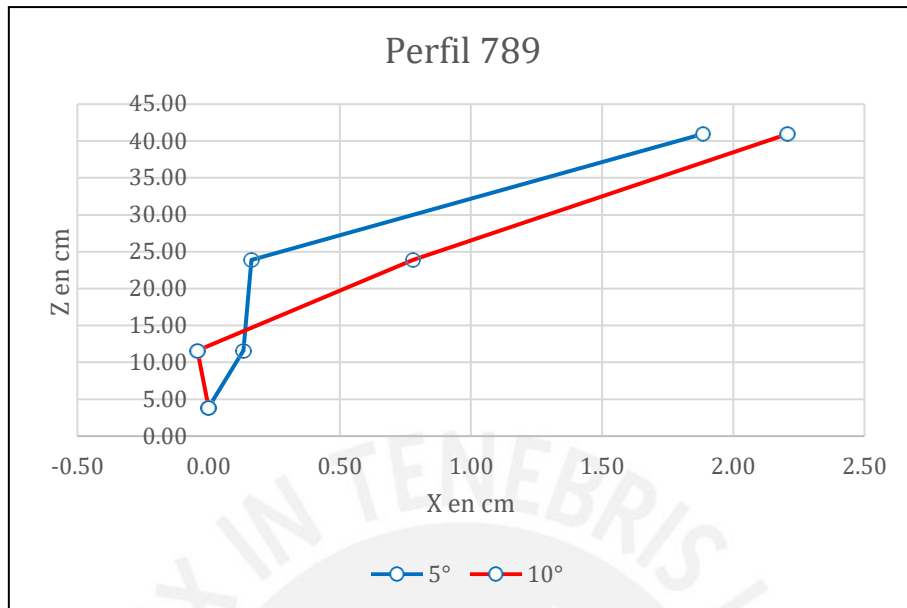


Figura 53. Gráfico de deformaciones en el perfil 789 del muro sin arriostres

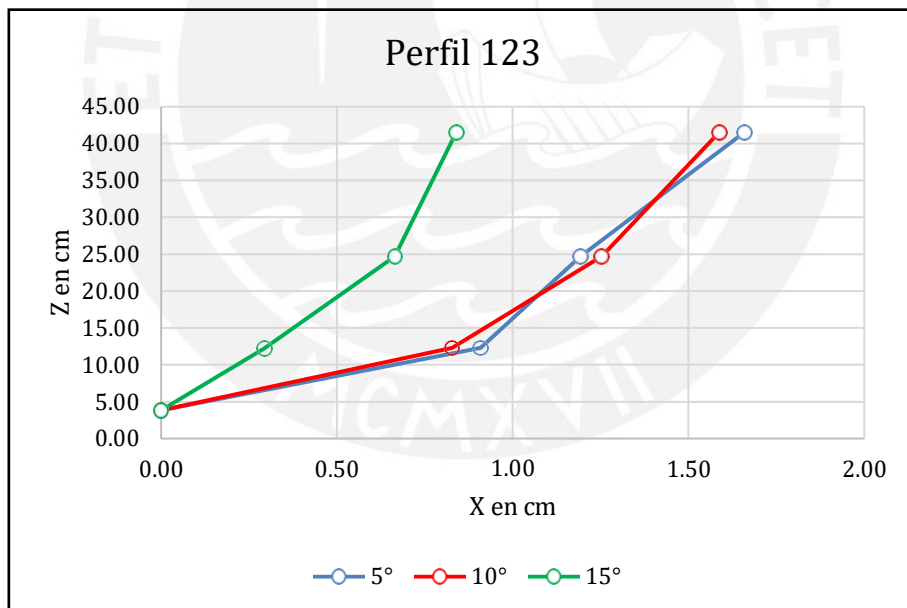


Figura 54. Gráfico de deformaciones en el perfil 123 del muro con arriostres

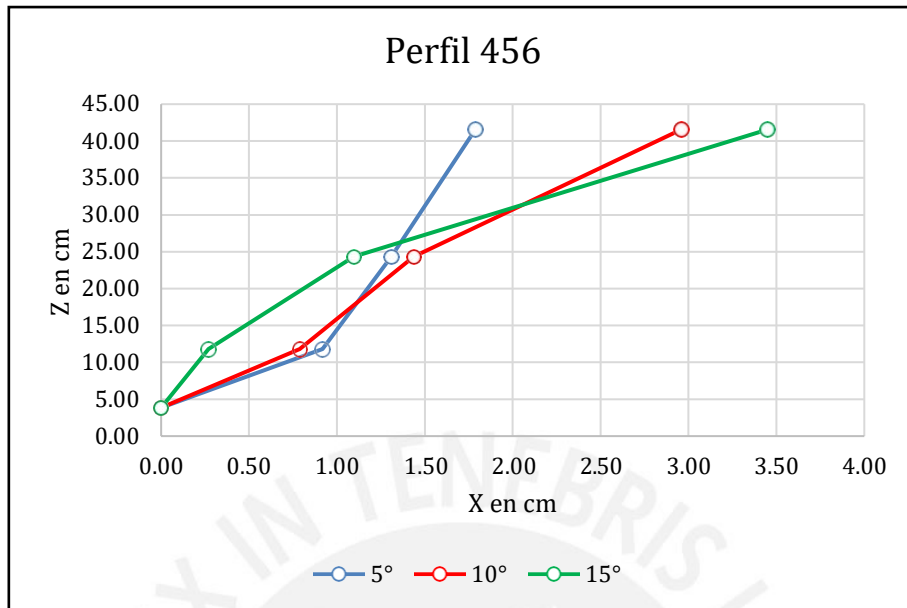


Figura 55. Gráfico de deformaciones en el perfil 456 del muro con arriostres

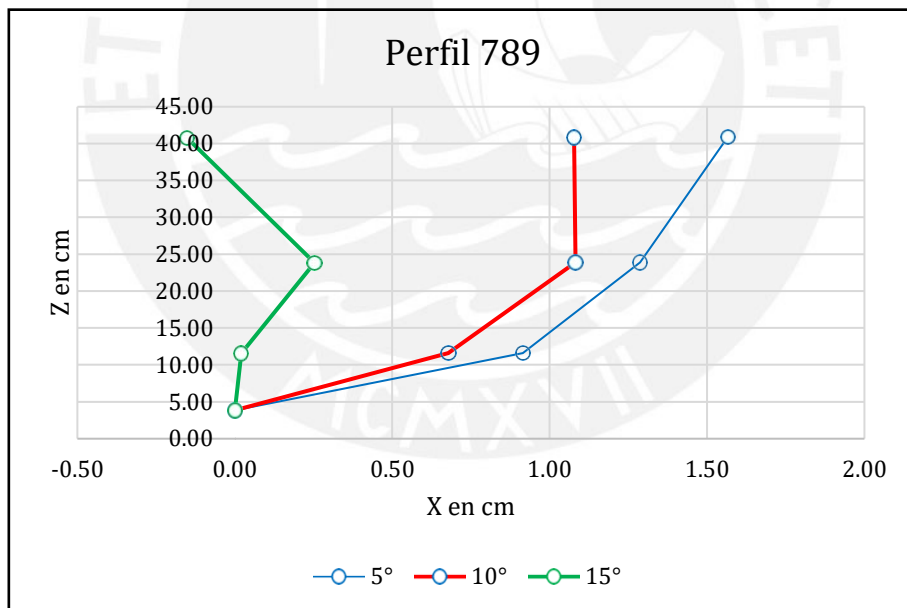


Figura 56. Gráfico de deformaciones en el perfil 789 del muro con arriostres

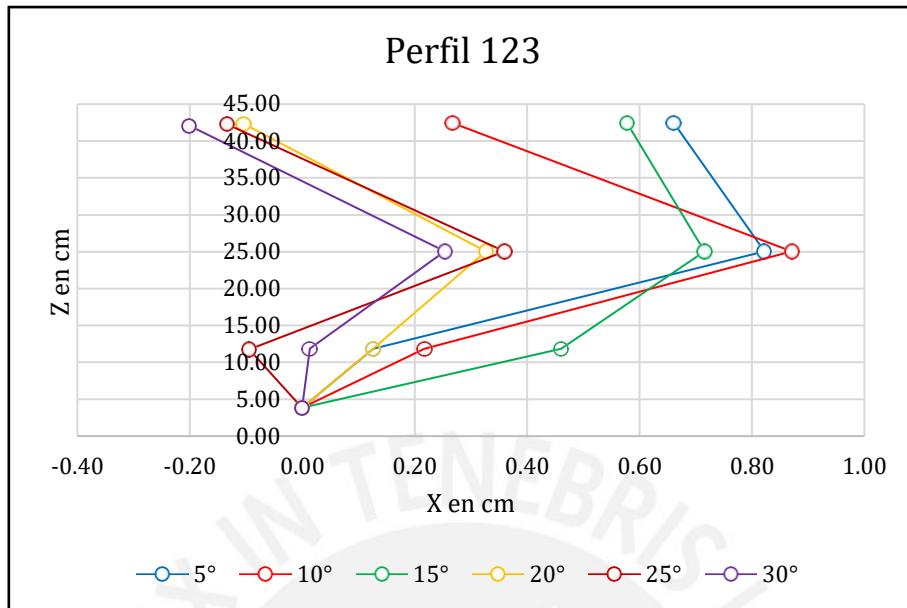


Figura 57. Gráfico de deformaciones en el perfil 123 del muro con tarrajeo

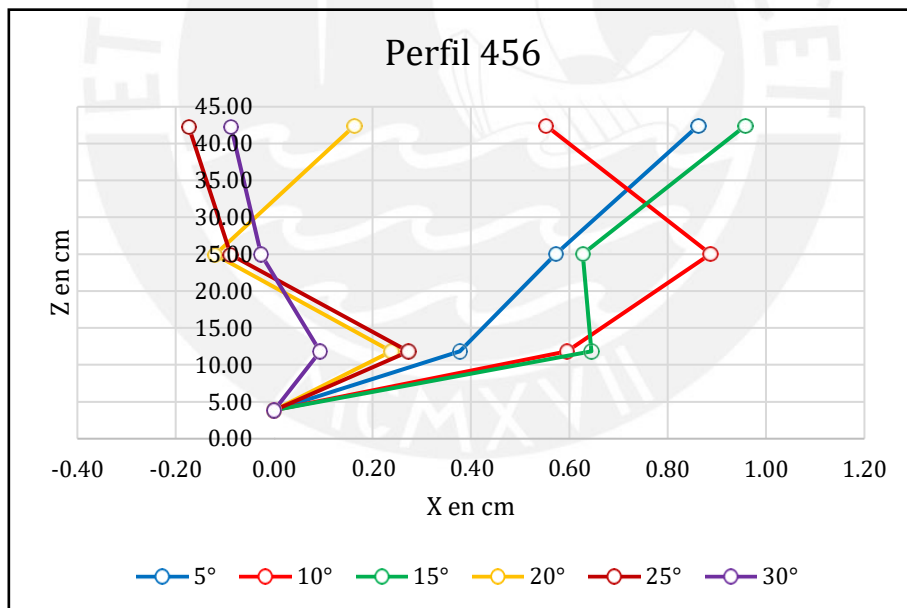


Figura 58. Gráfico de deformaciones en el perfil 456 del muro con tarrajeo

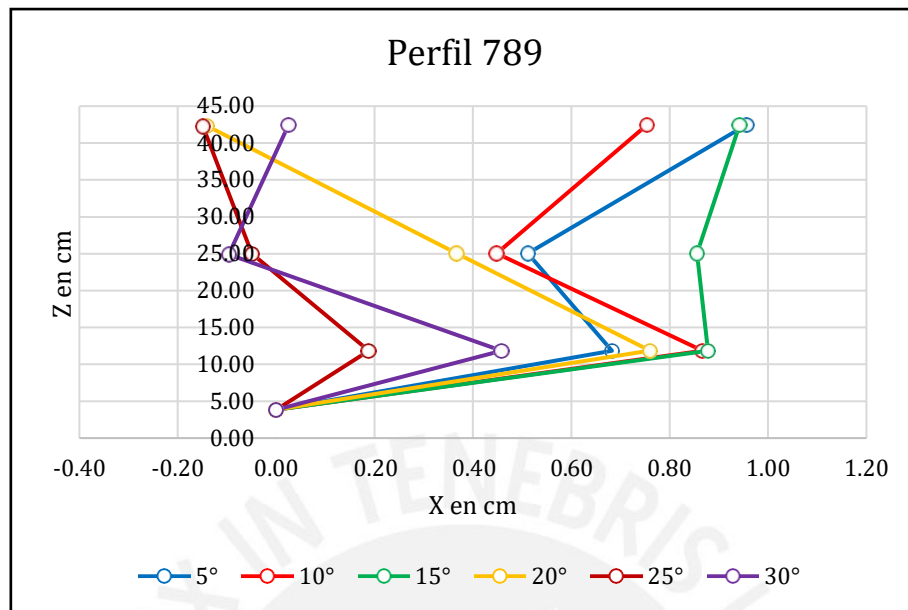


Figura 59. Gráfico de deformaciones en el perfil 789 del muro con tarrajeo

Asimismo, se presentan las tablas 28, 29 y 30; en las que se resumen los datos calculados.

Tabla 28. Desplazamientos en muros con bloques irregulares sin arriostre

Ensayo de muro con bloques irregulares (sin arriostre)			
Ángulo inminente de falla	Fuerza límite		Fuerza límite
	N	(Kgf)	% Peso
10	238.10	(24.27)	17.4
Perfil 123			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
1	2.15	37.71	5.69
2	1.13	20.86	5.40
3	0.70	8.47	8.21
Perfil 456			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
4	2.32	37.72	6.15
5	1.53	20.48	7.47
6	0.82	7.96	10.34
Perfil 789			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
7	2.21	37.09	5.95
8	0.78	20.02	3.89
9	-0.04	7.73	-0.55

Tabla 29. Desplazamientos en muros con bloques irregulares con arriostre

Ensayo de muro con bloques irregulares (con arriostre)			
Ángulo inminente de falla	Fuerza límite		Fuerza límite
	N	(Kgf)	% Peso
15	354.88	(36.18)	25.9
Perfil 123			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
1	0.84	37.71	2.23
2	0.66	20.86	3.19
3	0.29	8.44	3.49
Perfil 456			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
4	3.45	37.72	9.15
5	1.10	20.48	5.36
6	0.27	7.95	3.39
Perfil 789			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
7	-0.15	36.95	-0.41
8	0.25	20.02	1.26
9	0.02	7.73	0.26

Tabla 30. Desplazamientos en muros con bloques irregulares con tarrajeo

Ensayo de muro con bloques irregulares (con tarrajeo)			
Ángulo inminente de falla	Fuerza límite		Fuerza límite
	N	(Kgf)	% Peso
30	692.93	(70.64)	50.0
Perfil 123			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
1	-0.20	38.25	-0.53
2	0.25	21.20	1.20
3	0.01	8.00	0.17
Perfil 456			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
4	-0.09	38.45	-0.23
5	-0.03	21.15	-0.12
6	0.09	8.00	1.17

Perfil 789			
Puntos	Desplazamientos	Altura	Distorsión
	(D) cm	(H) cm	(D/H) %
7	0.02	38.60	0.06
8	-0.10	21.03	-0.46
9	0.46	8.00	5.73

6.3 Comentarios sobre de los resultados obtenidos

En las tablas resumen mostradas, los desplazamientos mostrados vienen a ser el promedio de los tres ensayos realizados. En el caso del muro con tarrajeo, se tomó los valores directamente.

Cabe mencionar que para el ensayo con arriostre, se puede asumir que los bordes laterales eran muy “rígidos”. El arriostre hizo un efecto de rigidización y tracción en sentido contrario a los desplazamientos esperados, por lo que sus desplazamientos van disminuyendo en el eje X positivo (incursionando en valores negativos).

En el caso del ensayo con tarrajeo, se comprueba que los puntos medidos se han desplazado en muy poca medida. Esto confirma el hecho de que un material conglomerante brinda gran rigidez a los muros de bloque de roca, en detrimento de su plasticidad.

Haciendo un paralelismo con los ensayos realizados por Restrepo (2009), es comparable su ensayo S2 en el mecanismo G (ver figura 60) con el los ensayos con muros de bloques irregulares en general. Los tipos de falla son bien similares (ver figuras 37 y 38), por lo que se puede inferir que el efecto de trabazón en los bordes y el presfuerzo de las soguillas (arriostres) trabajan de modo similar a una esquina de un aparejo de bloques regulares. Asimismo, la fuerza máxima del espécimen de Restrepo (2009) es 22.6% del peso propio. Este valor comparado con los obtenidos en los ensayos realizados (ver tablas 25 y 26) es menor; especulándose que es a causa de la esbeltez de los especímenes.

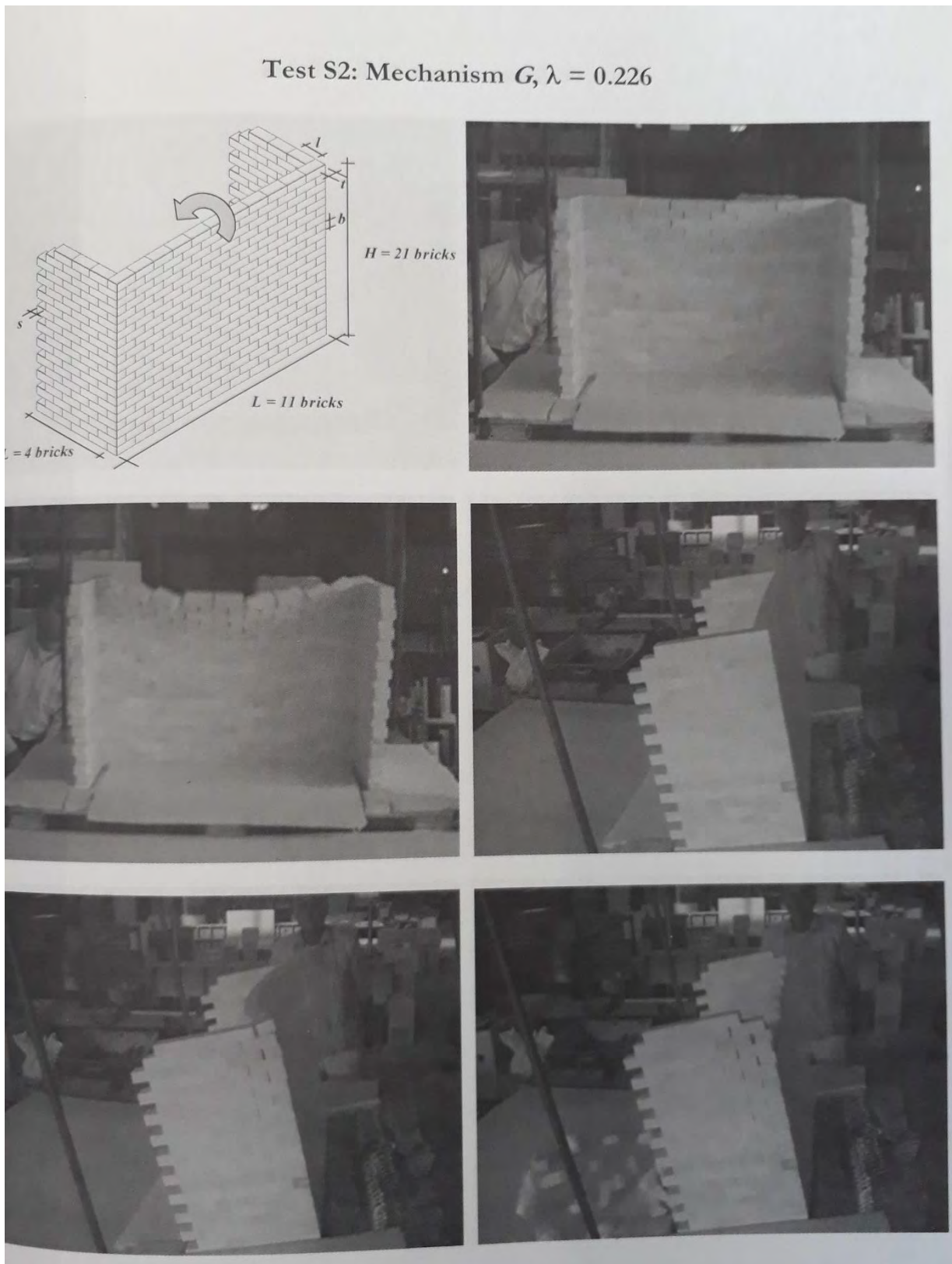


Figura 60. Ensayo S2 en el mecanismo G, con bloques regulares (Restrepo, 2009)

7. CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se logra evaluar experimentalmente el desempeño de muros de piedra de junta seca frente a cargas laterales estáticas perpendiculares a su plano, mediante el uso de especímenes a escala reducida; siempre que las magnitudes que los afecten sean controladas por su respectivo factor de escala (producto de un análisis dimensional previo). En caso se coloquen condiciones de borde no controladas por los factores de escala, los resultados serán sólo inductivos. De cumplirse las condiciones necesarias, se podrán realizar experimentos previos o explorativos antes de los ensayos a escala natural, a un bajo costo y en un corto plazo.

Es de suma importancia tener equipos calibrados para la medición de los ángulos horizontales y verticales. Asimismo, estas mediciones deben realizarse con sumo cuidado, ya que pequeñas inexactitudes en las mediciones afectan notablemente a las dimensiones a calcular (especialmente en este caso que se tiene especímenes a escala reducida). Para el caso de las mediciones de deformaciones, se recomienda tener suficientes puntos de referencia (bordes de espécimen, aristas de los tableros, alturas de los topes, etc.), de modo que sea más sencillo trabajar la data y reducir el margen de error.

Los muros con piezas regulares tienen fuerzas máximas muy similares. Estas fuerzas dependen casi enteramente de la geometría de la sección y del coeficiente de fricción del material utilizado. Además, la falla es súbita y por corte, lo que denota un comportamiento poco seguro, ya que no da aviso de su instante de falla (no se presentan desplazamientos relativos significantes entre sus piezas).

Por otro lado, los muros con piezas irregulares tienen menores fuerzas máximas. Estas fuerzas dependen también de geometría de la sección y del coeficiente de fricción de la roca utilizada. Asimismo, en estos muros se presenta el efecto de trabazón, el cual permite notables desplazamientos relativos entre las piezas. La falla es paulatina y por volteo, lo que denota un comportamiento más seguro, ya que da aviso de su instante de falla (se presentan deformaciones relativas significantes entre sus piezas).

Las condiciones de borde en los muros de junta seca alteran el desempeño de estos ante cargas perpendiculares a su plano. La aplicación de tarrajeo al muro de bloques irregulares consigue un aumento de rigidez y resistencia, pero los desplazamientos entre bloques son mínimos y la falla es súbita. El uso de arriostres en los bordes de los muros de bloques irregulares aumenta la resistencia y permite una mayor distorsión en el centro del muro respecto a los muros sin arriostres. Este arriostre, al trabajar como un presfuerzo, denota una interesante propuesta de refuerzo para pircas a evaluar en futuros proyectos.

Si bien las pircas han venido comportándose moderadamente bien a lo largo de esta última década, en la ciudad de Lima aún se mantiene el silencio sísmico; siendo la probabilidad de un movimiento telúrico de gran magnitud en el corto plazo aún latente. Queda pendiente entonces seguir investigando acerca de las pircas y construcciones afines, de modo que pueda generarse más evidencia de la vulnerabilidad y comportamiento ante sismos. Con esto se buscará mayor apoyo de los gobiernos locales y de los mismos vecinos, para poder generar planes de contingencia más acertados para antes, durante y después de un gran terremoto.



8. REFERENCIAS

- Bishop, A. W. (1955). The use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes. *Géotechnique*, 5(1), 7–17. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- Blondet, M., Vargas, J., Tarque, N., & Iwaki, C. (2011). Construcción sismorresistente en tierra: la gran experiencia contemporánea de la Pontificia Universidad Católica del Perú. *Informes de La Construcción*, 63(523), 41–50. <https://doi.org/10.3989/ic.10.017>
- British Geological Survey [British Geological Survey]. (2013, Julio 11). Slope or retaining wall failure: geohazard tank model [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=fYjldsJXE5k>
- Centro de Estudios y Prevención de Desastres - PREDES. (2011). Gestión del riesgo de desastres ante terremotos en Villa María del Triunfo: medidas de mitigación y preparativos ante emergencias. Recuperado de <http://bypad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2134/doc2134.htm>
- Chereque Morán, W. (n.d.). *Mecánica de fluidos : 1 y 2*. [recurso electrónico]. Lima : s.n., [1987-1993]. Retrieved from <http://ezproxybib.pucp.edu.pe:2048/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=cat02225a&AN=pucp.489317&lang=es&site=eds-live&scope=site>
- De Los Rios De La Roca, Dora Patricia (2008). Estudio semi empírico de muros de piedra tipo pirca utilizados como cimentación de viviendas en AA. HH. De lima metropolitana (tesis de pregrado). Universidad Ricardo Palma, Perú.
- desco [programaurbanodesco]. (2010, Diciembre 16). Construcción de Pircas con asistencia técnica [Archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=YitImM7HIqw>
- Fukumoto, Y., Yoshida, J., Sakaguchi, H., & Murakami, A. (2014). The effects of block shape on the seismic behavior of dry-stone masonry retaining walls: A numerical investigation by discrete element modeling. *Soils and Foundations*, 54(6), 1117–1126. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2014.11.007>
- García-Naranjo, M. E. (2015) 4. ANALISIS DIMENSIONAL, PARAMETROS ADIMENSIONALES Y SEMEJANZA. Extraído el 18 de Diciembre de 2018 desde Diapositivas de clase
- INSTITUTO GEOLÓGICO, MINERO Y METALÚRGICO (2018). MAPA GEOLÓGICO DEL PERÚ
- Jorge Paredes Laos (2016). Vivir en las alturas. El Comercio. Recuperado de <https://elcomercio.pe/eldominical/actualidad/vivir-alturas-392960>

McCombie, P. F., Mundell, C., Heath, A., & Walker, P. (2012). Drystone retaining walls: Ductile engineering structures with tensile strength. *Engineering Structures*, 45, 238–243. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2012.06.046>

Ministerio de vivienda, construcción y saneamiento, Norma E.010 de Madera, Lima: El Peruano, 2006.

Miyashiro, J. (2009). Vulnerabilidad físico habitacional: Tarea de todos ¿Responsabilidad de alguien?

Mundell, C., McCombie, P., Heath, A., & Harkness, J. (2008). Large scale testing of drystone retaining walls, 781–787.

Restrepo, V. L. F., Magenes, G., Centre for Post-Graduate Training and Research in Earthquake Engineering and Engineering Seismology., & Istituto Universitario di Studi Superiori di Pavia. (2009). Static tests on dry stack stone masonry and evaluation of static collapse multipliers: A report for the DPC--Reluis 2005-2008 Framework Project. Pavia: IUSS Press.

Rivas Sánchez, Gram Ysair (2019). Diseño de equipo para ensayos de pircas ante cargas laterales estáticas (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

Santa Cruz S., Valderrama N., Daudon D. (2018). PROYECTO SUBVENCIÓN N° 109-2017-FONDECYT - PROYECTO “validación de técnicas de construcción de pircas mediante estudios numérico experimentales con tecnología desarrollada en Perú” - Informe de caracterización de las propiedades físicas y mecánicas de pircas en una zona de laderas en el distrito de Carabaylo

Tavera, H. (2001). Peligro sísmico en Lima y el país, *Prevención*, (14), 30-35. Recuperado de <http://repositorio.igp.gob.pe/handle/IGP/832>

Thornton, S. T., & Marion, J. B. (2004). *Classical dynamics of particles and systems*. Southbank, Vic: Thomson, Brooks/Cole.

T.T. Bui, A. Limam, V. Sarhosis, M. Hjiiaj (2017). Discrete element modelling of the in-plane and out-of-plane behaviour of dry-joint masonry wall constructions. *Engineering Structures*, , 136, pp.277--294. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.01.020>

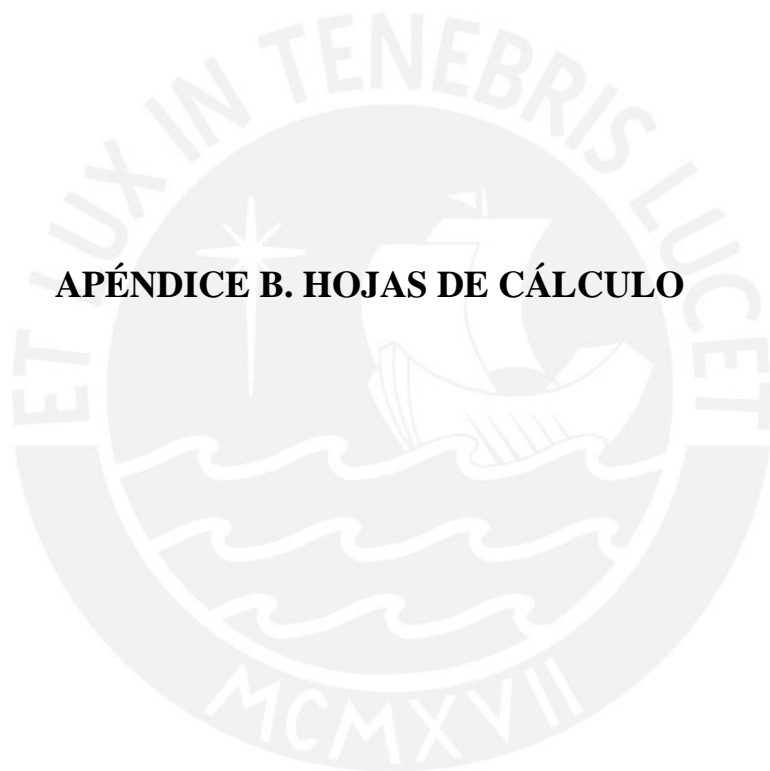
Villemus, B., Morel, J. C., & Boutin, C. (2007). Experimental assessment of dry stone retaining wall stability on a rigid foundation. *Engineering Structures*, 29(9), 2124–2132. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2006.11.007>

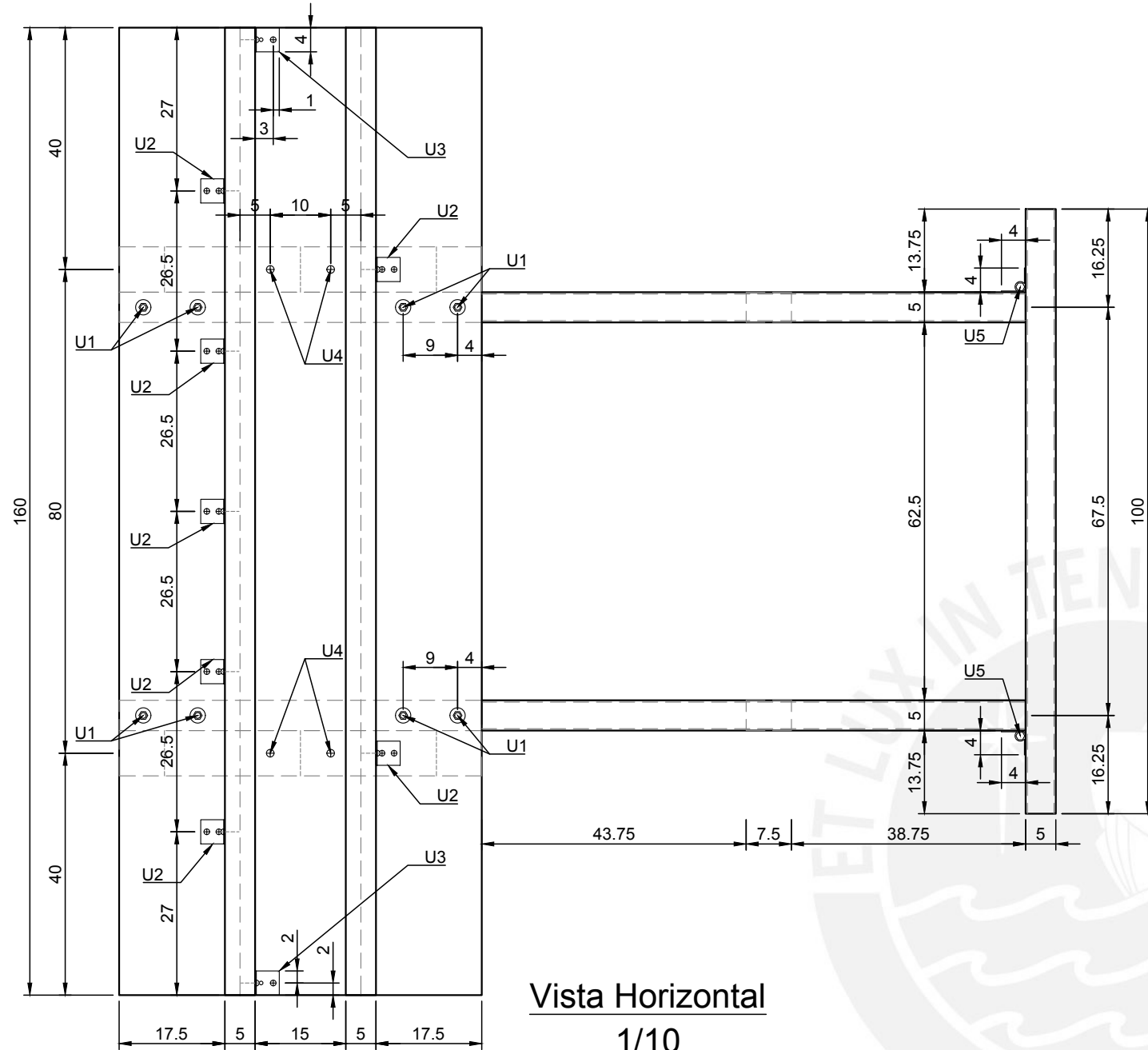
Vincens, E., Plassiard, J.-P., & Fry, J. J. (2016). *Dry stone retaining structures: DEM modeling*. Oxford: Elsevier.

Zanelli Flores, Criss Talita (2019). Evaluación de vulnerabilidad sísmica de pircas mediante modelación numérica en elementos discretos: Aplicación al caso de las pircas en Carabaylo, Lima (tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú. Perú.

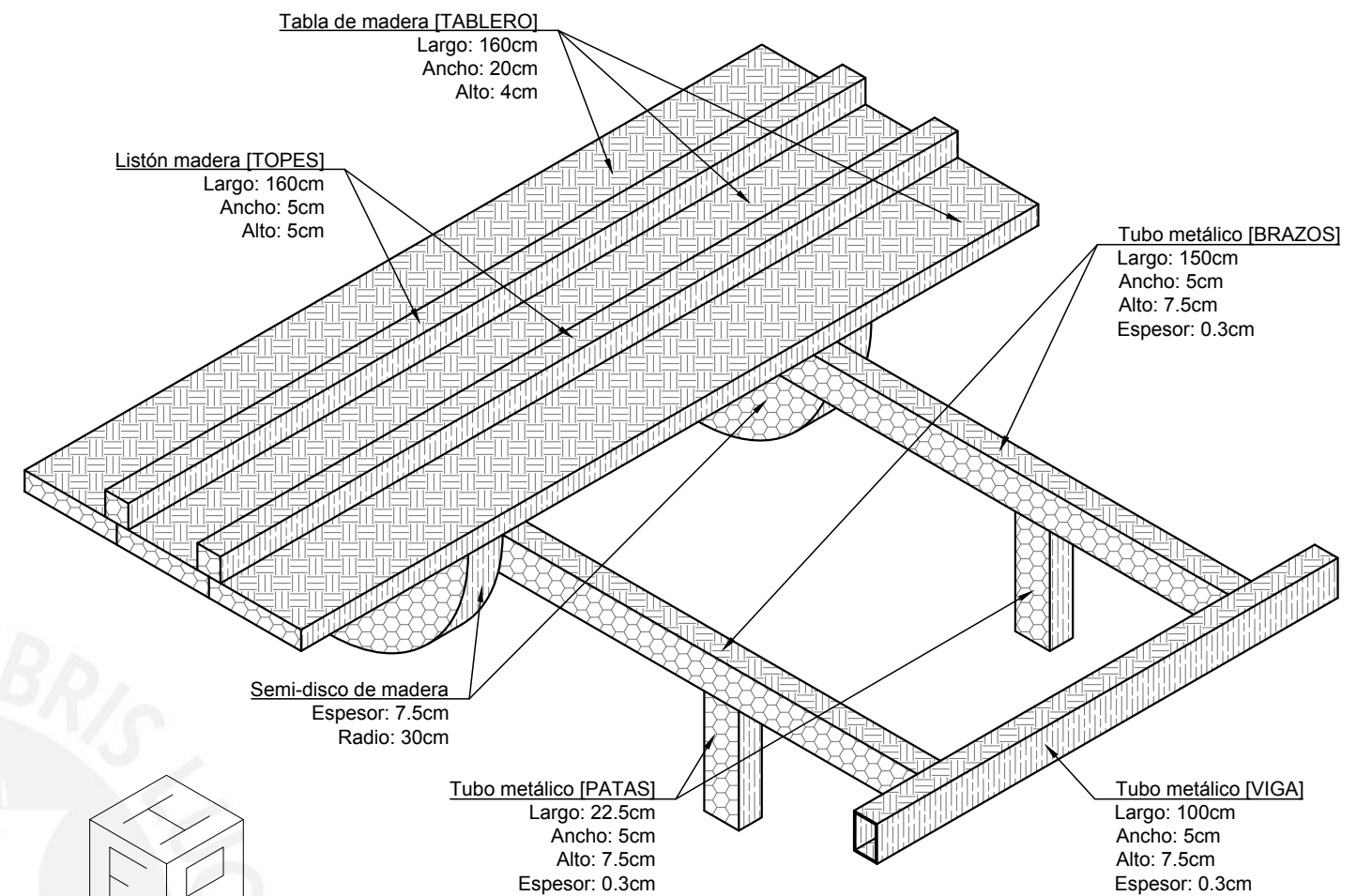
APÉNDICE A. PLANOS

APÉNDICE B. HOJAS DE CÁLCULO



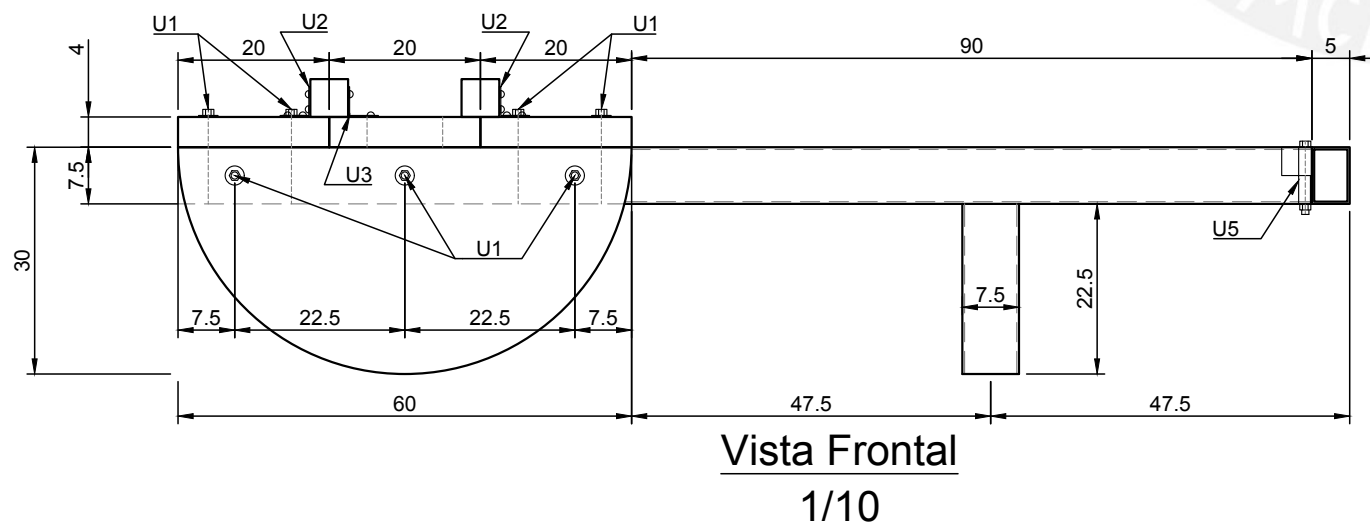


Vista Horizontal
1/10

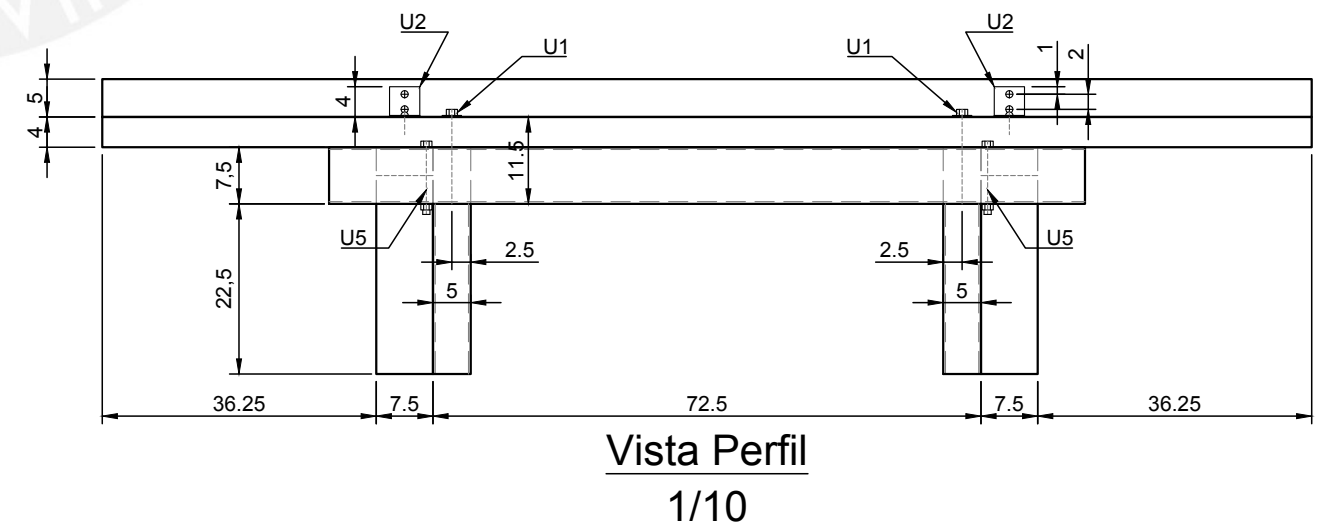


Vista esquemática isométrica
S/E

- NOTAS:
 U1: perno s/cabeza Ø3/8" + tuercas & arandelas
 U2: ángulo e=2mm + 4 tornillos 4mmx25mm
 U3: ángulo e=2mm + 2 tornillos 4mmx25mm
 U4: tornillo autoperforante 6mmx80mm
 U5: bisagra e=2mm + perno Ø3/8"x3-1/2" + tuerca
 - Cotas en centímetros



Vista Frontal
1/10



Vista Perfil
1/10

Dibujado por:
Julio César Alcántara Cornejo

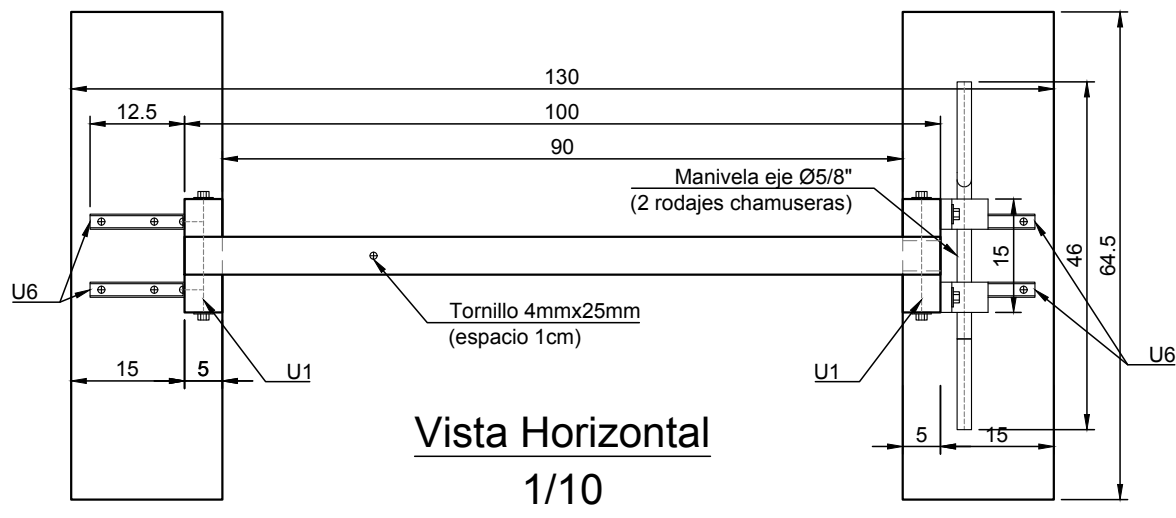
Tesis:
Evaluación experimental del desempeño de muros de contención de piedra de junta seca usando especímenes a escala reducida

Plano:
E-01

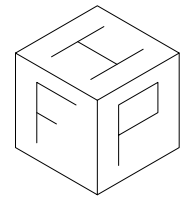
Revisado por:
Dra. Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo

Capítulo:
Diseño y construcción de equipo (IV)

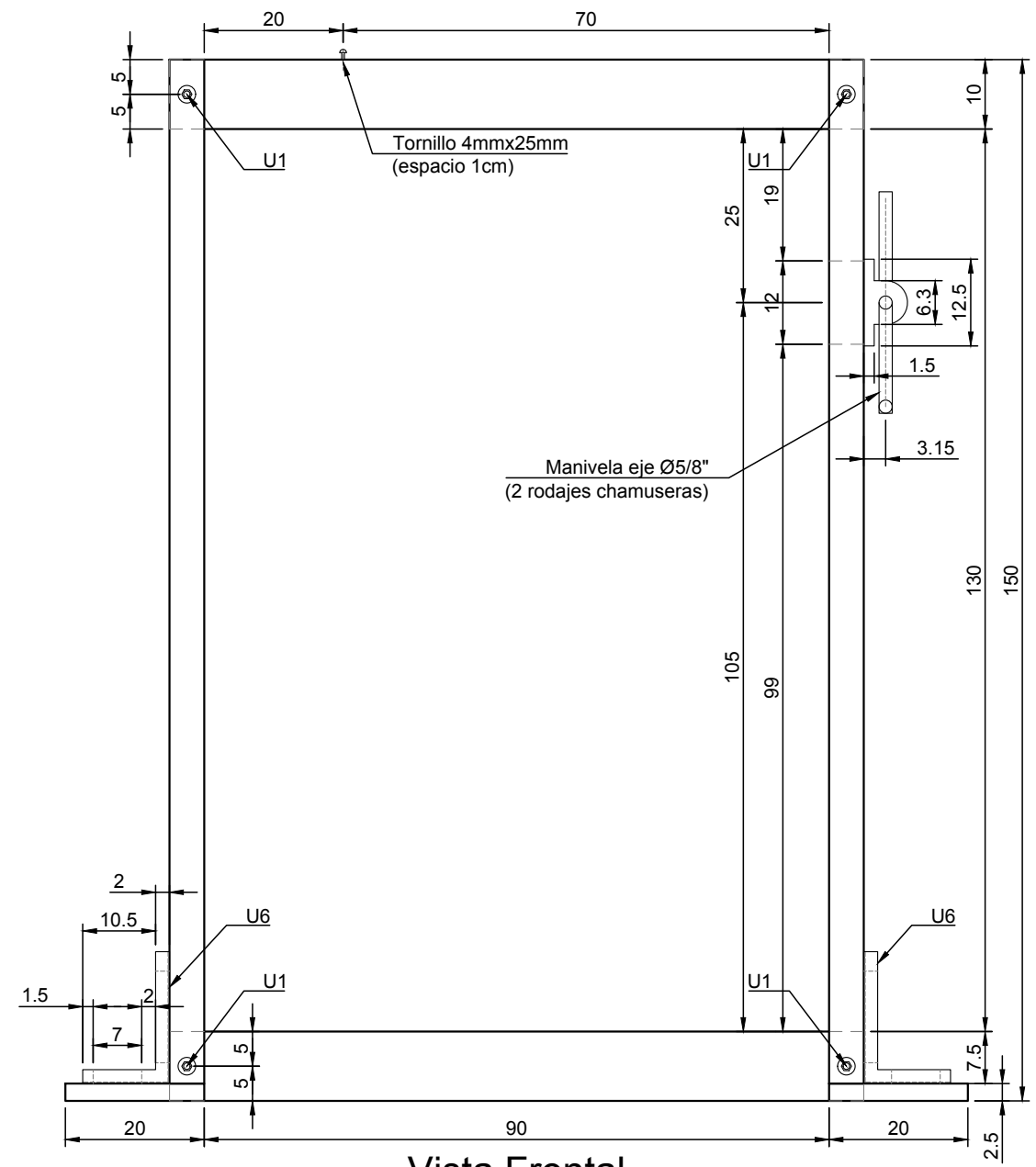
Título:
Máquina de ensayos - piezas



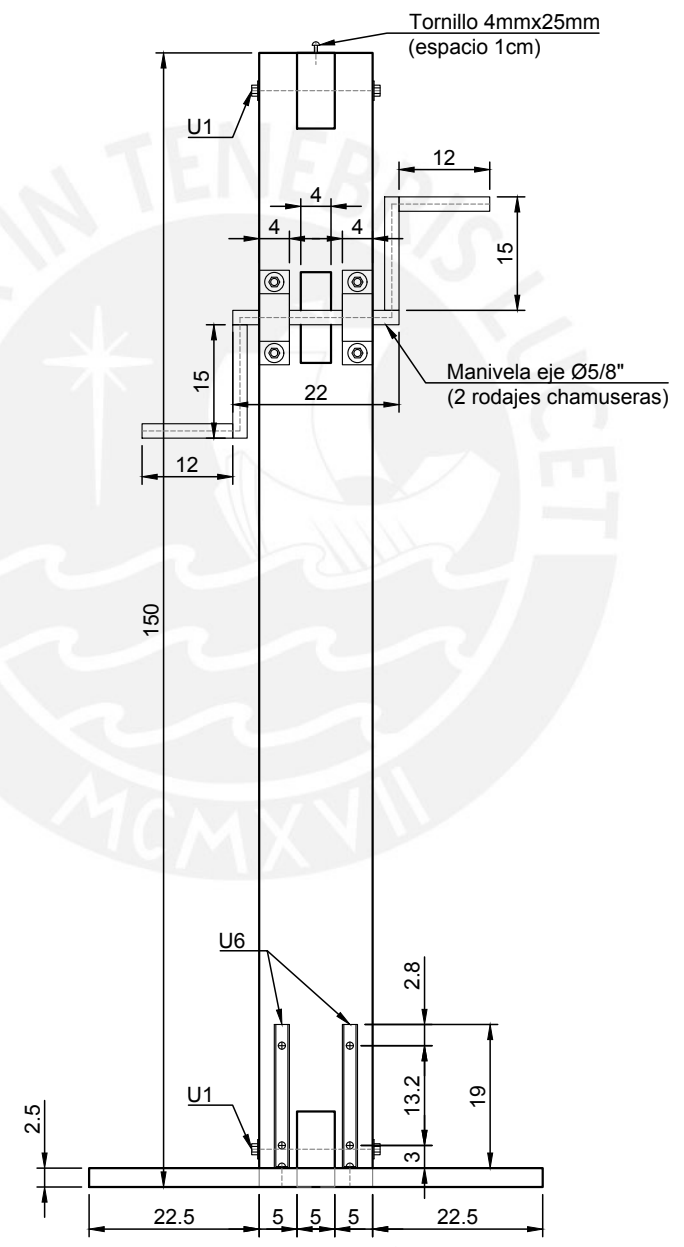
Vista Horizontal
1/10



NOTAS:
U1: perno s/cabeza Ø3/8" + tuercas & arandelas
U6: ángulo e=2mm + 4 tornillos 4mmx25mm
-- Cotas en centímetros



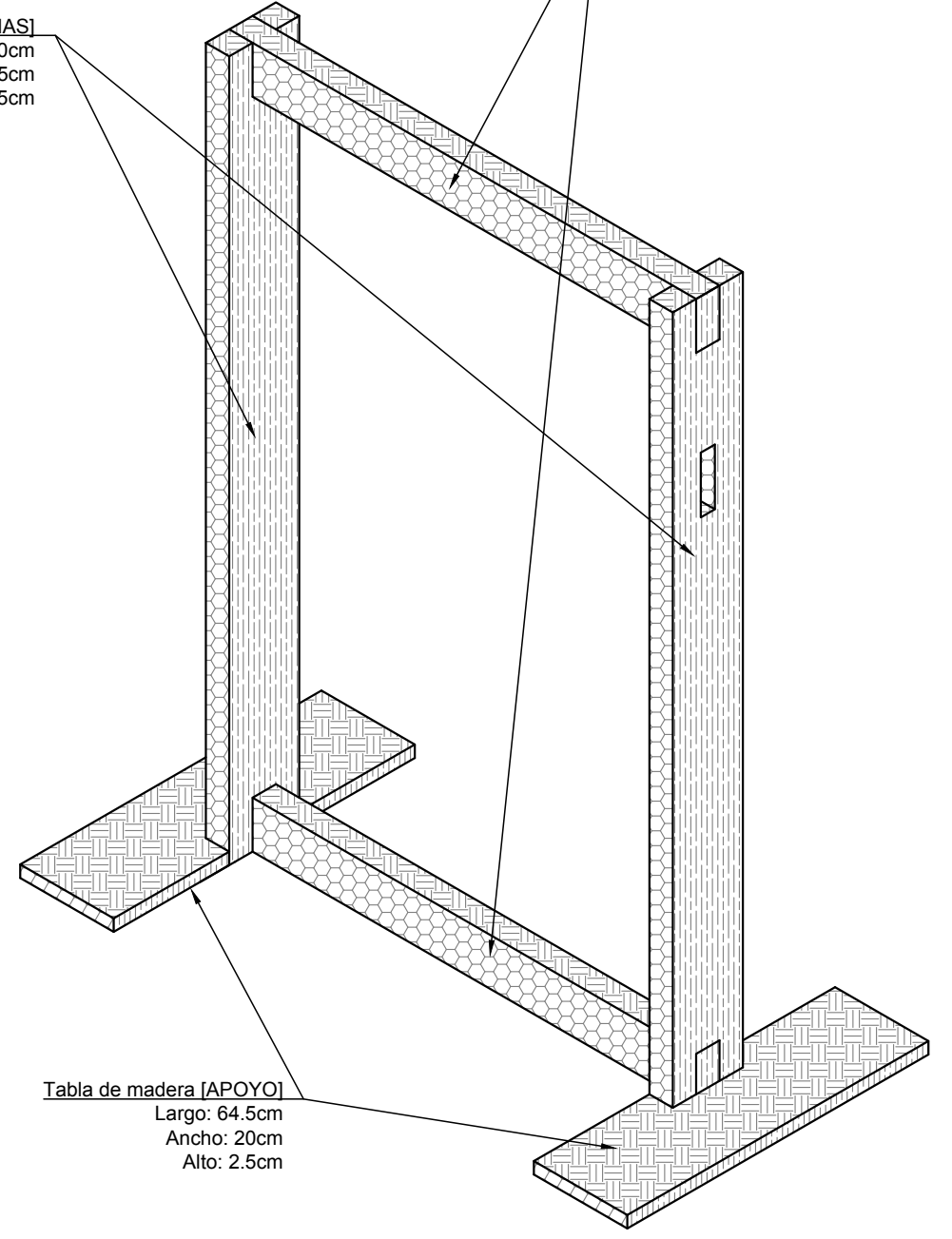
Vista Frontal
1/10



Vista Perfil
1/10

Listón madera [COLUMNAS]
Largo: 150cm
Ancho: 15cm
Alto: 5cm

Listón madera [VIGAS]
Largo: 100cm
Ancho: 5cm
Alto: 10cm



Vista esquemática isométrica
S/E

Dibujado por:
Julio César Alcántara Cornejo

Tesis:
Evaluación experimental del desempeño de muros de contención de piedra de junta seca usando especímenes a escala reducida

Plano:
E-02

Revisado por:
Dra. Sandra Cecilia Santa Cruz Hidalgo

Capítulo:
Diseño y construcción de equipo (IV)

Título:
Grúa pórtico - piezas

1er Ensayo - muro s/ arriostre										
Puntos de referencia		0°			5°			10°		
		°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	H	96	17	52	95	41	22	94	59	7
2	H	96	6	1	95	39	15	95	12	28
3	H	95	49	28	95	29	39	95	10	13
4	H	104	33	3	104	1	18	103	29	38
5	H	104	30	5	104	4	35	103	42	51
6	H	104	23	38	104	8	32	103	49	22
7	H	112	42	3	112	11	51	111	51	56
8	H	112	42	24	112	24	58	112	12	42
9	H	112	34	6	112	24	47	112	12	37

2do Ensayo - muro s/ arriostre										
Puntos de referencia		0°			5°			10°		
		°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	H	96	13	27	95	35	20	95	4	23
2	H	96	5	59	95	41	45	95	15	17
3	H	95	44	16	95	22	56	95	6	43
4	H	104	36	17	104	7	29	103	32	50
5	H	104	32	28	104	9	30	103	46	54
6	H	104	14	2	103	57	0	103	40	35
7	H	112	34	57	112	9	45	111	46	57
8	H	112	44	9	112	31	25	112	15	43
9	H	112	36	51	112	22	10	112	13	53

3er Ensayo - muro s/ arriostre										
Puntos de referencia		0°			5°			10°		
		°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	H	96	22	15	95	46	49	95	6	5
2	H	96	13	54	95	47	12	95	15	57
3	H	95	43	38	95	21	34	94	57	29
4	H	104	37	22	104	4	44	103	34	10
5	H	104	36	29	104	10	15	103	48	47
6	H	104	12	9	103	54	52	103	35	54
7	H	112	30	45	112	10	54	111	50	51
8	H	112	47	57	112	33	28	112	11	32
9	H	112	32	2	112	20	57	112	9	3

1er Ensayo - muro s/ arriostre										
Puntos de referencia		0°			5°			10°		
		°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	V	100	25	0	100	39	51	101	7	19
2	V	102	47	48	103	5	21	103	19	37
3	V	104	35	39	104	48	48	105	2	28
4	V	101	12	31	101	35	59	102	3	15
5	V	103	53	35	104	14	40	104	35	58
6	V	105	51	16	106	6	45	106	26	33
7	V	101	50	48	102	30	37	103	1	21
8	V	104	36	14	105	3	54	105	26	33
9	V	106	47	30	107	9	25	107	26	10

2do Ensayo - muro s/ arriostre										
Puntos de referencia		0°			5°			10°		
		°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	V	100	24	46	100	39	22	100	55	41
2	V	102	46	34	103	5	24	103	21	22
3	V	104	34	59	104	51	38	105	3	18
4	V	101	8	58	101	26	43	101	54	47
5	V	103	51	14	104	11	33	104	27	29
6	V	105	50	54	106	7	38	106	25	55
7	V	101	56	16	102	18	58	102	59	20
8	V	104	41	55	105	3	31	105	29	0
9	V	106	45	55	107	8	13	107	25	3

3er Ensayo - muro s/ arriostre										
Puntos de referencia		0°			5°			10°		
		°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	V	100	21	48	100	37	41	100	56	37
2	V	102	50	0	103	4	10	103	21	56
3	V	104	34	42	104	50	7	105	11	44
4	V	101	7	4	101	21	5	101	49	56
5	V	103	51	28	104	9	20	104	32	26
6	V	105	52	56	106	8	22	106	32	13
7	V	101	44	40	102	5	18	102	33	26
8	V	104	35	20	104	52	3	105	18	24
9	V	106	49	57	107	10	39	107	29	31

Punto referencial		0°			0°
		°	'	"	
A	H	91	30	58	91.516

1er Ensayo - muro s/ arriostre						
Puntos de referencia	0°		5°		10°	
	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i
1	4.782	10.417	4.173	10.664	3.469	11.122
2	4.584	12.797	4.138	13.089	3.692	13.327
3	4.308	14.594	3.978	14.813	3.654	15.041
4	13.035	11.209	12.506	11.600	11.978	12.054
5	12.985	13.893	12.560	14.244	12.198	14.599
6	12.878	15.854	12.626	16.113	12.307	16.443
7	21.185	11.847	20.681	12.510	20.349	13.023
8	21.191	14.604	20.900	15.065	20.696	15.443
9	21.052	16.792	20.897	17.157	20.694	17.436

2do Ensayo - muro s/ arriostre						
Puntos de referencia	0°		5°		10°	
	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i
1	4.708	10.413	4.073	10.656	3.557	10.928
2	4.584	12.776	4.180	13.090	3.739	13.356
3	4.222	14.583	3.866	14.861	3.596	15.055
4	13.089	11.149	12.609	11.445	12.031	11.913
5	13.025	13.854	12.642	14.193	12.266	14.458
6	12.718	15.848	12.434	16.127	12.160	16.432
7	21.066	11.938	20.646	12.316	20.266	12.989
8	21.220	14.699	21.008	15.059	20.746	15.483
9	21.098	16.765	20.853	17.137	20.715	17.418

3er Ensayo - muro s/ arriostre						
Puntos de referencia	0°		5°		10°	
	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i
1	4.855	10.363	4.264	10.628	3.585	10.944
2	4.716	12.833	4.271	13.069	3.750	13.366
3	4.211	14.578	3.843	14.835	3.442	15.196
4	13.107	11.118	12.563	11.351	12.053	11.832
5	13.092	13.858	12.655	14.156	12.297	14.541
6	12.686	15.882	12.398	16.139	12.082	16.537
7	20.996	11.744	20.666	12.088	20.331	12.557
8	21.283	14.589	21.042	14.868	20.676	15.307
9	21.018	16.833	20.833	17.178	20.635	17.492

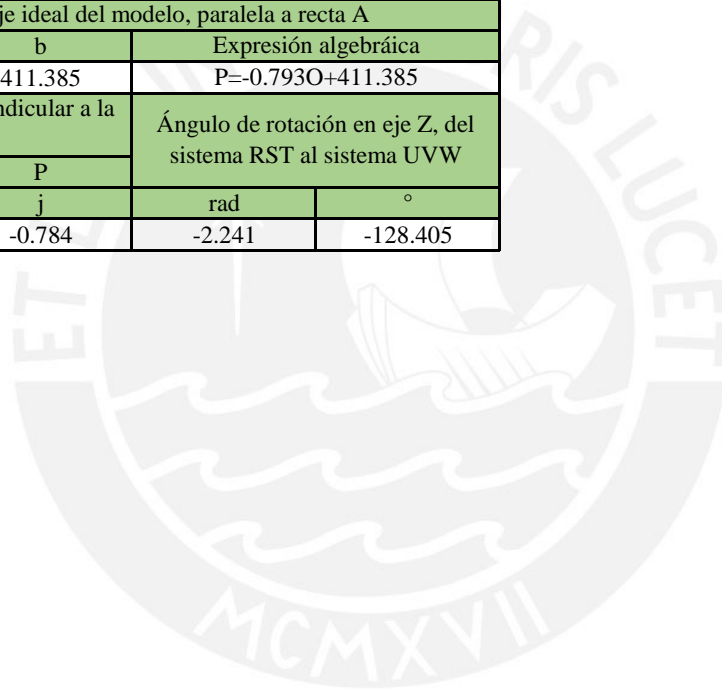
Hteodolito
cm
141.6

1er Ensayo - muro s/ arriostre				
Puntos de referencia	Qo	Dop	Oo	Po
	cm	cm	cm	cm
1	71.56	380.99	31.76	379.67
2	54.71	382.55	30.57	381.33
3	42.32	381.30	28.64	380.22
4	71.57	353.40	79.71	344.29
5	54.33	352.83	79.28	343.80
6	41.81	351.38	78.31	342.54
7	70.94	336.86	121.73	314.09
8	53.90	336.59	121.67	313.83
9	41.62	331.32	119.02	309.21

2do Ensayo - muro s/ arriostre				
Puntos de referencia	Qo	Dop	Oo	Po
	cm	cm	cm	cm
1	71.56	381.14	31.28	379.85
2	54.71	383.19	30.62	381.96
3	42.32	381.60	28.09	380.57
4	71.57	355.32	80.47	346.09
5	54.33	353.86	79.75	344.76
6	41.81	351.52	77.39	342.89
7	70.94	334.21	120.13	311.88
8	53.90	334.33	121.01	311.66
9	41.62	331.88	119.46	309.63

3er Ensayo - muro s/ arriostre				
Puntos de referencia	Qo	Dop	Oo	Po
	cm	cm	cm	cm
1	71.56	383.00	32.41	381.62
2	54.71	381.42	31.36	380.13
3	42.32	381.73	28.03	380.70
4	71.57	356.36	80.81	347.08
5	54.33	353.76	80.13	344.56
6	41.81	350.73	77.03	342.17
7	70.94	339.88	121.78	317.31
8	53.90	336.95	122.31	313.97
9	41.62	330.47	118.53	308.49

Ensayo - muro s/arriostre			
Puntos de Referencia para eje de recta A			
Punto 1		Punto 2	
O	P	O	P
m	m	m	m
28.03	380.22	118.53	308.49
Vector unitario paralelo a la recta A		Ángulo de vector unitario respecto al eje O	
O	P		
i	j	rad	°
0.784	-0.621	-0.670	-38.405
Recta A: borde ideal del interior del tope			
m	b	Expresión algebraica	
-0.793	402.452	$P=-0.793O+402.452$	
Punto de recta A en eje P		Punto de recta B en eje P	
O	P	O	P
m	m	m	m
0.00	402.45	0.00	411.38
Recta B: eje ideal del modelo, paralela a recta A			
m	b	Expresión algebraica	
-0.793	411.385	$P=-0.793O+411.385$	
Vector unitario perpendicular a la recta B		Ángulo de rotación en eje Z, del sistema RST al sistema UVW	
O	P		
i	j	rad	°
-0.621	-0.784	-2.241	-128.405



1er Ensayo - muro s/ arriostre						
Puntos de referencia	Ro	So	To	Uo = Xo	Vo = Yo	Wo = Zo
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	31.76	-31.72	41.56	5.13	44.59	41.56
2	30.57	-30.06	24.71	4.56	42.63	24.71
3	28.64	-31.16	12.32	6.62	41.80	12.32
4	79.71	-67.09	41.57	3.06	104.14	41.57
5	79.28	-67.58	24.33	3.71	104.11	24.33
6	78.31	-68.85	11.81	5.30	104.14	11.81
7	121.73	-97.29	40.94	0.62	155.83	40.94
8	121.67	-97.55	23.90	0.86	155.94	23.90
9	119.02	-102.18	11.62	6.13	156.74	11.62

2do Ensayo - muro s/ arriostre						
Puntos de referencia	Ro	So	To	Uo = Xo	Vo = Yo	Wo = Zo
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	31.28	-31.53	41.56	5.28	44.10	41.56
2	30.62	-29.42	24.71	4.03	42.27	24.71
3	28.09	-30.82	12.32	6.70	41.16	12.32
4	80.47	-65.29	41.57	1.18	103.62	41.57
5	79.75	-66.63	24.33	2.67	103.89	24.33
6	77.39	-68.49	11.81	5.60	103.19	11.81
7	120.13	-99.51	40.94	3.35	155.96	40.94
8	121.01	-99.73	23.90	2.98	156.78	23.90
9	119.46	-101.76	11.62	5.53	156.83	11.62

3er Ensayo - muro s/ arriostre						
Puntos de referencia	Ro	So	To	Uo = Xo	Vo = Yo	Wo = Zo
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	32.41	-29.76	41.56	3.19	43.89	41.56
2	31.36	-31.26	24.71	5.01	43.99	24.71
3	28.03	-30.68	12.32	6.63	41.03	12.32
4	80.81	-64.31	41.57	0.19	103.27	41.57
5	80.13	-66.82	24.33	2.58	104.30	24.33
6	77.03	-69.22	11.81	6.39	103.36	11.81
7	121.78	-94.08	40.94	-1.93	153.87	40.94
8	122.31	-97.41	23.90	0.36	156.36	23.90
9	118.53	-102.90	11.62	7.01	156.80	11.62

1er Ensayo - muro s/arriostre			
Puntos de referencia	Rectas Ci: en dirección del movimiento de los puntos		
	mi	bi	Expresión algebraica
1	1.261	339.619	$P=1.261O+339.619$
2	1.261	342.772	$P=1.261O+342.772$
3	1.261	344.102	$P=1.261O+344.102$
4	1.261	243.783	$P=1.261O+243.783$
5	1.261	243.830	$P=1.261O+243.830$
6	1.261	243.787	$P=1.261O+243.787$
7	1.261	160.589	$P=1.261O+160.589$
8	1.261	160.409	$P=1.261O+160.409$
9	1.261	159.128	$P=1.261O+159.128$

2do Ensayo - muro s/ arriostre			
Puntos de referencia	Rectas Ci: en dirección del movimiento de los puntos		
	mi	bi	Expresión algebraica
1	1.261	340.405	$P=1.261O+340.405$
2	1.261	343.347	$P=1.261O+343.347$
3	1.261	345.145	$P=1.261O+345.145$
4	1.261	244.625	$P=1.261O+244.625$
5	1.261	244.191	$P=1.261O+244.191$
6	1.261	245.310	$P=1.261O+245.310$
7	1.261	160.389	$P=1.261O+160.389$
8	1.261	159.067	$P=1.261O+159.067$
9	1.261	158.985	$P=1.261O+158.985$

3er Ensayo - muro s/ arriostre			
Puntos de referencia	Rectas Ci: en dirección del movimiento de los puntos		
	mi	bi	Expresión algebraica
1	1.261	340.751	$P=1.261O+340.751$
2	1.261	340.589	$P=1.261O+340.589$
3	1.261	345.355	$P=1.261O+345.355$
4	1.261	245.176	$P=1.261O+245.176$
5	1.261	243.519	$P=1.261O+243.519$
6	1.261	245.037	$P=1.261O+245.037$
7	1.261	163.744	$P=1.261O+163.744$
8	1.261	159.745	$P=1.261O+159.745$
9	1.261	159.024	$P=1.261O+159.024$

Ángulo de inclinación		-5					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	11.35	44.59	40.96	27.89	-36.59	40.96	27.89
2	9.32	42.63	24.22	27.62	-33.78	24.22	27.62
3	10.29	41.80	11.70	26.37	-34.03	11.70	26.37
4	9.29	104.14	41.14	75.84	-71.97	41.14	75.84
5	8.43	104.11	23.91	76.35	-71.28	23.91	76.35
6	8.93	104.14	11.30	76.06	-71.69	11.30	76.06
7	6.80	155.83	40.73	117.89	-102.14	40.73	117.89
8	5.56	155.94	23.73	118.75	-101.23	23.73	118.75
9	9.74	156.74	11.04	116.78	-105.00	11.04	116.78

Ángulo de inclinación		-5					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	11.50	44.10	40.94	27.42	-36.41	40.94	27.42
2	8.79	42.27	24.26	27.67	-33.15	24.26	27.67
3	10.36	41.16	11.69	25.81	-33.69	11.69	25.81
4	7.42	103.62	41.31	76.59	-70.18	41.31	76.59
5	7.40	103.89	24.00	76.81	-70.33	24.00	76.81
6	9.22	103.19	11.28	75.13	-71.33	11.28	75.13
7	9.52	155.96	40.49	116.30	-104.35	40.49	116.30
8	7.67	156.78	23.55	118.09	-103.40	23.55	118.09
9	9.14	156.83	11.09	117.22	-104.58	11.09	117.22

Ángulo de inclinación		-5					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	9.41	43.89	41.12	28.54	-34.64	41.12	28.54
2	9.77	43.99	24.18	28.40	-34.98	24.18	28.40
3	10.30	41.03	11.70	25.75	-33.55	11.70	25.75
4	6.43	103.27	41.39	76.93	-69.20	41.39	76.93
5	7.31	104.30	24.01	77.19	-70.53	24.01	77.19
6	10.02	103.36	11.21	74.77	-72.06	11.21	74.77
7	4.26	153.87	40.95	117.93	-98.93	40.95	117.93
8	5.06	156.36	23.78	119.39	-101.09	23.78	119.39
9	10.61	156.80	10.97	116.29	-105.72	10.97	116.29

1

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
374.79	70.96	13.70	27.29	374.03	0.969	-0.085	70.87
377.60	54.22	13.82	27.29	377.18	0.535	-0.047	54.17
377.35	41.70	14.38	26.23	377.18	0.221	-0.019	41.68
339.41	71.14	4.51	75.06	338.44	1.241	-0.109	71.04
340.10	53.91	4.49	75.55	339.10	1.278	-0.112	53.80
339.70	41.30	4.46	76.11	339.76	0.080	-0.007	41.30
309.25	70.73	2.65	115.70	306.48	3.532	-0.309	70.42
310.15	53.73	2.62	118.14	309.39	0.974	-0.085	53.65
306.38	41.04	2.62	117.16	306.87	0.625	-0.055	40.99

2

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
374.98	70.94	14.04	26.63	373.98	1.271	-0.111	70.83
378.23	54.26	13.68	27.64	378.20	0.046	-0.004	54.26
377.70	41.69	14.80	25.50	377.30	0.510	-0.045	41.64
341.20	71.31	4.47	76.22	340.73	0.601	-0.053	71.26
341.05	54.00	4.46	76.37	340.50	0.709	-0.062	53.94
340.05	41.28	4.54	74.92	339.78	0.350	-0.031	41.25
307.04	70.49	2.65	115.14	305.59	1.854	-0.162	70.33
307.98	53.55	2.60	118.44	308.41	0.549	-0.048	53.50
306.80	41.09	2.63	116.54	305.95	1.089	-0.095	41.00

3

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
376.74	71.12	13.41	28.04	376.11	0.805	-0.070	71.05
376.41	54.18	13.39	28.08	375.99	0.526	-0.046	54.13
377.83	41.70	14.89	25.35	377.32	0.652	-0.057	41.64
342.19	71.39	4.49	75.99	341.00	1.517	-0.133	71.26
340.86	54.01	4.45	76.27	339.70	1.482	-0.130	53.88
339.33	41.21	4.55	74.53	339.02	0.398	-0.035	41.17
312.46	70.95	2.65	117.78	312.27	0.244	-0.021	70.93
310.29	53.78	2.60	119.35	310.25	0.055	-0.005	53.77
305.66	40.97	2.63	116.33	305.72	0.077	-0.007	40.96

er Ensayo - muro s/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
27.29	-37.35	40.87	12.31	44.59	40.87	6.10	44.59
27.29	-34.20	24.17	9.85	42.63	24.17	5.10	42.63
26.23	-34.21	11.68	10.51	41.80	11.68	6.85	41.80
75.06	-72.95	41.04	10.53	104.14	41.04	4.31	104.14
75.55	-72.29	23.80	9.71	104.11	23.80	4.99	104.11
76.11	-71.63	11.30	8.85	104.14	11.30	5.22	104.14
115.70	-104.90	40.42	10.33	155.83	40.42	4.16	155.83
118.14	-102.00	23.65	6.54	155.94	23.65	1.84	155.94
117.16	-104.51	10.99	9.12	156.74	10.99	5.52	156.74

do Ensayo - muro s/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
26.63	-37.40	40.83	12.77	44.10	40.83	6.55	44.10
27.64	-33.19	24.26	8.84	42.27	24.26	4.08	42.27
25.50	-34.09	11.64	10.87	41.16	11.64	7.21	41.16
76.22	-70.65	41.26	8.02	103.62	41.26	1.78	103.62
76.37	-70.89	23.94	8.11	103.89	23.94	3.38	103.89
74.92	-71.61	11.25	9.57	103.19	11.25	5.95	103.19
115.14	-105.80	40.33	11.38	155.96	40.33	5.21	155.96
118.44	-102.97	23.50	7.12	156.78	23.50	2.44	156.78
116.54	-105.44	11.00	10.23	156.83	11.00	6.62	156.83

er Ensayo - muro s/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
28.04	-35.27	41.05	10.22	43.89	41.05	3.99	43.89
28.08	-35.39	24.13	10.29	43.99	24.13	5.54	43.99
25.35	-34.07	11.64	10.95	41.03	11.64	7.28	41.03
75.99	-70.39	41.26	7.95	103.27	41.26	1.72	103.27
76.27	-71.69	23.88	8.80	104.30	23.88	4.07	104.30
74.53	-72.37	11.17	10.41	103.36	11.17	6.79	103.36
117.78	-99.12	40.93	4.51	153.87	40.93	-1.69	153.87
119.35	-101.14	23.77	5.11	156.36	23.77	0.41	156.36
116.33	-105.66	10.96	10.53	156.80	10.96	6.93	156.80

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	φ^*i	$\varphi_i - \varphi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	0.97	375.03	70.730	10.680	-0.016	-0.15
24.71	0.54	378.17	87.428	13.017	0.072	0.55
12.32	0.22	378.09	99.924	14.804	0.009	0.06
41.57	1.25	346.66	70.564	11.505	0.094	0.81
24.33	1.28	347.41	87.798	14.183	0.062	0.43
11.80	-0.08	348.18	100.304	16.071	0.042	0.26
40.94	3.55	327.59	71.179	12.259	0.252	2.01
23.90	0.98	331.18	87.951	14.873	0.192	1.28
11.51	-0.62	328.48	100.613	17.030	0.127	0.74

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	φ^*i	$\varphi_i - \varphi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	1.28	374.93	70.769	10.689	-0.033	-0.31
24.71	0.05	379.21	87.340	12.970	0.120	0.91
12.32	0.51	378.16	99.955	14.806	0.055	0.37
41.57	0.60	349.15	70.344	11.391	0.054	0.48
24.33	0.71	348.96	87.657	14.101	0.092	0.65
11.81	0.35	347.94	100.354	16.089	0.039	0.24
40.94	1.86	326.56	71.270	12.311	0.005	0.04
23.80	-0.54	330.37	88.099	14.931	0.127	0.85
11.62	1.09	327.39	100.601	17.081	0.056	0.33

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	φ^*i	$\varphi_i - \varphi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	0.81	377.16	70.546	10.595	0.033	0.32
24.71	0.53	377.04	87.467	13.061	0.009	0.07
12.32	0.65	378.17	99.962	14.806	0.029	0.19
41.57	1.52	349.36	70.338	11.383	-0.032	-0.28
24.33	1.49	348.16	87.717	14.141	0.014	0.10
11.81	0.40	347.11	100.427	16.136	0.003	0.02
40.94	0.25	333.74	70.669	11.956	0.133	1.10
23.90	0.05	332.41	87.827	14.800	0.068	0.45
11.61	-0.08	327.11	100.642	17.102	0.076	0.44

Ángulo de inclinación		-10					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	17.50	44.59	40.04	24.07	-41.41	40.04	24.07
2	14.02	42.63	23.54	24.70	-37.47	23.54	24.70
3	13.90	41.80	10.98	24.13	-36.86	10.98	24.13
4	15.47	104.14	40.41	72.00	-76.82	40.41	72.00
5	13.11	104.11	23.32	73.44	-74.95	23.32	73.44
6	12.51	104.14	10.71	73.84	-74.49	10.71	73.84
7	12.95	155.83	40.21	114.07	-106.96	40.21	114.07
8	10.24	155.94	23.39	115.85	-104.90	23.39	115.85
9	13.29	156.74	10.38	114.57	-107.79	10.38	114.57

Ángulo de inclinación		-10					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	17.65	44.10	40.01	23.60	-41.23	40.01	23.60
2	13.50	42.27	23.63	24.74	-36.84	23.63	24.74
3	13.97	41.16	10.97	23.57	-36.52	10.97	23.57
4	13.62	103.62	40.73	72.74	-75.04	40.73	72.74
5	12.09	103.89	23.50	73.90	-74.01	23.50	73.90
6	12.80	103.19	10.66	72.91	-74.13	10.66	72.91
7	15.65	155.96	39.74	112.50	-109.14	39.74	112.50
8	12.32	156.78	23.02	115.20	-107.05	23.02	115.20
9	12.70	156.83	10.48	115.01	-107.37	10.48	115.01

Ángulo de inclinación		-10					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	15.59	43.89	40.38	24.71	-39.48	40.38	24.71
2	14.46	43.99	23.46	25.49	-38.66	23.46	25.49
3	13.90	41.03	10.98	23.51	-36.38	10.98	23.51
4	12.65	103.27	40.90	73.07	-74.07	40.90	73.07
5	12.01	104.30	23.51	74.28	-74.20	23.51	74.28
6	13.58	103.36	10.52	72.56	-74.85	10.52	72.56
7	10.44	153.87	40.65	114.09	-103.77	40.65	114.09
8	9.74	156.36	23.47	116.48	-104.76	23.47	116.48
9	14.15	156.80	10.23	114.09	-108.50	10.23	114.09

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
369.97	70.04	16.50	22.29	367.73	2.861	-0.504	69.53
373.92	53.54	15.50	24.07	373.13	1.004	-0.177	53.37
374.52	40.98	15.66	23.90	374.24	0.361	-0.064	40.92
334.57	70.41	4.71	70.61	332.82	2.235	-0.394	70.01
336.43	53.32	4.63	72.46	335.20	1.569	-0.277	53.04
336.89	40.71	4.58	73.37	336.30	0.752	-0.133	40.58
304.43	70.21	2.70	111.89	301.69	3.501	-0.617	69.59
306.49	53.39	2.65	115.73	306.35	0.182	-0.032	53.35
303.60	40.38	2.65	114.79	303.88	0.358	-0.063	40.32

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
370.16	70.01	16.09	22.96	369.36	1.024	-0.181	69.83
374.54	53.63	15.30	24.45	374.18	0.468	-0.082	53.55
374.87	40.97	15.91	23.56	374.85	0.027	-0.005	40.97
336.35	70.73	4.69	71.30	334.53	2.320	-0.409	70.32
337.38	53.50	4.60	73.14	336.42	1.222	-0.215	53.28
337.25	40.66	4.64	72.58	336.84	0.530	-0.094	40.56
302.24	69.74	2.71	110.82	300.14	2.686	-0.474	69.26
304.34	53.02	2.64	115.35	304.52	0.230	-0.040	52.98
304.01	40.48	2.64	114.93	303.91	0.124	-0.022	40.46

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
371.90	70.38	15.96	23.18	369.98	2.452	-0.432	69.94
372.72	53.46	15.26	24.33	371.27	1.853	-0.327	53.14
375.00	40.98	16.63	22.48	373.70	1.666	-0.294	40.69
337.32	70.90	4.68	71.64	335.52	2.302	-0.406	70.50
337.18	53.51	4.59	73.20	335.83	1.728	-0.305	53.21
336.53	40.52	4.67	71.84	335.63	1.148	-0.202	40.32
307.61	70.65	2.70	113.88	307.35	0.334	-0.059	70.59
306.62	53.47	2.65	115.03	304.79	2.334	-0.412	53.06
302.88	40.23	2.66	114.03	302.82	0.088	-0.015	40.21

1er Ensayo - muro s/ arriostre

R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
22.29	-43.65	39.53	20.36	44.59	39.53	8.03	44.59
24.07	-38.25	23.37	15.02	42.63	23.37	5.58	42.63
23.90	-37.14	10.92	14.26	41.80	10.92	6.99	41.80
70.61	-78.57	40.01	17.70	104.14	40.01	5.33	104.14
72.46	-76.18	23.04	14.68	104.11	23.04	5.30	104.11
73.37	-75.08	10.58	13.26	104.14	10.58	6.07	104.14
111.89	-109.70	39.59	16.45	155.83	39.59	4.17	155.83
115.73	-105.04	23.35	10.42	155.94	23.35	1.05	155.94
114.79	-107.51	10.32	12.94	156.74	10.32	5.79	156.74

2do Ensayo - muro s/ arriostre

R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
22.96	-42.03	39.83	18.67	44.10	39.83	6.32	44.10
24.45	-37.21	23.55	13.97	42.27	23.55	4.51	42.27
23.56	-36.54	10.97	14.00	41.16	10.97	6.72	41.16
71.30	-76.86	40.32	15.94	103.61	40.32	3.54	103.61
73.14	-74.96	23.28	13.31	103.88	23.28	3.91	103.88
72.58	-74.55	10.56	13.33	103.19	10.56	6.14	103.19
110.82	-111.25	39.26	18.33	155.95	39.26	6.08	155.95
115.35	-106.87	22.98	12.09	156.78	22.98	2.76	156.78
114.93	-107.47	10.46	12.82	156.83	10.46	5.65	156.83

3er Ensayo - muro s/ arriostre

R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
23.18	-41.40	39.94	18.04	43.89	39.94	5.68	43.89
24.33	-40.11	23.14	16.32	43.99	23.14	6.90	43.99
22.48	-37.69	10.69	15.57	41.03	10.69	8.32	41.03
71.64	-75.87	40.50	14.95	103.27	40.50	2.53	103.27
73.20	-75.56	23.21	13.73	104.30	23.21	4.34	104.30
71.84	-75.75	10.32	14.73	103.36	10.32	7.56	103.36
113.88	-104.03	40.59	10.78	153.87	40.59	-1.59	153.87
115.03	-106.59	23.06	12.07	156.36	23.06	2.73	156.36
114.03	-108.57	10.21	14.24	156.80	10.21	7.09	156.80

Zi	Δxi	Dop*	dhi	φ^*i	$\varphi i - \varphi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	2.91	368.41	72.066	11.068	0.054	0.48
24.71	1.02	373.91	88.234	13.278	0.049	0.37
12.32	0.37	375.00	100.681	15.028	0.013	0.08
41.57	2.27	340.23	71.587	11.882	0.172	1.43
24.33	1.59	342.95	88.561	14.479	0.120	0.82
11.81	0.76	344.21	101.023	16.356	0.086	0.52
40.94	3.55	321.77	72.007	12.614	0.408	3.14
23.90	0.18	327.48	88.245	15.081	0.361	2.34
11.50	-0.34	324.84	101.285	17.318	0.119	0.68

Zi	Δxi	Dop*	dhi	φ^*i	$\varphi i - \varphi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	1.04	370.07	71.768	10.975	-0.047	-0.43
24.71	0.47	374.98	88.048	13.214	0.142	1.06
12.32	0.03	375.59	100.635	14.999	0.056	0.37
41.57	2.36	342.04	71.276	11.771	0.142	1.19
24.33	1.24	344.28	88.318	14.388	0.070	0.49
11.81	0.54	344.57	101.035	16.342	0.090	0.55
40.94	2.73	319.95	72.337	12.740	0.249	1.92
23.82	-0.22	325.63	88.621	15.224	0.259	1.67
11.62	0.13	324.92	101.138	17.290	0.128	0.73

Zi	Δxi	Dop*	dhi	φ^*i	$\varphi i - \varphi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	2.49	370.71	71.657	10.940	0.003	0.03
24.71	1.88	372.07	88.463	13.374	-0.009	-0.07
12.32	1.69	374.37	100.912	15.086	0.110	0.72
41.57	2.34	343.08	71.101	11.708	0.124	1.05
24.33	1.75	343.71	88.393	14.422	0.118	0.81
11.81	1.17	343.24	101.282	16.440	0.097	0.58
40.94	0.34	327.77	71.006	12.223	0.334	2.66
23.90	2.37	325.78	88.537	15.204	0.103	0.67
11.62	0.09	323.58	101.389	17.398	0.094	0.54

1er Ensayo - muro c/ arriostre													
Puntos de referencia		0°			5°			10°			15°		
		o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"
1	H	4	6	40	3	37	43	3	9	18	2	44	12
2	H	3	59	35	3	37	44	3	15	41	2	56	30
3	H	3	51	14	3	34	9	3	17	57	3	3	35
4	H	11	19	4	10	54	39	10	28	29	9	59	55
5	H	11	18	42	11	0	9	10	42	1	10	24	34
6	H	11	12	23	10	58	34	10	44	54	10	33	19
7	H	18	10	31	17	52	23	17	35	5	17	21	22
8	H	18	12	33	17	58	51	17	45	0	17	33	57
9	H	18	6	23	17	55	45	17	45	45	17	37	16

2do Ensayo - muro c/ arriostre													
Puntos de referencia		0°			5°			10°			15°		
		o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"
1	H	4	10	40	3	35	10	3	9	26	2	53	4
2	H	3	58	59	3	32	28	3	12	32	3	0	5
3	H	3	50	48	3	30	9	3	15	3	3	6	28
4	H	11	25	47	10	55	37	10	31	22	10	13	34
5	H	11	21	16	10	58	38	10	41	32	10	30	34
6	H	11	10	17	10	52	40	10	41	6	10	32	59
7	H	18	11	24	17	49	20	17	32	16	17	21	34
8	H	18	11	56	17	54	48	17	42	52	17	35	25
9	H	18	6	32	17	53	11	17	44	11	17	38	34

3er Ensayo - muro c/ arriostre													
Puntos de referencia		0°			5°			10°			15°		
		o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"
1	H	4	16	6	3	44	2	3	21	30	2	54	3
2	H	4	0	24	3	35	46	3	18	6	2	57	56
3	H	3	50	52	3	32	1	3	19	6	3	3	51
4	H	11	26	12	10	59	6	10	31	59	10	6	31
5	H	11	17	33	10	56	50	10	41	32	10	23	52
6	H	11	10	3	10	54	32	10	43	27	10	30	55
7	H	18	12	30	17	52	35	17	41	32	17	25	45
8	H	18	11	43	17	56	10	17	46	27	17	33	59
9	H	18	8	8	17	56	28	17	48	54	17	39	58

1er Ensayo - muro c/ arrioste													
Puntos de referencia		0°			5°			10°			15°		
		o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"
1	V	99	2	7	99	13	6	99	27	14	99	40	45
2	V	101	10	53	101	21	46	101	34	49	101	47	25
3	V	102	47	13	102	57	24	103	9	9	103	19	14
4	V	99	31	29	99	44	19	100	2	59	100	28	40
5	V	101	54	50	102	7	50	102	23	19	102	39	18
6	V	103	39	20	103	52	18	104	6	51	104	20	46
7	V	100	4	2	100	18	13	100	38	6	100	59	9
8	V	102	27	54	102	42	8	102	59	10	103	14	35
9	V	104	21	14	104	36	17	104	52	36	105	7	21

2do Ensayo - muro c/ arrioste													
Puntos de referencia		0°			5°			10°			15°		
		o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"
1	V	99	2	48	99	16	18	99	29	20	99	39	0
2	V	101	8	12	101	24	50	101	36	31	101	45	0
3	V	102	46	43	103	0	22	103	10	23	103	18	15
4	V	99	31	53	99	47	4	100	4	15	100	21	47
5	V	101	54	51	102	10	36	102	25	43	102	36	14
6	V	103	39	23	103	55	45	104	9	45	104	18	45
7	V	100	4	28	100	22	24	100	43	25	100	56	17
8	V	102	27	38	102	45	22	103	1	37	103	12	28
9	V	104	21	46	104	39	33	104	55	8	105	4	25

3er Ensayo - muro c/ arrioste													
Puntos de referencia		0°			5°			10°			15°		
		o	'	"	o	'	"	o	'	"	o	'	"
1	V	99	2	14	99	14	20	99	25	12	99	40	14
2	V	101	10	22	101	22	58	101	33	9	101	46	53
3	V	102	46	48	102	59	16	103	8	28	103	19	28
4	V	99	33	22	99	47	33	100	6	57	100	29	43
5	V	101	55	40	102	10	55	102	24	53	102	41	48
6	V	103	33	25	103	54	18	104	6	2	104	19	48
7	V	100	3	2	100	19	47	100	39	55	101	1	26
8	V	102	27	28	102	43	45	102	59	30	103	17	22
9	V	104	20	55	104	37	27	104	50	41	105	6	1



1er Ensayo - muro c/ arriostre								
Puntos de referencia	0°		5°		10°		15°	
	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i
1	4.111	9.035	3.629	9.218	3.155	9.454	2.737	9.679
2	3.993	11.181	3.629	11.363	3.261	11.580	2.942	11.790
3	3.854	12.787	3.569	12.957	3.299	13.153	3.060	13.321
4	11.318	9.525	10.911	9.739	10.475	10.050	9.999	10.478
5	11.312	11.914	11.003	12.131	10.700	12.389	10.409	12.655
6	11.206	13.656	10.976	13.872	10.748	14.114	10.555	14.346
7	18.175	10.067	17.873	10.304	17.585	10.635	17.356	10.986
8	18.209	12.465	17.981	12.702	17.750	12.986	17.566	13.243
9	18.106	14.354	17.929	14.605	17.763	14.877	17.621	15.123

2do Ensayo - muro c/ arriostre								
Puntos de referencia	0°		5°		10°		15°	
	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i
1	4.178	9.047	3.586	9.272	3.157	9.489	2.884	9.650
2	3.983	11.137	3.541	11.414	3.209	11.609	3.001	11.750
3	3.847	12.779	3.503	13.006	3.251	13.173	3.108	13.304
4	11.430	9.531	10.927	9.784	10.523	10.071	10.226	10.363
5	11.354	11.914	10.977	12.177	10.692	12.429	10.509	12.604
6	11.171	13.656	10.878	13.929	10.685	14.163	10.550	14.313
7	18.190	10.074	17.822	10.373	17.538	10.724	17.359	10.938
8	18.199	12.461	17.913	12.756	17.714	13.027	17.590	13.208
9	18.109	14.363	17.886	14.659	17.736	14.919	17.643	15.074

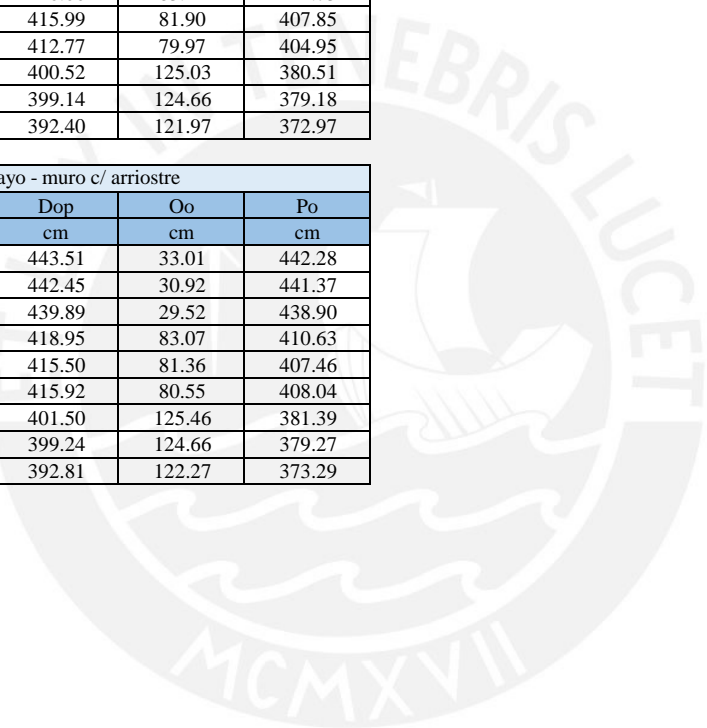
3er Ensayo - muro c/ arriostre								
Puntos de referencia	0°		5°		10°		15°	
	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i
1	4.268	9.037	3.734	9.239	3.358	9.420	2.901	9.671
2	4.007	11.173	3.596	11.383	3.302	11.553	2.966	11.781
3	3.848	12.780	3.534	12.988	3.318	13.141	3.064	13.324
4	11.437	9.556	10.985	9.793	10.533	10.116	10.109	10.495
5	11.293	11.928	10.947	12.182	10.692	12.415	10.398	12.697
6	11.168	13.557	10.909	13.905	10.724	14.101	10.515	14.330
7	18.208	10.051	17.876	10.330	17.692	10.665	17.429	11.024
8	18.195	12.458	17.936	12.729	17.774	12.992	17.566	13.289
9	18.136	14.349	17.941	14.624	17.815	14.845	17.666	15.100

Hteodolito
cm
142.1

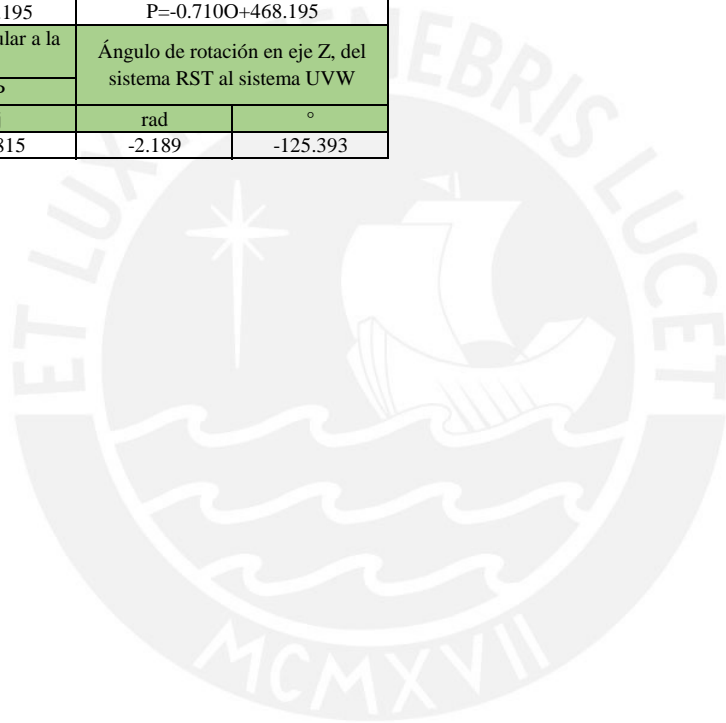
1er Ensayo - muro c/ arriostre				
Puntos de referencia	Qo	Dop	Oo	Po
	cm	cm	cm	cm
1	71.56	443.60	31.80	442.46
2	54.71	442.11	30.79	441.03
3	42.32	439.65	29.55	438.65
4	71.57	420.36	82.50	412.18
5	54.33	416.00	81.60	407.92
6	41.81	412.80	80.22	404.93
7	70.94	400.82	125.03	380.82
8	53.90	399.00	124.68	379.02
9	41.62	392.66	122.03	373.21

2do Ensayo - muro c/ arriostre				
Puntos de referencia	Qo	Dop	Oo	Po
	cm	cm	cm	cm
1	71.56	443.04	32.28	441.86
2	54.71	443.93	30.84	442.85
3	42.32	439.94	29.51	438.95
4	71.57	420.06	83.24	411.73
5	54.33	415.99	81.90	407.85
6	41.81	412.77	79.97	404.95
7	70.94	400.52	125.03	380.51
8	53.90	399.14	124.66	379.18
9	41.62	392.40	121.97	372.97

3er Ensayo - muro c/ arriostre				
Puntos de referencia	Qo	Dop	Oo	Po
	cm	cm	cm	cm
1	71.56	443.51	33.01	442.28
2	54.71	442.45	30.92	441.37
3	42.32	439.89	29.52	438.90
4	71.57	418.95	83.07	410.63
5	54.33	415.50	81.36	407.46
6	41.81	415.92	80.55	408.04
7	70.94	401.50	125.46	381.39
8	53.90	399.24	124.66	379.27
9	41.62	392.81	122.27	373.29



Ensayo - muro c/arriostre			
Puntos de Referencia para eje de recta A			
Punto 1		Punto 2	
O	P	O	P
m	m	m	m
29.51	438.65	121.97	372.97
Vector unitario paralelo a la recta A		Ángulo de vector unitario respecto al eje O	
O	P		
i	j	rad	°
0.815	-0.579	-0.618	-35.393
Recta A: borde ideal del interior del tope			
m	b	Expresión algebraica	
-0.710	459.608	P=-0.710O+459.608	
Punto de recta A en eje P		Punto de recta B en eje P	
O	P	O	P
m	m	m	m
0.00	459.61	0.00	468.19
Recta B: eje ideal del modelo, paralela a recta A			
m	b	Expresión algebraica	
-0.710	468.195	P=-0.710O+468.195	
Vector unitario perpendicular a la recta B		Ángulo de rotación en eje Z, del sistema RST al sistema UVW	
O	P		
i	j	rad	°
-0.579	-0.815	-2.189	-125.393



1er Ensayo - muro c/ arriestre						
Puntos de referencia	Ro	So	To	Uo = Xo	Vo = Yo	Wo = Zo
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	31.80	-25.73	41.56	2.56	40.83	41.56
2	30.79	-27.16	24.71	4.31	40.83	24.71
3	29.55	-29.54	12.32	6.97	41.20	12.32
4	82.50	-56.01	41.57	-2.12	99.69	41.57
5	81.60	-60.28	24.33	1.88	101.43	24.33
6	80.22	-63.27	11.81	5.11	102.04	11.81
7	125.03	-87.38	40.94	-1.19	152.53	40.94
8	124.68	-89.18	23.90	0.48	153.29	23.90
9	122.03	-94.98	11.62	6.75	154.49	11.62

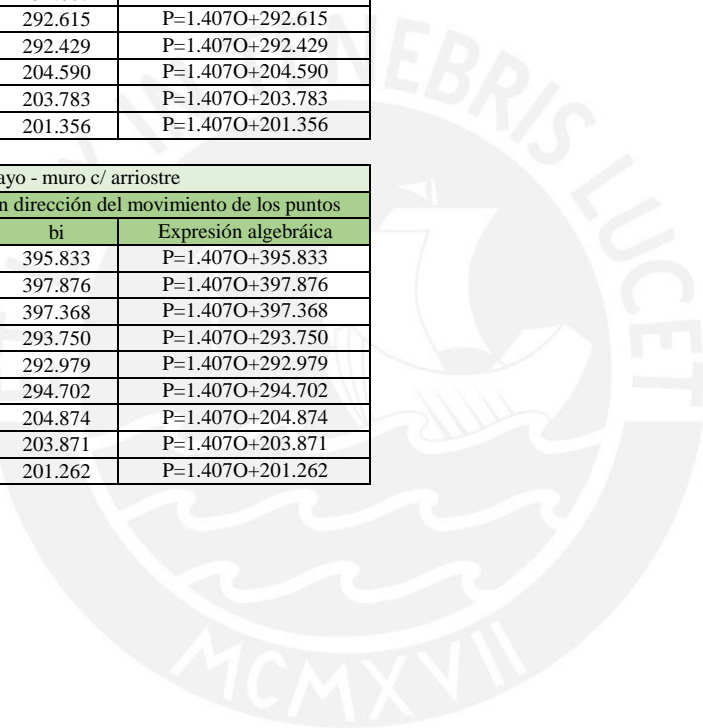
2do Ensayo - muro s/ arriestre						
Puntos de referencia	Ro	So	To	Uo = Xo	Vo = Yo	Wo = Zo
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	32.28	-26.34	41.56	2.78	41.56	41.56
2	30.84	-25.34	24.71	2.80	39.81	24.71
3	29.51	-29.24	12.32	6.74	41.00	12.32
4	83.24	-56.47	41.57	-2.18	100.56	41.57
5	81.90	-60.35	24.33	1.76	101.72	24.33
6	79.97	-63.24	11.81	5.24	101.82	11.81
7	125.03	-87.69	40.94	-0.94	152.71	40.94
8	124.66	-89.02	23.90	0.36	153.18	23.90
9	121.97	-95.23	11.62	6.99	154.58	11.62

3er Ensayo - muro s/ arriestre						
Puntos de referencia	Ro	So	To	Uo = Xo	Vo = Yo	Wo = Zo
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	33.01	-25.92	41.56	2.01	41.92	41.56
2	30.92	-26.82	24.71	3.96	40.74	24.71
3	29.52	-29.29	12.32	6.78	41.03	12.32
4	83.07	-57.56	41.57	-1.19	101.06	41.57
5	81.36	-60.74	24.33	2.39	101.51	24.33
6	80.55	-60.15	11.81	2.38	100.51	11.81
7	125.46	-86.80	40.94	-1.90	152.55	40.94
8	124.66	-88.92	23.90	0.28	153.13	23.90
9	122.27	-94.90	11.62	6.55	154.64	11.62

1er Ensayo - muro c/ arriostre			
Puntos de referencia	Rectas Ci: en dirección del movimiento de los puntos		
	mi	bi	Expresión algebraica
1	1.407	397.717	$P=1.407O+397.717$
2	1.407	397.716	$P=1.407O+397.716$
3	1.407	397.076	$P=1.407O+397.076$
4	1.407	296.111	$P=1.407O+296.111$
5	1.407	293.112	$P=1.407O+293.112$
6	1.407	292.051	$P=1.407O+292.051$
7	1.407	204.909	$P=1.407O+204.909$
8	1.407	203.590	$P=1.407O+203.590$
9	1.407	201.515	$P=1.407O+201.515$

2do Ensayo - muro c/ arriostre			
Puntos de referencia	Rectas Ci: en dirección del movimiento de los puntos		
	mi	bi	Expresión algebraica
1	1.407	396.447	$P=1.407O+396.447$
2	1.407	399.468	$P=1.407O+399.468$
3	1.407	397.426	$P=1.407O+397.426$
4	1.407	294.607	$P=1.407O+294.607$
5	1.407	292.615	$P=1.407O+292.615$
6	1.407	292.429	$P=1.407O+292.429$
7	1.407	204.590	$P=1.407O+204.590$
8	1.407	203.783	$P=1.407O+203.783$
9	1.407	201.356	$P=1.407O+201.356$

3er Ensayo - muro c/ arriostre			
Puntos de referencia	Rectas Ci: en dirección del movimiento de los puntos		
	mi	bi	Expresión algebraica
1	1.407	395.833	$P=1.407O+395.833$
2	1.407	397.876	$P=1.407O+397.876$
3	1.407	397.368	$P=1.407O+397.368$
4	1.407	293.750	$P=1.407O+293.750$
5	1.407	292.979	$P=1.407O+292.979$
6	1.407	294.702	$P=1.407O+294.702$
7	1.407	204.874	$P=1.407O+204.874$
8	1.407	203.871	$P=1.407O+203.871$
9	1.407	201.262	$P=1.407O+201.262$



Ángulo de inclinación		-5					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	8.79	40.83	41.18	28.19	-30.81	41.18	28.19
2	9.07	40.83	24.24	28.03	-31.04	24.24	28.03
3	10.63	41.20	11.67	27.43	-32.53	11.67	27.43
4	4.13	99.69	41.60	78.88	-61.11	41.60	78.88
5	6.61	101.43	24.07	78.86	-64.13	24.07	78.86
6	8.74	102.04	11.32	78.12	-66.23	11.32	78.12
7	5.01	152.53	40.89	121.44	-92.42	40.89	121.44
8	5.18	153.29	23.77	121.96	-93.01	23.77	121.96
9	10.36	154.49	10.99	119.94	-97.92	10.99	119.94

Ángulo de inclinación		-5					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	9.00	41.56	41.16	28.67	-31.41	41.16	28.67
2	7.56	39.81	24.37	28.08	-29.22	24.37	28.08
3	10.41	41.00	11.69	27.39	-32.23	11.69	27.39
4	4.07	100.56	41.60	79.62	-61.56	41.60	79.62
5	6.49	101.72	24.08	79.16	-64.21	24.08	79.16
6	8.87	101.82	11.31	77.87	-66.20	11.31	77.87
7	5.25	152.71	40.87	121.45	-92.73	40.87	121.45
8	5.06	153.18	23.78	121.94	-92.85	23.78	121.94
9	10.59	154.58	10.97	119.88	-98.17	10.97	119.88

Ángulo de inclinación		-5					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sí	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	8.24	41.92	41.23	29.40	-31.00	41.23	29.40
2	8.72	40.74	24.27	28.16	-30.70	24.27	28.16
3	10.45	41.03	11.68	27.40	-32.28	11.68	27.40
4	5.06	101.06	41.52	79.45	-62.65	41.52	79.45
5	7.12	101.51	24.03	78.62	-64.59	24.03	78.62
6	6.02	100.51	11.56	78.45	-63.12	11.56	78.45
7	4.29	152.55	40.95	121.87	-91.85	40.95	121.87
8	4.98	153.13	23.78	121.94	-92.75	23.78	121.94
9	10.15	154.64	11.01	120.18	-97.84	11.01	120.18



Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
437.38	71.18	15.77	27.69	436.68	0.864	-0.076	71.10
437.16	54.24	15.77	27.69	436.68	0.581	-0.051	54.19
435.67	41.67	16.03	27.15	435.28	0.477	-0.042	41.62
407.09	71.60	5.19	78.32	406.31	0.953	-0.083	71.51
404.06	54.07	5.14	78.45	403.49	0.702	-0.061	54.01
401.97	41.32	5.16	77.90	401.66	0.384	-0.034	41.29
375.77	70.89	3.10	120.96	375.10	0.830	-0.073	70.81
375.19	53.77	3.08	121.61	374.69	0.611	-0.053	53.71
370.27	40.99	3.09	119.69	369.91	0.439	-0.038	40.95

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
436.78	71.16	15.96	27.25	434.79	2.448	-0.214	70.95
438.97	54.37	16.16	27.08	437.57	1.726	-0.151	54.22
435.96	41.69	16.34	26.62	434.88	1.335	-0.117	41.57
406.63	71.60	5.18	78.09	404.48	2.647	-0.232	71.37
403.99	54.08	5.16	78.06	402.45	1.892	-0.165	53.92
401.99	41.31	5.20	77.02	400.80	1.469	-0.129	41.18
375.46	70.87	3.11	120.10	373.57	2.322	-0.203	70.66
375.35	53.78	3.09	120.82	373.78	1.919	-0.168	53.61
370.03	40.97	3.10	119.03	368.84	1.460	-0.128	40.84

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
437.20	71.23	15.32	28.44	435.85	1.647	-0.144	71.08
437.50	54.27	15.91	27.43	436.47	1.258	-0.110	54.16
435.91	41.68	16.19	26.87	435.18	0.903	-0.079	41.60
405.54	71.52	5.15	78.44	404.12	1.744	-0.153	71.36
403.60	54.03	5.17	77.86	402.53	1.319	-0.115	53.91
405.08	41.56	5.19	77.93	404.35	0.890	-0.078	41.48
376.34	70.95	3.10	120.98	375.10	1.532	-0.134	70.82
375.44	53.78	3.09	121.18	374.37	1.317	-0.115	53.67
370.35	41.01	3.09	119.69	369.67	0.838	-0.073	40.93



1er Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
27.69	-31.51	41.10	9.65	40.83	41.10	3.42	40.83
27.69	-31.51	24.19	9.65	40.83	24.19	4.90	40.83
27.15	-32.92	11.62	11.11	41.20	11.62	7.45	41.20
78.32	-61.88	41.51	5.08	99.69	41.51	-1.16	99.69
78.45	-64.71	24.01	7.31	101.43	24.01	2.58	101.43
77.90	-66.54	11.29	9.12	102.04	11.29	5.50	102.04
120.96	-93.10	40.81	5.83	152.53	40.81	-0.35	152.53
121.61	-93.51	23.71	5.79	153.29	23.71	1.10	153.29
119.69	-98.28	10.95	10.80	154.49	10.95	7.19	154.49

2do Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
27.25	-33.41	40.95	11.45	41.56	40.95	5.23	41.56
27.08	-30.63	24.22	9.28	39.81	24.22	4.53	39.81
26.62	-33.32	11.57	11.74	41.00	11.57	8.08	41.00
78.09	-63.72	41.37	6.72	100.56	41.37	0.48	100.56
78.06	-65.75	23.92	8.38	101.72	23.92	3.66	101.72
77.02	-67.40	11.18	10.33	101.82	11.18	6.71	101.82
120.10	-94.62	40.66	7.58	152.71	40.66	1.39	152.71
120.82	-94.41	23.61	6.98	153.18	23.61	2.29	153.18
119.03	-99.36	10.84	12.05	154.58	10.84	8.45	154.58

3er Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
28.44	-32.34	41.08	9.89	41.92	41.08	3.66	41.92
27.43	-31.72	24.16	9.97	40.74	24.16	5.22	40.74
26.87	-33.02	11.60	11.35	41.03	11.60	7.69	41.03
78.44	-64.08	41.36	6.80	101.06	41.36	0.56	101.06
77.86	-65.67	23.91	8.44	101.50	23.91	3.71	101.50
77.93	-63.84	11.48	6.91	100.51	11.48	3.27	100.51
120.98	-93.10	40.82	5.82	152.55	40.82	-0.36	152.55
121.18	-93.83	23.67	6.30	153.13	23.67	1.61	153.13
119.69	-98.52	10.93	10.99	154.64	10.93	7.39	154.64

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	0.87	437.56	70.997	9.216	0.002	0.02
24.71	0.58	437.56	87.911	11.360	0.003	0.02
12.32	0.48	436.12	100.476	12.974	-0.017	-0.13
41.57	0.96	413.79	70.587	9.681	0.058	0.60
24.33	0.70	411.04	88.088	12.096	0.035	0.29
11.81	0.39	409.14	100.814	13.842	0.030	0.21
40.94	0.83	394.12	71.285	10.252	0.051	0.50
23.90	0.61	393.93	88.387	12.646	0.056	0.44
11.62	0.44	388.80	101.151	14.583	0.022	0.15

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	2.46	435.64	71.154	9.276	-0.005	-0.05
24.71	1.73	438.40	87.879	11.335	0.079	0.69
12.32	1.34	435.69	100.531	12.993	0.013	0.10
41.57	2.66	411.94	70.730	9.743	0.042	0.43
24.33	1.90	409.95	88.182	12.140	0.037	0.30
11.81	1.47	408.13	100.920	13.889	0.040	0.29
40.94	2.33	392.40	71.437	10.318	0.056	0.54
23.90	1.93	392.83	88.491	12.695	0.061	0.48
11.62	1.47	387.57	101.261	14.642	0.017	0.11

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	1.65	436.78	71.017	9.235	0.004	0.04
24.71	1.26	437.33	87.939	11.369	0.013	0.12
12.32	0.91	436.01	100.497	12.980	0.008	0.06
41.57	1.75	411.66	70.737	9.750	0.042	0.43
24.33	1.32	409.99	88.186	12.139	0.043	0.35
11.81	0.89	411.79	100.620	13.731	0.174	1.25
40.94	1.54	394.12	71.284	10.252	0.078	0.75
23.90	1.32	393.49	88.431	12.666	0.063	0.50
11.62	0.84	388.56	101.168	14.594	0.030	0.21

Ángulo de inclinación		-10					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	14.97	40.83	40.48	24.61	-35.85	40.48	24.61
2	13.77	40.83	23.59	25.31	-34.88	23.59	25.31
3	14.24	41.20	10.92	25.34	-35.47	10.92	25.34
4	10.37	99.69	41.31	75.26	-66.19	41.31	75.26
5	11.31	101.43	23.63	76.13	-67.97	23.63	76.13
6	12.32	102.04	10.74	76.05	-69.14	10.74	76.05
7	11.18	152.53	40.52	117.86	-97.45	40.52	117.86
8	9.86	153.29	23.45	119.25	-96.82	23.45	119.25
9	13.90	154.49	10.27	117.89	-100.81	10.27	117.89

Ángulo de inclinación		-10					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	15.19	41.56	40.45	25.09	-36.45	40.45	25.09
2	12.28	39.81	23.85	25.34	-33.07	23.85	25.34
3	14.02	41.00	10.96	25.30	-35.17	10.96	25.30
4	10.31	100.56	41.32	76.01	-66.65	41.32	76.01
5	11.19	101.72	23.65	76.43	-68.04	23.65	76.43
6	12.45	101.82	10.72	75.80	-69.12	10.72	75.80
7	11.42	152.71	40.48	117.87	-97.76	40.48	117.87
8	9.74	153.18	23.47	119.23	-96.66	23.47	119.23
9	14.14	154.58	10.23	117.83	-101.06	10.23	117.83

Ángulo de inclinación		-10					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	14.43	41.92	40.58	25.81	-36.04	40.58	25.81
2	13.43	40.74	23.65	25.43	-34.54	23.65	25.43
3	14.05	41.03	10.96	25.31	-35.22	10.96	25.31
4	11.28	101.06	41.14	75.85	-67.73	41.14	75.85
5	11.81	101.51	23.55	75.90	-68.42	23.55	75.90
6	9.63	100.51	11.22	76.35	-66.06	11.22	76.35
7	10.47	152.55	40.65	118.29	-96.89	40.65	118.29
8	9.67	153.13	23.49	119.23	-96.57	23.49	119.23
9	13.70	154.64	10.31	118.12	-100.73	10.31	118.12



Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
432.34	70.48	18.14	23.77	431.16	1.459	-0.257	70.23
433.32	53.59	17.55	24.64	432.38	1.150	-0.203	53.38
432.73	40.92	17.35	24.91	432.12	0.740	-0.131	40.79
402.00	71.31	5.41	73.99	400.22	2.188	-0.386	70.92
400.23	53.63	5.29	75.44	399.26	1.189	-0.210	53.42
399.05	40.74	5.27	75.64	398.48	0.702	-0.124	40.62
370.74	70.52	3.16	117.20	369.81	1.139	-0.201	70.32
371.37	53.45	3.12	118.57	370.42	1.165	-0.205	53.25
367.38	40.27	3.12	117.53	366.87	0.625	-0.110	40.16

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
431.74	70.45	18.13	23.71	429.80	2.379	-0.419	70.03
435.12	53.85	17.84	24.31	433.68	1.774	-0.313	53.54
433.02	40.96	17.61	24.53	431.95	1.324	-0.233	40.73
401.55	71.32	5.38	74.09	398.85	3.316	-0.585	70.73
400.16	53.65	5.30	75.24	398.47	2.067	-0.365	53.29
399.07	40.72	5.30	75.12	398.12	1.173	-0.207	40.51
370.43	70.48	3.16	116.42	368.40	2.502	-0.441	70.04
371.53	53.47	3.13	118.22	370.13	1.726	-0.304	53.17
367.14	40.23	3.13	117.10	366.11	1.260	-0.222	40.01

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
432.15	70.58	17.04	25.32	431.46	0.853	-0.150	70.43
433.66	53.65	17.33	24.98	433.02	0.777	-0.137	53.51
432.97	40.96	17.25	25.09	432.66	0.381	-0.067	40.89
400.46	71.14	5.38	73.97	397.83	3.238	-0.571	70.57
399.77	53.55	5.30	75.33	398.97	0.989	-0.174	53.37
402.13	41.22	5.28	76.09	401.76	0.457	-0.081	41.14
371.31	70.65	3.13	118.57	371.70	0.485	-0.085	70.56
371.63	53.49	3.12	119.05	371.38	0.308	-0.054	53.43
367.46	40.31	3.11	118.05	367.36	0.120	-0.021	40.29



1er Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
23.77	-37.04	40.23	16.43	40.83	40.23	4.04	40.83
24.64	-35.81	23.38	14.92	40.83	23.38	5.48	40.83
24.91	-36.07	10.79	14.98	41.20	10.79	7.72	41.20
73.99	-67.97	40.92	12.56	99.69	40.92	0.10	99.69
75.44	-68.93	23.42	12.50	101.43	23.42	3.09	101.43
75.64	-69.72	10.62	13.02	102.04	10.62	5.82	102.04
117.20	-98.38	40.32	12.32	152.52	40.32	-0.03	152.52
118.57	-97.77	23.25	11.03	153.29	23.25	1.67	153.29
117.53	-101.32	10.16	14.53	154.49	10.16	7.39	154.49

2do Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
23.71	-38.39	40.03	17.56	41.56	40.03	5.19	41.56
24.31	-34.52	23.54	14.06	39.81	23.54	4.60	39.81
24.53	-36.25	10.73	15.34	41.00	10.73	8.09	41.00
74.09	-69.35	40.73	13.62	100.56	40.73	1.19	100.56
75.24	-69.72	23.29	13.26	101.71	23.29	3.86	101.71
75.12	-70.08	10.51	13.62	101.82	10.51	6.43	101.82
116.42	-99.80	40.04	13.93	152.71	40.04	1.61	152.71
118.22	-98.07	23.17	11.47	153.18	23.17	2.12	153.18
117.10	-102.08	10.01	15.40	154.58	10.01	8.27	154.58

3er Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
25.32	-36.74	40.43	15.29	41.92	40.43	2.88	41.92
24.98	-35.17	23.51	14.20	40.73	23.51	4.75	40.73
25.09	-35.53	10.89	14.43	41.03	10.89	7.17	41.03
73.97	-70.37	40.57	14.52	101.06	40.57	2.10	101.06
75.33	-69.23	23.37	12.80	101.50	23.37	3.39	101.50
76.09	-66.44	11.14	10.09	100.51	11.14	2.85	100.51
118.57	-96.49	40.56	9.99	152.55	40.56	-2.36	152.55
119.05	-96.82	23.43	9.97	153.13	23.43	0.60	153.13
118.05	-100.83	10.29	13.82	154.64	10.29	6.67	154.64

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	1.48	431.81	71.873	9.450	0.004	0.04
24.71	1.17	433.08	88.717	11.577	0.003	0.03
12.32	0.75	432.84	101.308	13.173	-0.021	-0.16
41.57	2.22	407.00	71.179	9.920	0.130	1.29
24.33	1.21	406.33	88.675	12.311	0.078	0.63
11.81	0.71	405.59	101.481	14.047	0.067	0.47
40.94	1.16	387.94	71.777	10.482	0.153	1.44
23.90	1.18	388.94	88.852	12.868	0.118	0.91
11.62	0.63	385.24	101.939	14.822	0.055	0.37

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	2.42	430.46	72.073	9.505	-0.016	-0.17
24.71	1.80	434.36	88.564	11.524	0.084	0.73
12.32	1.34	432.64	101.372	13.187	-0.014	-0.11
41.57	3.37	405.67	71.368	9.978	0.093	0.92
24.33	2.10	405.51	88.810	12.353	0.076	0.61
11.81	1.19	405.14	101.586	14.076	0.086	0.61
40.94	2.54	386.35	72.061	10.565	0.158	1.48
23.90	1.75	388.55	88.931	12.892	0.135	1.04
11.62	1.28	384.38	102.092	14.874	0.045	0.30

Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	0.87	432.20	71.671	9.416	0.004	0.05
24.71	0.79	433.74	88.590	11.544	0.009	0.08
12.32	0.39	433.39	101.212	13.145	-0.004	-0.03
41.57	3.29	404.64	71.526	10.024	0.092	0.91
24.33	1.00	406.02	88.729	12.327	0.087	0.70
11.81	0.46	408.90	100.963	13.870	0.231	1.64
40.77	-0.46	390.15	71.537	10.390	0.275	2.58
23.90	0.31	389.99	88.667	12.809	0.183	1.41
11.62	0.12	385.87	101.815	14.781	0.064	0.43

Ángulo de inclinación		-15					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	21.08	40.83	39.48	21.07	-40.83	39.48	21.07
2	18.41	40.83	22.75	22.62	-38.66	22.75	22.62
3	17.77	41.20	10.10	23.29	-38.35	10.10	23.29
4	16.57	99.69	40.70	71.67	-71.25	40.70	71.67
5	15.96	101.43	23.01	73.44	-71.76	23.01	73.44
6	15.85	102.04	10.08	74.01	-72.02	10.08	74.01
7	17.30	152.53	39.85	114.32	-102.45	39.85	114.32
8	14.51	153.29	22.96	116.56	-100.61	22.96	116.56
9	17.38	154.49	9.48	115.87	-103.65	9.48	115.87

Ángulo de inclinación		-15					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	21.29	41.56	39.43	21.55	-41.43	39.43	21.55
2	16.95	39.81	23.14	22.64	-36.88	23.14	22.64
3	17.56	41.00	10.15	23.25	-38.06	10.15	23.25
4	16.51	100.56	40.72	72.42	-71.70	40.72	72.42
5	15.85	101.72	23.05	73.74	-71.83	23.05	73.74
6	15.97	101.82	10.05	73.76	-71.99	10.05	73.76
7	17.55	152.71	39.79	114.33	-102.75	39.79	114.33
8	14.39	153.18	22.99	116.53	-100.45	22.99	116.53
9	17.61	154.58	9.42	115.81	-103.89	9.42	115.81

Ángulo de inclinación		-15					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	20.55	41.92	39.62	22.27	-41.03	39.62	22.27
2	18.07	40.74	22.84	22.74	-38.33	22.84	22.74
3	17.59	41.03	10.14	23.26	-38.11	10.14	23.26
4	17.47	101.06	40.46	72.27	-72.77	40.46	72.27
5	16.46	101.51	22.88	73.21	-72.21	22.88	73.21
6	13.21	100.51	10.79	74.28	-68.98	10.79	74.28
7	16.61	152.55	40.04	114.73	-101.90	40.04	114.73
8	14.31	153.13	23.01	116.54	-100.36	23.01	116.54
9	17.19	154.64	9.53	116.11	-103.57	9.53	116.11



Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
427.36	69.48	20.92	20.38	426.39	1.190	-0.319	69.16
429.54	52.75	19.46	22.03	428.71	1.012	-0.271	52.48
429.84	40.10	18.71	22.95	429.37	0.586	-0.157	39.94
396.95	70.70	5.67	69.43	393.79	3.873	-1.038	69.66
396.43	53.01	5.44	72.62	395.28	1.416	-0.379	52.64
396.17	40.08	5.37	73.76	395.83	0.427	-0.114	39.97
365.75	69.85	3.20	114.31	365.74	0.009	-0.002	69.85
367.59	52.96	3.16	116.21	367.10	0.602	-0.161	52.80
364.54	39.48	3.15	115.72	364.34	0.258	-0.069	39.41

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
426.77	69.43	19.85	21.50	426.70	0.086	-0.023	69.40
431.32	53.14	19.07	22.61	431.28	0.040	-0.011	53.13
430.14	40.15	18.42	23.36	430.30	0.194	-0.052	40.10
396.49	70.72	5.54	71.23	394.82	2.053	-0.550	70.17
396.36	53.05	5.39	73.46	395.97	0.484	-0.130	52.92
396.20	40.05	5.37	73.80	396.26	0.076	-0.020	40.03
365.44	69.79	3.20	114.17	365.23	0.262	-0.070	69.72
367.74	52.99	3.15	116.63	367.88	0.168	-0.045	52.95
364.31	39.42	3.14	115.90	364.43	0.157	-0.042	39.37

Pi	Qi	mo	O*i	P*i	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
427.16	69.62	19.73	21.60	426.22	1.156	-0.310	69.31
429.87	52.84	19.30	22.23	429.16	0.873	-0.234	52.61
430.09	40.14	18.68	23.00	429.73	0.436	-0.117	40.03
395.43	70.46	5.61	69.91	392.11	4.072	-1.091	69.37
395.99	52.88	5.45	72.47	394.94	1.280	-0.343	52.54
399.21	40.79	5.39	74.04	398.87	0.421	-0.113	40.68
366.30	70.04	3.19	115.21	366.97	0.821	-0.220	69.82
367.84	53.01	3.16	116.38	367.61	0.277	-0.074	52.94
364.62	39.53	3.14	116.15	364.68	0.073	-0.020	39.51



1er Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
20.38	-41.80	39.16	22.27	40.83	39.16	3.79	40.83
22.03	-39.48	22.48	19.43	40.83	22.48	5.36	40.83
22.95	-38.83	9.94	18.36	41.20	9.94	7.57	41.20
69.43	-74.40	39.66	20.44	99.69	39.66	1.89	99.69
72.62	-72.91	22.64	17.38	101.43	22.64	3.34	101.43
73.76	-72.37	9.97	16.27	102.04	9.97	5.55	102.04
114.31	-102.45	39.85	17.31	152.52	39.85	-1.18	152.52
116.21	-101.10	22.80	15.11	153.29	22.80	1.11	153.29
115.72	-103.86	9.41	17.64	154.49	9.41	7.02	154.49

2do Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
21.50	-41.50	39.40	21.38	41.56	39.40	2.86	41.56
22.61	-36.91	23.13	16.99	39.81	23.13	2.84	39.81
23.36	-37.90	10.10	17.36	41.00	10.10	6.57	41.00
71.23	-73.37	40.17	18.56	100.56	40.17	-0.05	100.56
73.46	-72.23	22.92	16.33	101.71	22.92	2.26	101.71
73.80	-71.93	10.03	15.89	101.82	10.03	5.17	101.82
114.17	-102.96	39.72	17.81	152.71	39.72	-0.66	152.71
116.63	-100.31	22.95	14.22	153.18	22.95	0.21	153.18
115.90	-103.76	9.37	17.45	154.58	9.37	6.85	154.58

3er Ensayo - muro c/ arriostre

R*i	S*i	T*i	U*i	V*i	W*i	Xi	Yi
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
21.60	-41.97	39.31	21.71	41.92	39.31	3.21	41.92
22.23	-39.04	22.61	18.95	40.73	22.61	4.86	40.73
23.00	-38.46	10.03	18.03	41.03	10.03	7.23	41.03
69.91	-76.09	39.37	21.54	101.06	39.37	3.03	101.06
72.47	-73.25	22.54	17.74	101.50	22.54	3.72	101.50
74.04	-69.32	10.68	13.63	100.51	10.68	2.82	100.51
115.21	-101.23	39.82	15.79	152.54	39.82	-2.64	152.54
116.38	-100.58	22.94	14.59	153.13	22.94	0.57	153.13
116.15	-103.51	9.51	17.11	154.64	9.51	6.48	154.64

Zi	Δxi	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	1.23	426.88	72.937	9.696	-0.017	-0.17
24.71	1.05	429.28	89.619	11.792	-0.002	-0.02
12.32	0.61	429.98	102.160	13.365	-0.045	-0.34
41.57	4.01	399.87	72.436	10.268	0.210	2.00
24.33	1.47	401.90	89.464	12.550	0.105	0.83
11.81	0.44	402.64	102.130	14.233	0.113	0.79
40.94	0.01	383.19	72.250	10.678	0.308	2.80
23.90	0.62	385.05	89.301	13.057	0.186	1.40
11.62	0.27	382.27	102.692	15.037	0.086	0.57

Zi	Δxi	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	0.09	427.24	72.697	9.657	-0.007	-0.07
24.71	0.04	431.88	88.967	11.640	0.110	0.94
12.22	-0.17	430.93	101.997	13.316	-0.012	-0.09
41.57	2.13	401.19	71.933	10.165	0.198	1.91
24.33	0.50	402.72	89.184	12.487	0.117	0.93
11.77	-0.07	403.08	102.068	14.210	0.103	0.72
40.94	0.27	382.66	72.383	10.711	0.227	2.07
23.81	-0.15	385.93	89.154	13.008	0.200	1.51
11.54	-0.14	382.42	102.727	15.036	0.038	0.25

Zi	Δxi	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
41.56	1.20	426.77	72.786	9.679	-0.008	-0.09
24.71	0.90	429.73	89.491	11.764	0.018	0.15
12.32	0.45	430.35	102.072	13.343	-0.019	-0.14
41.57	4.22	398.29	72.730	10.349	0.147	1.40
24.33	1.33	401.54	89.561	12.574	0.123	0.97
11.81	0.44	405.68	101.421	14.036	0.294	2.05
40.52	-0.74	384.63	72.283	10.643	0.381	3.45
23.90	0.29	385.59	89.162	13.020	0.270	2.03
11.58	-0.07	382.73	102.590	15.005	0.095	0.63

Puntos de referencia		Ensayo -								
		0°			5°			10°		
		°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	H	4	23	57	3	47	44	3	16	36
2	H	4	16	51	3	47	46	3	22	33
3	H	4	8	35	3	49	6	3	29	51
4	H	11	58	54	11	26	14	10	58	27
5	H	11	52	34	11	28	15	11	4	53
6	H	11	47	6	11	28	54	11	11	26
7	H	20	46	33	20	21	55	20	0	45
8	H	20	43	18	20	25	24	20	9	16
9	H	20	40	7	20	25	34	20	12	39



muro c/ tarrajeo											
15°			20°			25°			30°		
°	'	"	°	'	"	°	'	"	°	'	"
2	41	27	2	11	42	1	38	33	1	6	16
2	58	24	2	35	33	2	10	39	1	46	44
3	9	55	2	53	9	2	36	13	2	17	20
10	26	57	10	1	1	9	33	18	9	3	11
10	44	7	10	25	48	10	3	49	9	41	43
10	54	50	10	40	27	10	24	12	10	9	6
19	37	51	19	19	28	18	57	3	18	33	31
19	51	23	19	36	37	19	21	42	19	5	43
20	0	21	19	48	33	19	38	21	19	25	25



		Ensayo -								
Puntos de referencia		0°			5°			10°		
		°	'	"	°	'	"	°	'	"
1	V	101	56	20	102	13	49	102	29	59
2	V	104	21	28	104	36	45	104	51	33
3	V	106	11	12	106	25	39	106	38	11
4	V	102	57	19	103	15	13	103	36	0
5	V	105	33	0	105	52	3	106	8	20
6	V	107	31	31	107	49	5	108	4	11
7	V	103	48	7	104	11	34	104	33	30
8	V	106	35	18	106	55	39	107	14	26
9	V	108	37	11	108	54	28	109	11	5



muro c/ tarrajeo											
15°			20°			25°			30°		
o	'	''	o	'	''	o	'	''	o	'	''
102	51	29	103	12	27	103	38	0	104	7	39
105	9	55	105	26	48	105	46	47	106	5	42
106	53	14	107	7	51	107	22	57	107	39	48
104	0	16	104	26	6	104	57	21	105	31	5
106	29	8	106	49	51	107	15	14	107	39	47
108	21	31	108	37	28	108	56	44	109	14	10
105	2	43	105	33	4	106	9	12	106	47	17
107	38	36	108	3	55	108	31	47	108	59	32
109	30	58	109	50	44	110	14	28	110	34	5



Ensayo -						
Puntos de referencia	0°		5°		10°	
	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i
1	4.399	11.939	3.796	12.230	3.277	12.500
2	4.281	14.358	3.796	14.613	3.376	14.859
3	4.143	16.187	3.818	16.428	3.498	16.636
4	11.982	12.955	11.437	13.254	10.974	13.600
5	11.876	15.550	11.471	15.868	11.081	16.139
6	11.785	17.525	11.482	17.818	11.191	18.070
7	20.776	13.802	20.365	14.193	20.013	14.558
8	20.722	16.588	20.423	16.928	20.154	17.241
9	20.669	18.620	20.426	18.908	20.211	19.185

Hteodolito
cm
153.9



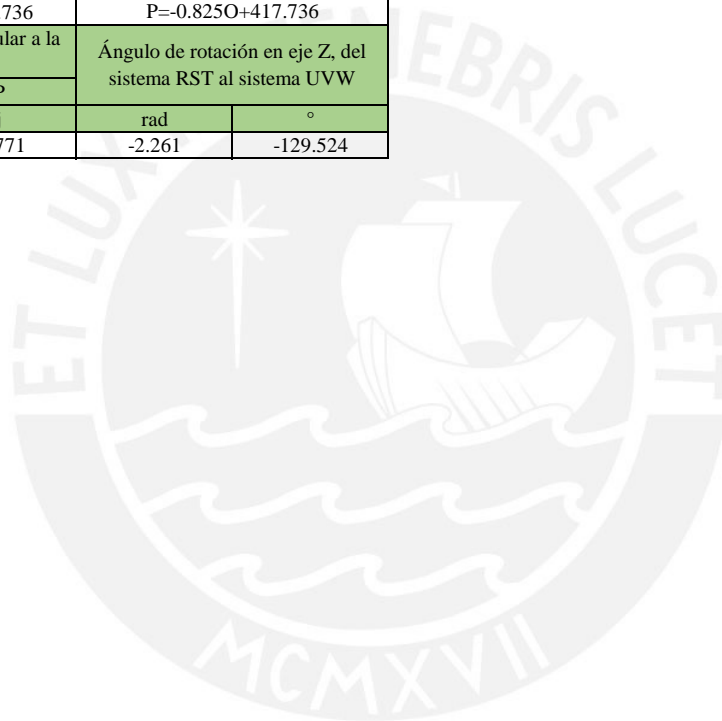
muro c/ tarrajeo							
15°		20°		25°		30°	
ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i	ψ_i	ϕ_i
2.691	12.858	2.195	13.208	1.643	13.633	1.104	14.128
2.973	15.165	2.593	15.447	2.178	15.780	1.779	16.095
3.165	16.887	2.886	17.131	2.604	17.383	2.289	17.663
10.449	14.004	10.017	14.435	9.555	14.956	9.053	15.518
10.735	16.486	10.430	16.831	10.064	17.254	9.695	17.663
10.914	18.359	10.674	18.624	10.403	18.946	10.152	19.236
19.631	15.045	19.324	15.551	18.951	16.153	18.559	16.788
19.856	17.643	19.610	18.065	19.362	18.530	19.095	18.992
20.006	19.516	19.809	19.846	19.639	20.241	19.424	20.568



Ensayo - muro c/ tarrajeo				
Puntos de referencia	Qo	Dop	Oo	Po
	cm	cm	cm	cm
1	72.45	385.21	29.55	384.08
2	55.05	386.18	28.83	385.10
3	41.85	386.01	27.89	385.01
4	72.45	354.06	73.50	346.35
5	55.05	355.24	73.11	347.63
6	41.85	354.83	72.47	347.35
7	72.45	331.56	117.61	310.00
8	55.05	331.83	117.41	310.37
9	41.85	332.57	117.39	311.17



Ensayo - muro c/ tarrajeo			
Puntos de Referencia para eje de recta A			
Punto 1		Punto 2	
O	P	O	P
m	m	m	m
27.89	385.01	117.39	311.17
Vector unitario paralelo a la recta A		Ángulo de vector unitario respecto al eje O	
O	P		
i	j	rad	°
0.771	-0.636	-0.690	-39.524
Recta A: borde ideal del interior del tope			
m	b	Expresión algebraica	
-0.825	408.013	$P = -0.825O + 408.013$	
Punto de recta A en eje P		Punto de recta B en eje P	
O	P	O	P
m	m	m	m
0.00	408.01	0.00	417.74
Recta B: eje ideal del modelo, paralela a recta A			
m	b	Expresión algebraica	
-0.825	417.736	$P = -0.825O + 417.736$	
Vector unitario perpendicular a la recta B		Ángulo de rotación en eje Z, del sistema RST al sistema UVW	
O	P		
i	j	rad	°
-0.636	-0.771	-2.261	-129.524



Ensayo - muro c/ tarrajeo						
Puntos de referencia	Ro	So	To	Uo = Xo	Vo = Yo	Wo = Zo
	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	29.55	-33.66	42.45	7.16	44.21	42.45
2	28.83	-32.64	25.05	6.83	43.01	25.05
3	27.89	-32.73	11.85	7.50	42.34	11.85
4	73.50	-71.39	42.45	8.29	102.13	42.45
5	73.11	-70.10	25.05	7.55	101.00	25.05
6	72.47	-70.38	11.85	8.17	100.69	11.85
7	117.61	-107.74	42.45	8.26	159.28	42.45
8	117.41	-107.37	25.05	8.10	158.90	25.05
9	117.39	-106.57	11.85	7.50	158.37	11.85



Ensayo - muro c/ tarrajeo			
Puntos de referencia	Rectas Ci: en dirección del movimiento de los puntos		
	mi	bi	Expresión algebraica
1	1.212	348.266	$P=1.212O+348.266$
2	1.212	350.162	$P=1.212O+350.162$
3	1.212	351.205	$P=1.212O+351.205$
4	1.212	257.261	$P=1.212O+257.261$
5	1.212	259.028	$P=1.212O+259.028$
6	1.212	259.517	$P=1.212O+259.517$
7	1.212	167.457	$P=1.212O+167.457$
8	1.212	168.063	$P=1.212O+168.063$
9	1.212	168.895	$P=1.212O+168.895$



Ángulo de inclinación		-5					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	13.45	44.21	41.66	25.54	-38.51	41.66	25.54
2	11.60	43.01	24.36	25.79	-36.32	24.36	25.79
3	11.12	42.34	11.15	25.58	-35.53	11.15	25.58
4	14.58	102.13	41.57	69.50	-76.24	41.57	69.50
5	12.32	101.00	24.30	70.07	-73.78	24.30	70.07
6	11.79	100.69	11.09	70.17	-73.18	11.09	70.17
7	14.55	159.28	41.57	113.61	-112.59	41.57	113.61
8	12.87	158.90	24.25	114.38	-111.05	24.25	114.38
9	11.12	158.37	11.15	115.08	-109.36	11.15	115.08



Pi	Qi	mo	O*j	P*j	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
379.22	71.66	15.07	25.12	378.72	0.658	-0.058	71.61
381.42	54.36	15.07	25.27	380.78	0.819	-0.072	54.29
382.21	41.15	14.98	25.50	382.11	0.126	-0.011	41.14
341.50	71.57	4.94	68.95	340.83	0.859	-0.075	71.49
343.95	54.30	4.93	69.71	343.51	0.571	-0.050	54.25
344.56	41.09	4.92	69.93	344.27	0.376	-0.033	41.06
305.15	71.57	2.69	113.00	304.41	0.952	-0.083	71.49
306.69	54.25	2.69	114.05	306.29	0.510	-0.045	54.20
308.37	41.15	2.69	114.65	307.85	0.680	-0.059	41.09



Ensayo - muro c/ tarrajeo							
R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	X _i	Y _i
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
25.12	-39.02	41.61	14.11	44.21	41.61	7.82	44.21
25.27	-36.95	24.29	12.42	43.01	24.29	7.65	43.01
25.50	-35.62	11.14	11.25	42.34	11.14	7.62	42.34
68.95	-76.90	41.49	15.44	102.13	41.49	9.15	102.13
69.71	-74.22	24.25	12.89	101.00	24.25	8.12	101.00
69.93	-73.47	11.06	12.17	100.69	11.06	8.55	100.69
113.00	-113.32	41.49	15.50	159.28	41.49	9.22	159.28
114.05	-111.44	24.20	13.38	158.90	24.20	8.61	158.90
114.65	-109.89	11.09	11.80	158.37	11.09	8.18	158.37



Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
42.45	0.66	379.55	82.293	12.233	-0.003	-0.03
25.05	0.82	381.62	99.612	14.629	-0.017	-0.11
11.85	0.13	382.96	112.760	16.406	0.021	0.13
42.45	0.86	347.74	82.409	13.332	-0.079	-0.59
25.05	0.57	350.51	99.653	15.871	-0.003	-0.02
11.85	0.38	351.30	112.840	17.807	0.011	0.06
42.45	0.96	324.71	82.415	14.242	-0.049	-0.34
25.05	0.51	326.84	99.696	16.963	-0.036	-0.21
11.85	0.68	328.50	112.808	18.953	-0.045	-0.24



Ángulo de inclinación		-10					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	19.66	44.21	40.56	21.59	-43.30	40.56	21.59
2	16.31	43.01	23.48	22.79	-39.95	23.48	22.79
3	14.68	42.34	10.37	23.32	-38.27	10.37	23.32
4	20.77	102.13	40.37	65.56	-81.02	40.37	65.56
5	17.02	101.00	23.36	67.08	-77.41	23.36	67.08
6	15.34	100.69	10.25	67.91	-75.91	10.25	67.91
7	20.74	159.28	40.37	109.66	-117.37	40.37	109.66
8	17.56	158.90	23.26	111.39	-114.67	23.26	111.39
9	14.68	158.37	10.37	112.82	-112.11	10.37	112.82



Pi	Qi	mo	O*j	P*j	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
374.44	70.56	17.47	21.43	374.23	0.263	-0.046	70.52
377.78	53.48	16.95	22.25	377.12	0.858	-0.151	53.33
379.47	40.37	16.36	23.18	379.30	0.214	-0.038	40.33
336.72	70.37	5.16	65.21	336.30	0.544	-0.096	70.27
340.33	53.36	5.11	66.52	339.65	0.874	-0.154	53.20
341.82	40.25	5.05	67.53	341.37	0.587	-0.103	40.15
300.37	70.37	2.75	109.19	299.80	0.742	-0.131	70.24
303.07	53.26	2.72	111.11	302.73	0.442	-0.078	53.19
305.63	40.37	2.72	112.27	304.97	0.854	-0.151	40.22



Ensayo - muro c/ tarrajeo							
R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	X _i	Y _i
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
21.43	-43.50	40.52	19.92	44.21	40.52	7.43	44.21
22.25	-40.61	23.33	17.17	43.01	23.33	7.70	43.01
23.18	-38.43	10.33	14.89	42.34	10.33	7.72	42.34
65.21	-81.44	40.27	21.32	102.13	40.27	8.84	102.13
66.52	-78.08	23.20	17.89	101.00	23.20	8.44	101.00
67.53	-76.37	10.15	15.93	100.69	10.15	8.77	100.69
109.19	-117.94	40.24	21.48	159.28	40.24	9.01	159.28
111.11	-115.01	23.19	18.00	158.90	23.19	8.55	158.90
112.27	-112.77	10.22	15.53	158.37	10.22	8.37	158.37



Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
42.45	0.27	374.85	83.384	12.541	-0.042	-0.33
25.05	0.87	377.78	100.568	14.907	-0.048	-0.32
11.85	0.22	380.01	113.570	16.639	-0.003	-0.02
42.45	0.55	342.56	83.630	13.719	-0.119	-0.88
25.05	0.89	346.11	100.695	16.222	-0.083	-0.51
11.85	0.60	347.98	113.752	18.102	-0.032	-0.18
42.45	0.75	319.06	83.660	14.693	-0.134	-0.92
25.05	0.45	322.47	100.715	17.345	-0.104	-0.60
11.85	0.87	324.98	113.683	19.281	-0.096	-0.50



Ángulo de inclinación		-15					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Si	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	25.76	44.21	39.15	17.71	-48.00	39.15	17.71
2	20.93	43.01	22.43	19.85	-43.52	22.43	19.85
3	18.16	42.34	9.51	21.10	-40.96	9.51	21.10
4	26.85	102.13	38.86	61.69	-85.71	38.86	61.69
5	21.63	101.00	22.24	64.15	-80.96	22.24	64.15
6	18.81	100.69	9.33	65.70	-78.59	9.33	65.70
7	26.82	159.28	38.87	105.80	-122.05	38.87	105.80
8	22.16	158.90	22.10	108.46	-118.22	22.10	108.46
9	18.16	158.37	9.51	110.60	-114.80	9.51	110.60



Pi	Qi	mo	O*j	P*j	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
369.73	69.15	21.28	17.36	369.30	0.558	-0.149	69.00
374.22	52.43	19.25	19.41	373.69	0.691	-0.185	52.24
376.78	39.51	18.08	20.82	376.44	0.445	-0.119	39.39
332.03	68.86	5.42	61.10	331.32	0.926	-0.248	68.61
336.77	52.24	5.27	63.76	336.31	0.606	-0.162	52.08
339.14	39.33	5.19	65.30	338.66	0.623	-0.167	39.16
295.68	68.87	2.80	105.22	294.98	0.910	-0.244	68.62
299.52	52.10	2.77	107.94	298.88	0.827	-0.222	51.88
302.94	39.51	2.75	110.06	302.28	0.848	-0.227	39.28



Ensayo - muro c/ tarrajeo							
R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	X _i	Y _i
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
17.36	-48.43	39.00	26.31	44.21	39.00	7.74	44.21
19.41	-44.05	22.24	21.63	43.01	22.24	7.55	43.01
20.82	-41.30	9.39	18.61	42.34	9.39	7.96	42.34
61.10	-86.42	38.61	27.77	102.13	38.61	9.25	102.13
63.76	-81.43	22.08	22.23	101.00	22.08	8.18	101.00
65.30	-79.07	9.16	19.44	100.69	9.16	8.82	100.69
105.22	-122.76	38.62	27.73	159.28	38.62	9.20	159.28
107.94	-118.85	21.88	22.99	158.90	21.88	8.95	158.90
110.06	-115.45	9.28	19.01	158.37	9.28	8.38	158.37



Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
42.45	0.58	369.71	84.899	12.933	-0.075	-0.58
25.05	0.72	374.19	101.656	15.199	-0.033	-0.22
11.85	0.46	377.01	114.514	16.896	-0.009	-0.05
42.45	0.96	336.90	85.290	14.206	-0.202	-1.44
25.05	0.63	342.30	101.820	16.566	-0.080	-0.49
11.85	0.64	344.90	114.735	18.400	-0.042	-0.23
42.45	0.94	313.18	85.278	15.232	-0.187	-1.24
25.05	0.86	317.77	102.021	17.799	-0.156	-0.88
11.85	0.88	321.70	114.622	19.611	-0.095	-0.49



Ángulo de inclinación		-20					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	31.72	44.21	37.44	13.92	-52.60	37.44	13.92
2	25.46	43.01	21.20	16.97	-47.01	21.20	16.97
3	21.57	42.34	8.57	18.93	-43.59	8.57	18.93
4	32.78	102.13	37.05	57.92	-90.28	37.05	57.92
5	26.13	101.00	20.96	61.28	-84.44	20.96	61.28
6	22.20	100.69	8.34	63.54	-81.21	8.34	63.54
7	32.75	159.28	37.07	102.02	-126.63	37.07	102.02
8	26.65	158.90	20.77	105.61	-121.68	20.77	105.61
9	21.57	158.37	8.57	108.43	-117.43	8.57	108.43



Pi	Qi	mo	O*j	P*j	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
365.13	67.44	26.09	14.00	365.23	0.128	-0.047	67.39
370.73	51.20	22.09	16.78	370.49	0.307	-0.112	51.09
374.15	38.57	19.84	18.86	374.06	0.119	-0.043	38.53
327.45	67.05	5.66	57.82	327.34	0.154	-0.056	67.00
333.30	50.96	5.43	61.37	333.41	0.147	-0.054	50.90
336.53	38.34	5.31	63.40	336.36	0.224	-0.081	38.26
291.10	67.07	2.85	102.13	291.24	0.173	-0.063	67.00
296.06	50.77	2.81	105.39	295.79	0.344	-0.125	50.64
300.31	38.57	2.78	107.97	299.76	0.714	-0.260	38.31



Ensayo - muro c/ tarrajeo							
R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	X _i	Y _i
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
14.00	-52.50	37.39	31.59	44.21	37.39	7.05	44.21
16.78	-47.24	21.09	25.76	43.00	21.09	7.16	43.00
18.86	-43.68	8.53	21.69	42.34	8.53	7.63	42.34
57.82	-90.40	37.00	32.93	102.13	37.00	8.45	102.13
61.37	-84.32	20.90	25.99	101.00	20.90	7.43	101.00
63.40	-81.38	8.26	22.43	100.69	8.26	8.41	100.69
102.13	-126.50	37.00	32.58	159.28	37.00	8.12	159.28
105.39	-121.94	20.64	26.99	158.90	20.64	8.47	158.90
107.97	-117.98	8.31	22.29	158.37	8.31	8.26	158.37



Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
42.36	-0.10	365.50	86.505	13.316	-0.108	-0.82
25.05	0.33	370.87	102.808	15.494	-0.047	-0.30
11.85	0.13	374.53	115.373	17.121	0.010	0.06
42.45	0.16	332.40	86.901	14.651	-0.216	-1.50
24.95	-0.12	339.01	102.996	16.899	-0.069	-0.41
11.85	0.24	342.28	115.641	18.668	-0.043	-0.23
42.33	-0.14	308.63	86.898	15.725	-0.174	-1.12
25.05	0.37	314.00	103.256	18.203	-0.137	-0.76
11.85	0.76	318.61	115.589	19.940	-0.095	-0.48



Ángulo de inclinación		-25					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Si	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	37.52	44.21	35.45	10.23	-57.08	35.45	10.23
2	29.87	43.01	19.82	14.17	-50.41	19.82	14.17
3	24.89	42.34	7.57	16.82	-46.15	7.57	16.82
4	38.54	102.13	34.97	54.25	-94.73	34.97	54.25
5	30.52	101.00	19.51	58.49	-87.82	19.51	58.49
6	25.50	100.69	7.29	61.44	-83.75	7.29	61.44
7	38.52	159.28	34.98	98.35	-131.08	34.98	98.35
8	31.02	158.90	19.28	102.83	-125.05	19.28	102.83
9	24.89	158.37	7.57	106.31	-119.99	7.57	106.31



Pi	Qi	mo	O*j	P*j	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
360.66	65.45	34.87	10.35	360.81	0.189	-0.088	65.36
367.33	49.82	26.30	13.96	367.08	0.326	-0.152	49.66
371.59	37.57	21.99	16.90	371.69	0.133	-0.062	37.51
323.01	64.97	5.94	54.40	323.20	0.244	-0.114	64.86
329.92	49.51	5.63	58.57	330.01	0.125	-0.058	49.45
333.98	37.29	5.45	61.28	333.79	0.248	-0.116	37.17
286.66	64.98	2.91	98.49	286.82	0.210	-0.098	64.88
292.69	49.28	2.85	102.87	292.74	0.070	-0.032	49.25
297.75	37.57	2.80	106.21	297.62	0.171	-0.080	37.49



Ensayo - muro c/ tarrajeo							
R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	X _i	Y _i
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
10.35	-56.93	35.36	37.33	44.21	35.36	7.02	44.21
13.96	-50.66	19.66	30.19	43.00	19.66	7.19	43.00
16.90	-46.05	7.51	24.76	42.34	7.51	7.40	42.34
54.40	-94.54	34.86	38.30	102.13	34.86	8.12	102.13
58.57	-87.72	19.45	30.39	101.00	19.45	7.46	101.00
61.28	-83.94	7.17	25.75	100.69	7.17	8.44	100.69
98.49	-130.91	34.88	38.31	159.28	34.88	8.11	159.28
102.87	-124.99	19.25	30.95	158.90	19.25	8.05	158.90
106.21	-120.12	7.49	25.07	158.37	7.49	7.69	158.37



Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
42.29	-0.13	360.95	88.541	13.782	-0.149	-1.09
25.05	0.36	367.34	104.235	15.842	-0.062	-0.39
11.74	-0.09	372.07	116.391	17.371	0.012	0.07
42.24	-0.17	327.75	89.045	15.200	-0.244	-1.63
24.94	-0.09	335.17	104.445	17.308	-0.054	-0.31
11.85	0.27	339.37	116.729	18.981	-0.036	-0.19
42.27	-0.15	303.26	89.016	16.359	-0.205	-1.27
24.99	-0.05	310.29	104.652	18.638	-0.108	-0.58
11.85	0.19	316.00	116.409	20.223	0.018	0.09



Ángulo de inclinación		-30					
Puntos de referencia	Ui	Vi	Wi	Ri	Sf	Ti	Oi
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
1	43.13	44.21	33.18	6.65	-61.41	33.18	6.65
2	34.15	43.01	18.28	11.44	-53.71	18.28	11.44
3	28.13	42.34	6.51	14.76	-48.64	6.51	14.76
4	44.11	102.13	32.62	50.70	-99.02	32.62	50.70
5	34.77	101.00	17.92	55.78	-91.10	17.92	55.78
6	28.71	100.69	6.18	59.40	-86.23	6.18	59.40
7	44.09	159.28	32.63	94.81	-135.37	32.63	94.81
8	35.25	158.90	17.64	100.13	-128.31	17.64	100.13
9	28.13	158.37	6.51	104.26	-122.48	6.51	104.26



Pi	Qi	mo	O*j	P*j	dOi	dQi	Q*i
cm	cm	Tan(90-ψ)	cm	cm	cm	cm	cm
356.33	63.18	51.87	6.87	356.60	0.349	-0.201	62.98
364.03	48.28	32.20	11.30	363.86	0.220	-0.127	48.15
369.09	36.51	25.02	14.75	369.08	0.012	-0.007	36.51
318.71	62.62	6.28	50.80	318.83	0.152	-0.087	62.53
326.64	47.92	5.85	55.81	326.67	0.046	-0.026	47.89
331.51	36.18	5.58	59.35	331.45	0.081	-0.047	36.13
282.36	62.63	2.98	94.79	282.35	0.021	-0.012	62.62
289.43	47.64	2.89	100.24	289.55	0.167	-0.096	47.55
295.25	36.51	2.84	104.00	294.95	0.397	-0.229	36.28



Ensayo - muro c/ tarrajeo							
R* _i	S* _i	T* _i	U* _i	V* _i	W* _i	X _i	Y _i
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
6.87	-61.14	32.98	42.78	44.21	32.98	6.96	44.21
11.30	-53.88	18.15	34.37	43.00	18.15	7.08	43.00
14.75	-48.65	6.51	28.14	42.34	6.51	7.51	42.34
50.80	-98.90	32.53	43.96	102.13	32.53	8.20	102.13
55.81	-91.06	17.89	34.72	101.00	17.89	7.52	101.00
59.35	-86.29	6.13	28.79	100.69	6.13	8.26	100.69
94.79	-135.39	32.62	44.11	159.28	32.62	8.28	159.28
100.24	-128.18	17.55	35.08	158.90	17.55	8.00	158.90
104.00	-122.79	6.28	28.52	158.37	6.28	7.96	158.37



Zi	Δx_i	Dop*	dhi	ϕ^*i	$\phi_i - \phi^*i$	Error
cm	cm	cm	cm	°	°	%
42.10	-0.20	356.66	90.918	14.301	-0.173	-1.23
25.05	0.25	364.03	105.748	16.198	-0.103	-0.64
11.85	0.01	369.38	117.394	17.631	0.032	0.18
42.30	-0.09	322.85	91.370	15.802	-0.284	-1.83
25.00	-0.03	331.40	106.007	17.738	-0.075	-0.42
11.85	0.09	336.72	117.770	19.278	-0.042	-0.22
42.45	0.02	297.83	91.279	17.039	-0.251	-1.50
24.88	-0.10	306.41	106.352	19.141	-0.149	-0.78
11.85	0.46	312.75	117.616	20.610	-0.042	-0.20

