

EVALUACIÓN DE PRISMAS DE ADOBE DE UN MURO EXPUESTO A AMENAZAS CLIMÁTICAS Y SISMOS

Bertha Yolanda Solís Villagrán¹, Mario Rodolfo Corzo Ávila²

¹Universidad de San Carlos de Guatemala -Facultad de Ingeniería, Guatemala, titasolis19@gmail.com

²Universidad de San Carlos de Guatemala -Facultad de Ingeniería Sección de Estructuras del Cii-, Guatemala, sabandijaretorcida@yahoo.com.mx

Palabras clave: módulo de Poisson, resiliencia, deformaciones, esfuerzos

Resumen

Se realiza la evaluación de un muro al aire libre de adobe expuesto a amenazas climáticas y sismos el cual fue construido en la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería (Cii) en el año 2003. Mediante la obtención de prismas para determinar su resistencia ante esfuerzos de compresión y corte, tanto para los adobes como para el mortero de pega, por medio de la realización de ensayos a corte a los prismas de adobe con distintas proporciones de mortero, se realizaron ensayos a compresión y corte de especímenes cúbicos del mortero de pega para el adobe utilizado en los prismas, obteniendo así las propiedades mecánicas tanto para los prismas como para el mortero de pega. Dichos prismas de adobe ensayados a corte trabajan como un sistema, donde sus resultados mediante el gráfico esfuerzo versus deformación exponen que el cortante de diseño y trabajo están en los rangos permisibles, dentro de la región elástica incluyendo la resiliencia. Los datos de adobe configurados luego de los ensayos han tenido un agotamiento estructural en sus resultados ante los esfuerzos solicitados, concluyendo así que el muro de adobe está en óptimas condiciones después del paso de más de 20 años.

1 INTRODUCCIÓN

En un país como Guatemala con alto grado de movimientos tectónicos, por la actuación cercana en el territorio de las placas: norteamericana, Caribe y Cocos, y amenazas climáticas, es trascendental evaluar los materiales empleados en la obra civil como las características del comportamiento de las edificaciones de tierra. Relacionadas a su resistencia, el cual se puede basar principalmente en su capacidad a esfuerzos a compresión, y con una integridad adecuada de refuerzo en su sistema estructural, puede tener la disposición de soportar esfuerzos cortantes. Debido a lo anterior surge esta investigación, que evalúa esfuerzos de corte y compresión de prismas y dados, cuyos sus materiales se extraen del muro de tierra al aire libre construido en el año 2003.

2 OBJETIVO

Evaluar, mediante el ensayo de prismas, las condiciones físicas, mecánicas y estructurales de componentes del muro a base del material tierra construido hace aproximadamente 20 años, situado al aire libre, siendo expuesto a diferentes niveles de actividad sísmica y a condiciones climáticas extremas.

3 MARCO TEORICO

En Guatemala no existe un reglamento que regulé o evalué el correcto funcionamiento de las construcciones con tierra, por lo que para la redacción e interpretación de los resultados de este artículo científico se utiliza la norma E.080 (2017), que dice:

los dados o cubos de tierra deben ser ensayados en laboratorio para determinar las propiedades mecánicas, obteniendo los esfuerzos de ruptura mínimos para medir la resistencia del material

tierra a la compresión y establece la resistencia última a la compresión en cubos mínima con un valor de 1.0 MPa (p.15).

Para los prismas sometidos a corte, la Norma E-80 (2017, p.16) establece que se deben realizar ensayos de laboratorio para determinar el esfuerzo de ruptura mínimo con “una resistencia última de 0.025 MPa, para medir la resistencia del murete a tracción indirecta”.

Adicional a los esfuerzos mínimos de ruptura, Corzo (2014, p.34) menciona una relación entre los esfuerzos de compresión y corte para que se produzca una falla por tensión diagonal en los muros de mampostería obtenido a partir de resultados experimentales, “donde el esfuerzo de compresión es ocho veces el esfuerzo a corte del muro”.

4 METODOLOGÍA EMPLEADA

Se elaboraron prismas de adobe y cubos con el mortero de pega utilizado en los adobes, donde la materia prima para la realización de los especímenes se obtuvo extrayendo dos hiladas horizontales del muro de adobe construido en el año 2003 (figura 1). Utilizando los bloques y el material obtenido del muro, se evalúa su actuación estructural ante esfuerzos de compresión y corte, tanto como unidad y como conjunto (mortero de pega y prisma de adobe), mediante ensayos de laboratorio. Los especímenes y los dados de adobe llevaron un proceso de curado, el cual consiste en rociar agua en los prismas de manera constante y sumergir los dados por completo en agua.



Figura 1: Muestra del muro a evaluar y la obtención de la materia prima para la realización de los prismas y los cubos ensayados

Los prismas de adobe ensayados a corte se realizan de una forma artesanal, tradicionalmente como hacer una muestra de una sección del muro preexistente, empleando 3 tipos de mortero:

- utilización de suelo arcilloso y cal 1 (SC-1);
- mezcla de suelo arcilloso, talpetate¹, azufre y yeso ATAY-1;
- mezcla de suelo arcilloso, talpetate, azufre y yeso ATAY-2.

¹ Tierra caliza y arenosa que se emplea para pavimentos de carreteras

Para el segundo y tercer prisma son diferentes proporciones para determinar un mortero más eficiente de forma estructural que actué con los adobes para resistir esfuerzos de compresión y corte como sistema.

Para los ensayos de los prismas se realizó el ensayo a corte según los procedimientos de la ASTM E-519/E519M-10 (2010), el cual consiste en aplicar carga de manera uniforme a lo largo de una diagonal del espécimen que va de esquina a esquina. La carga se aplica paralela a la diagonal y se mide la deformación en la muestra tanto vertical como horizontal durante todo el ensayo.

En los ensayos para los cubos de adobe, el ensayo a corte de los cubos se realiza de la misma forma que a los prismas de adobe y bajo el procedimiento de la misma norma, y para el ensayo a compresión se emplea el método especificado en la norma ASTM C109/C109M-11b (2020) y NTG 41003 h4 (2012)

4.1 Materiales utilizados

Los materiales utilizados para la realización de los prismas de adobe y para los cubos son: (a) bloques a partir del muro de mampostería simple a base del material tierra; (b) material para el mortero de pega a partir del muro de mampostería simple a base del material tierra; (c) cal; y, (d) agua

4.2 Equipo utilizado

Para la elaboración de los especímenes de ensayo y para los ensayos se utilizó el siguiente equipo:

- Para la elaboración de los prismas de adobe: (a) cernidor de tierra de $\frac{1}{4}$ de pulgadas; (b) carretilla para la colocación del mortero de pega; (c) arena y bases de madera (d) cuchara de albañil y (e) nivel de burbuja
- Para el ensayo a corte de los prismas de adobe: (a) gato hidráulico (b) apoyos de madera (c) sargentos (d) deformímetros (e) cabezales de metal.
- Para la elaboración de los cubos de adobe: (a) aceite desmoldante; (b) moldes de metal de tres espacios; (c) apisonador de madera.
- Para el ensayo a compresión de los cubos: (a) marco metálico (b) prisma trapezoidal metálico (c) gato hidráulico (d) platinas metálicas (e) sargentos (f) regla numérica.
- Para el ensayo a corte de los cubos: (a) gato hidráulico (b) marco de metal (c) palillos (d) deformímetros (e) cabezales de metal (f) platinas de metal (g) prisma metálico.

4.3 Procedimiento para elaboración de los prismas de adobe

La elaboración de los prismas se realizó a partir de una base plana. Acá se colocó una pieza de madera con arena, en donde se fueron colocando los adobes con el mortero de pega en forma escalonada, hasta cubrir tres hiladas; se niveló tanto vertical como horizontal cada adobe agrupado, y se agregó agua para ayudar a la adherencia del adobe y mortero.

El mortero de pega se realizó con el material obtenido de la extracción de las hiladas del muro. Este material se pasó por un cernidor de $\frac{1}{4}$ de pulgada (6.3 mm), se colocó en una carretilla, luego se le agregó cal y agua; se buscó que la mezcla tuviera una adecuada trabajabilidad. Además, se elaboraron tres prismas con diferentes morteros, con otros materiales como: talpetate, azufre, suelo arcilloso y yeso; los cuales se curaron por medio de la aplicación de agua a todo el sistema del prisma de manera diaria por 21 días, para su ensayo posterior a los 28 días.

La elaboración de los dados de adobe se comenzó vertiendo el mortero de pega en los moldes de metal, se compactaron en dos capas apisonadas, cada compartimento tuvo 4 rondas de apisonado, cada una consistió en 8 golpes, los cuales complementaron 32 golpes, los cubos

se curaron un día en los moldes, luego se desmoldaron y se sumergieron en agua hasta su ensayo a 7, 14 y 28 días. Los cubos tienen dimensiones de 5 cm por lado. Las proporciones de los morteros utilizados en los prismas de adobe se describen en la tabla 1.

Tabla 1: Características de los morteros para los prismas de adobe

Proporción mortero para los prismas	Suelo	Cal	Suelo arcilloso	Talpetate	Azufre	Yeso
Prisma SC-1	2	1	NA	NA	NA	NA
Prisma ATAY-1	NA	NA	3 1/3	3	1/3	3
Prisma ATAY-2	NA	NA	4	3	1/3	3

NA significa no aplica

4.4 Ensayos de laboratorio

Los ensayos para los prismas de adobe consistieron en situar al prisma en forma diagonal (de esquina a esquina), sobre estas esquinas se colocaron cabezales de metal suficientemente rígidos de tal forma que al prisma se le aplicó la carga de forma uniforme a lo largo de una de sus diagonales (parte superior de la diagonal), con el fin de distribuir la carga de compresión en las esquinas. En general en el sistema de ensayo se restringió todo desplazamiento para lograr eficiencia. Durante el ensayo, la carga vertical genera esfuerzos de tensión creciente que se orientan perpendicularmente a la dirección de carga; este campo de esfuerzos de tensión conduce a la falla del prisma a lo largo de una grieta aproximadamente vertical entre las esquinas cargadas. La carga de compresión se generó por la presión de un gato hidráulico con capacidad de 25 toneladas, marca Enerpac modelo RC256 y área efectiva de 33.29 cm² (5.19 plg²)



Figura 2: Ilustración del proceso de carga del sistema de ensayo a corte de los prismas de adobe (tipo SC-1) en la Sección de Estructuras en la Universidad de San Carlos

Para el ensayo a compresión de los cubos de adobe, los cubos se colocaron en un pequeño marco de metal, para proporcionar apoyo y nivelación al sistema de ensayo, se añadieron platinas de acero en la parte inferior y superior del cubo, por lo tanto, el sistema fue eficiente, y no presentó ningún desplazamiento, seguidamente debajo de las platinas que soportaron los cubos se colocó un gato hidráulico de 5 toneladas, marca Enerpac modelo RC-53, con un área efectiva de 6.39 cm^2 (0.99 plg^2).

Los cubos de 50 mm de lado que se sumergieron en agua se retiraron del ambiente húmedo para ensayarlos transcurridos 7, 14 y 28 días a corte, en el marco de metal se situaron los dados en forma diagonal (de esquina a esquina) donde se niveló y se restringió todo desplazamiento: sobre las esquinas se colocaron cabezales de metal suficientemente rígidos para aplicar la carga de forma uniforme a lo largo de una de sus diagonales (parte superior de la diagonal). Se utilizó un gato hidráulico con capacidad de 5 toneladas, marca Enerpac modelo RC53 y área efectiva de 6.39 cm^2 (0.99 plg^2).

5 RESULTADOS

En la figura 2 se muestra el comportamiento del esfuerzo cortante versus la deformación unitaria del prisma de adobe SC-1. Antes de incrementar fuertemente su deformación y perder su energía, se ha anticipado al esfuerzo cortante de 24.43 kPa, identificándose la región elástica; aplicando un factor de reducción de resistencia de $\Phi = 0.85$ se establecieron los esfuerzos cortantes de trabajo de al menos 17.65 kPa y el esfuerzo cortante de diseño de al menos 20.59 kPa, con una pendiente de 0.4 (razón de cambio por 0.15 de deformación sucede 0.06 de esfuerzo a corte).

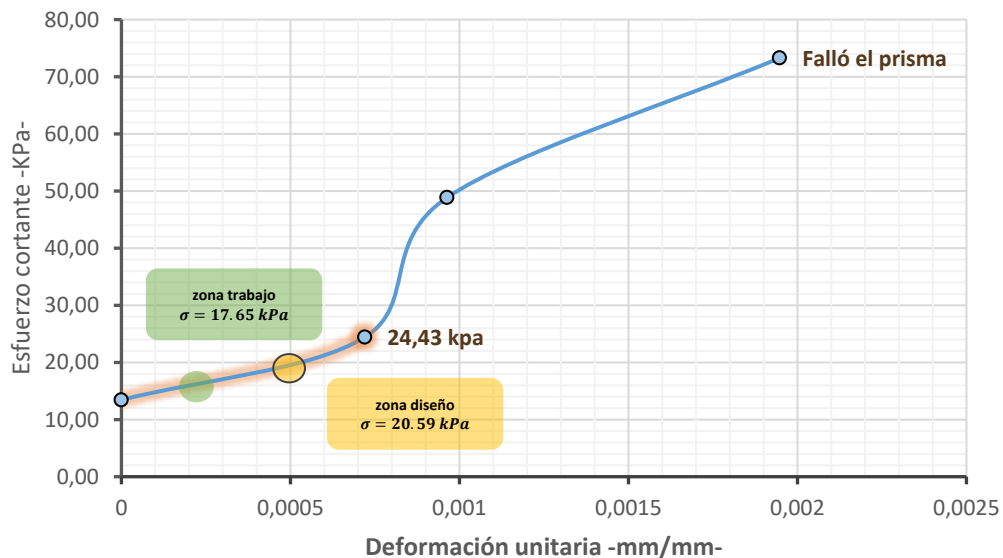


Figura 3: Gráfica del ensayo a corte del prisma de adobe con mortero SC-1

En la figura 4 se muestra el comportamiento del esfuerzo cortante versus la deformación 1 y 2 promedio del prisma de adobe ATAY-1. Antes de incrementar fuertemente su deformación y perder su energía, se ha anticipado al esfuerzo cortante de 22.56 kPa, siendo la zona elástica, aplicando un factor de reducción de resistencia de $\Phi = 0.85$, se estableció el esfuerzo cortante de trabajo de al menos 14.71 kPa y el esfuerzo cortante de diseño de al menos 17.65 kPa, con una pendiente de 1 (razón de cambio por 0.02 de deformación sucede 0.02 de esfuerzo a corte).

El prisma de adobe ATAY-2 a 28 días ante el ensayo a corte soporto, en el proceso de carga, dos ciclos de carga en intervalos de aproximadamente 690 kPa; en su última carga de 4025.14 N, el prisma perdió su capacidad de absorber energía y, con una deformación de

2.56 mm, se identificó una falla diagonal, que se clasifica por tensión diagonal y por corte. En el prisma predominó más la falla por corte en las dos hiladas superiores, lo ocasionó que el mortero por su zona vulnerable de poseer menos resistencia se debilitó y comenzó a fallar en forma escalonada, siguió las juntas del mortero, sin romper el adobe, y la falla por tensión diagonal se presentó en la hilada inferior del prisma. Además, el prisma falló en la junta horizontal entre los adobes por deslizamiento, lo causó la ausencia de una buena adherencia entre el mortero de pega y los adobes.

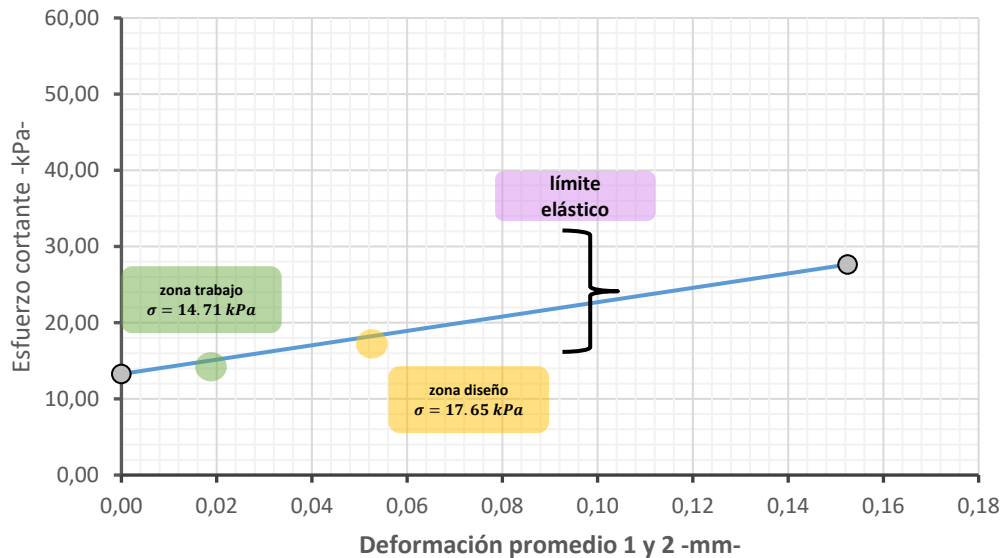


Figura 4: Esfuerzo cortante versus deformación media prisma ATAY-1

En la figura 5 se muestra el comportamiento del esfuerzo cortante versus la deformación promedio 1 y 2 del prisma de adobe ATAY-2. Antes de incrementar fuertemente su deformación y perder su energía, se ha anticipado al esfuerzo cortante de 23.54 kPa representando la zona elástica. Aplicando un factor de reducción de $\phi = 0.85$ se estableció el esfuerzo cortante de trabajo de al menos 16.67 kPa y el esfuerzo cortante de diseño de al menos 19.61 kPa, con pendiente de 0.5 (razón de cambio por 0.1 de deformación sucede 0.05 de esfuerzo a corte).

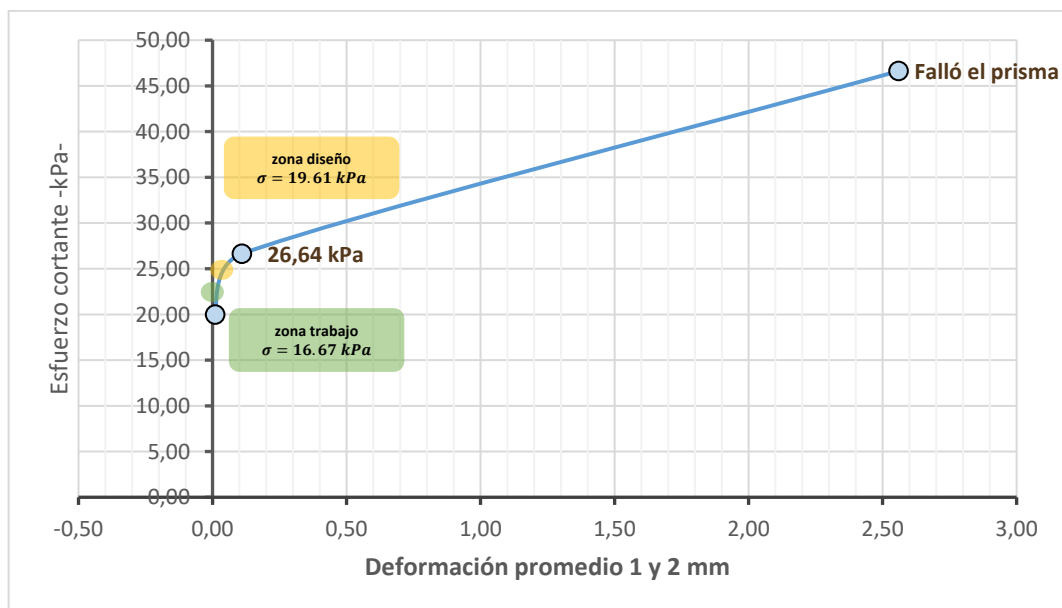


Figura 5: Esfuerzo cortante versus deformación promedio prisma ATAY-2

Se realiza en la figura 6 el promedio entre las deformaciones $L + L_x + LL + L_x + L_v$, mostrando de una manera gráfica el comportamiento que presentó el dado de adobe SC-1 a 14 días. Ante el ensayo a compresión, soporto en el proceso de carga siete ciclos en intervalos de aproximadamente 345 kPa; su curva de forma matemática resultó con una línea de tendencia logarítmica, con una confiabilidad de la línea de tendencia igual a 0.67 ($R=0.67$). Esta tendencia se caracterizó en el prisma en que incrementó el nivel de energía con la deformación ante sus acciones de carga, siendo la región morada en la figura 6 representada por la zona resiliente donde el dado puede recuperarse a su estado original.

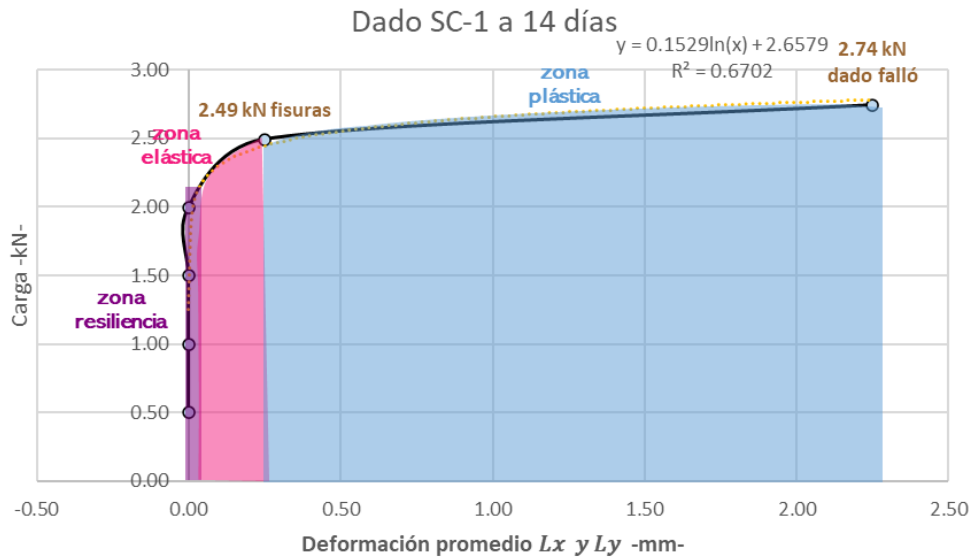


Figura 6: Gráfica carga versus deformación promedio de los datos obtenidos del ensayo a compresión del dado SC-1 a 14 días.

En la figura 7 se muestra el comportamiento del esfuerzo a compresión versus la deformación unitaria del dado SC-1, se caracterizó su comportamiento en el dado en que incrementó el nivel de energía con la deformación ante sus acciones de carga, se incluyó hasta el esfuerzo de 1000.28 kPa, siendo la zona elástica, con una deformación unitaria de 0.0045, aplicando un factor de reducción de resistencia, se estableció el esfuerzo a compresión de diseño de 973.40 kPa con una deformación unitaria de 0.002 y el esfuerzo a compresión de trabajo de 802.18 kPa, con una deformación unitaria de 0.001.

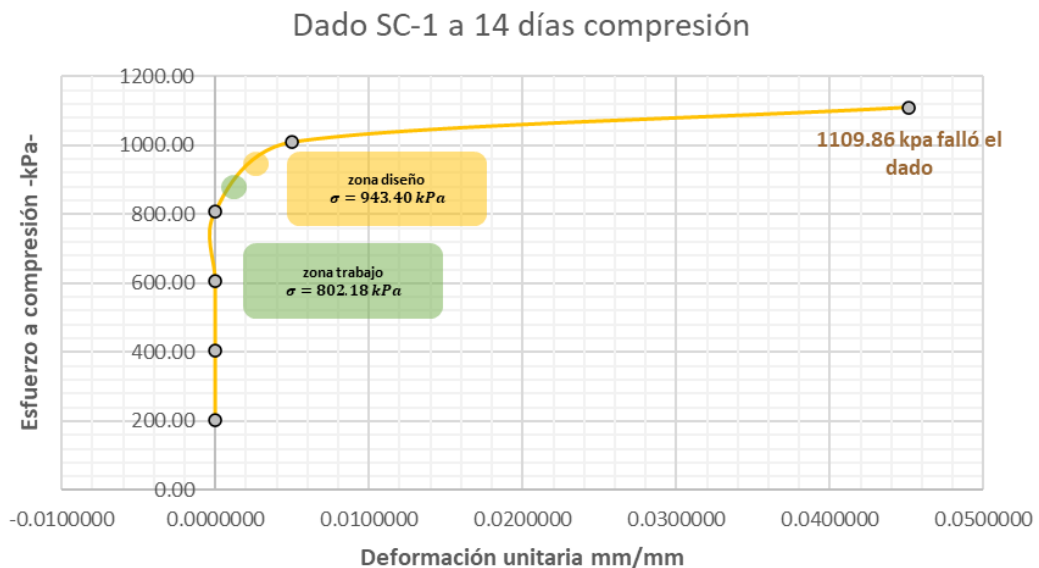


Figura 7: Esfuerzo compresión versus deformación unitaria del dado SC-1 a 14 días

Para evaluar la calidad del adobe, se cortó un cubo de 50 mm de lado partiendo de un adobe utilizado en el prisma para determinar su resistencia a compresión obteniendo los siguientes datos presentados en la tabla 2 y su proceso de ensayo se ilustra en la figura 8.

Tabla 2: Datos del ensayo a compresión del dado cortado 1

Carga aplicada kPa	Carga aplicada N	Carga aplicada N	Lectura deformación L_x mm	Deformación L_x mm	Lectura deformación L_y mm	Deformación L_y mm	Promedio deformación L_x y L_y mm
2757.90	1761.5	800.68	0	0	0	0	0

Datos obtenidos del ensayo a compresión del dado de adobe configurado mediante el material del muro.



Figura 8: Ilustración del proceso de ensayo a compresión para el dado de adobe configurado 1.

En la figura 9 se muestra el comportamiento del esfuerzo a corte versus la deformación unitaria del dado SC-1 a 28 días, se caracterizó en el dado en que incrementó el nivel de energía con la deformación ante sus acciones de carga, siendo la región elástica hasta el esfuerzo de 127.49 kPa con una deformación unitaria de 0.0003, aplicando un factor de reducción de resistencia de $\phi = 0.85$, se estableció el esfuerzo a corte de diseño de 122.58 kPa con una deformación unitaria de 0.00025 mm/mm y el esfuerzo a corte de trabajo de 117.68 kPa, con una deformación de 0.00015 mm/mm, luego de ese esfuerzo el material fue desvaneciendo su resistencia y sus deformaciones se incrementaron fuertemente perdiendo su energía y tenacidad hasta que falló.

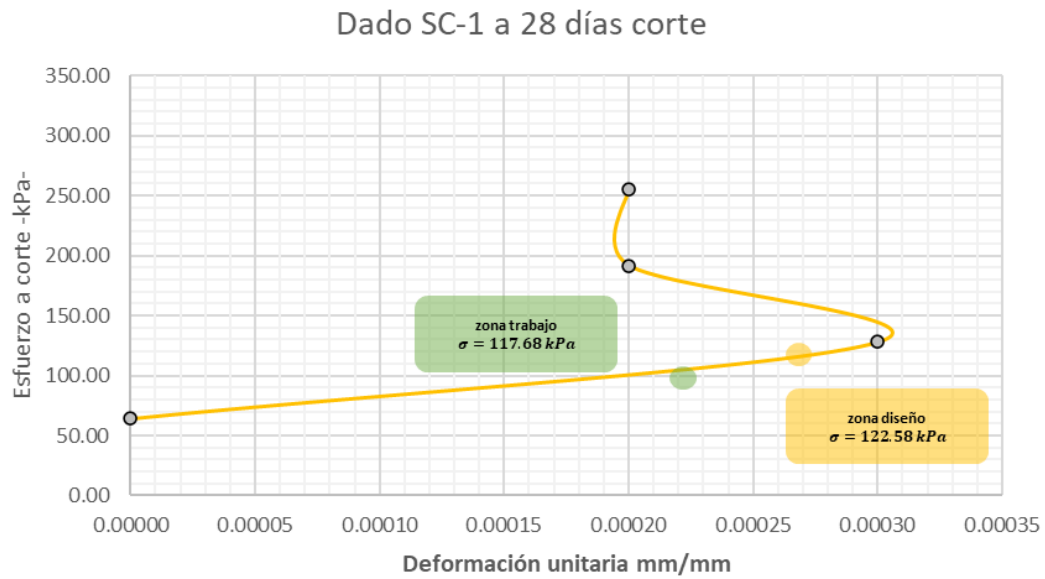


Figura 9. Esfuerzo corte versus deformación unitaria del dado a 28 días SC-1.

Se muestra en la figura 10 el promedio entre las deformaciones L_1 y L_2 y de una manera gráfica el comportamiento que presentó el dado de adobe cortado 3, ante el ensayo a corte, soportando en el sistema de carga seis ciclos en intervalos de aproximadamente 345 kPa, identificando la zona de resiliencia donde el dado puede recuperarse a su estado original, luego la zona elástica donde también el dado puede recuperarse aunque pueda presentar deformaciones leves, en esta zona comenzó con una deformación extensa de 0.08 mm, presentando una carga de 220.65 N.

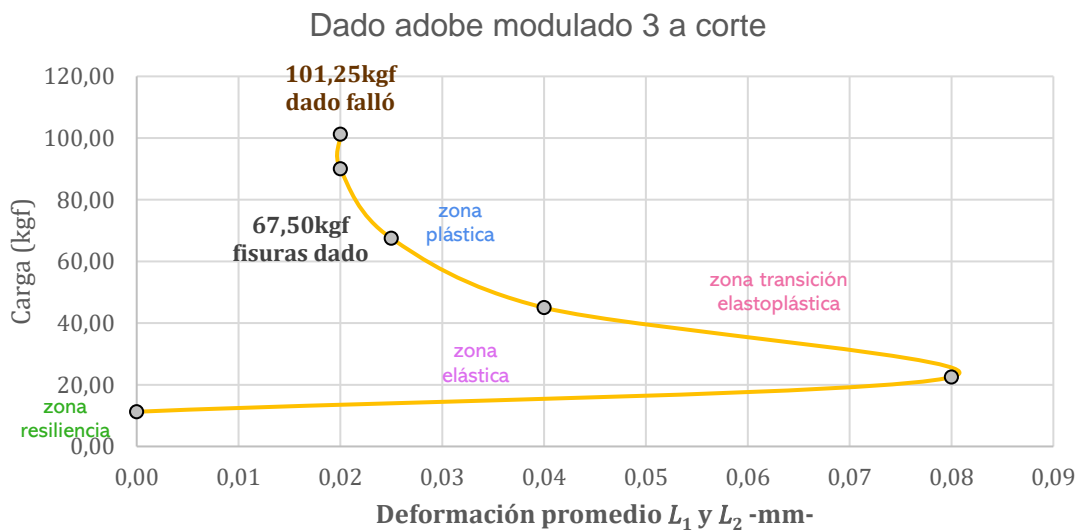


Figura 10. Carga versus deformación media L_1 y L_2 del del ensayo a corte del dado de adobe cortado

6 DISCUSIONES

En la figura 11 se muestra la curva carga versus deformación 1 y 2 promedio del prisma SC-1, Su curva de forma matemática resultó con una línea de tendencia polinomial de tercer grado, con una confiabilidad de la línea de tendencia igual a 1 ($R=1$), se expone la región verde, siendo la zona de resiliencia, indicando que el prisma tiene la capacidad de absorber y liberar energía sin deformarse, reponiéndose a su estado original. Sigue la región morada es la zona

elástica, difiere de la anterior que puede presentar leves deformaciones, pero se puede reponer, luego la región rosada es la zona de transición elastoplástica, dicha zona en este caso particular se caracteriza por tener un punto de inflexión, donde la curva cambia de concavidad, es decir, de una concavidad hacia la izquierda a una hacia la derecha, lo anterior mencionado en el prisma significa la rigidez del elemento ante el incremento de las acciones de carga y la tenacidad que mantiene, seguidamente se pasa a la región azul, siendo la zona plástica, en esta área el prisma presenta deformaciones permanentes que lo conducen a la falla y ya no puede recuperarse, perdiendo toda su energía, además, se caracteriza una tendencia pseudoelástica mostrando puntos equivalentes entre la curva de tendencia y la curva de actuación del prisma.

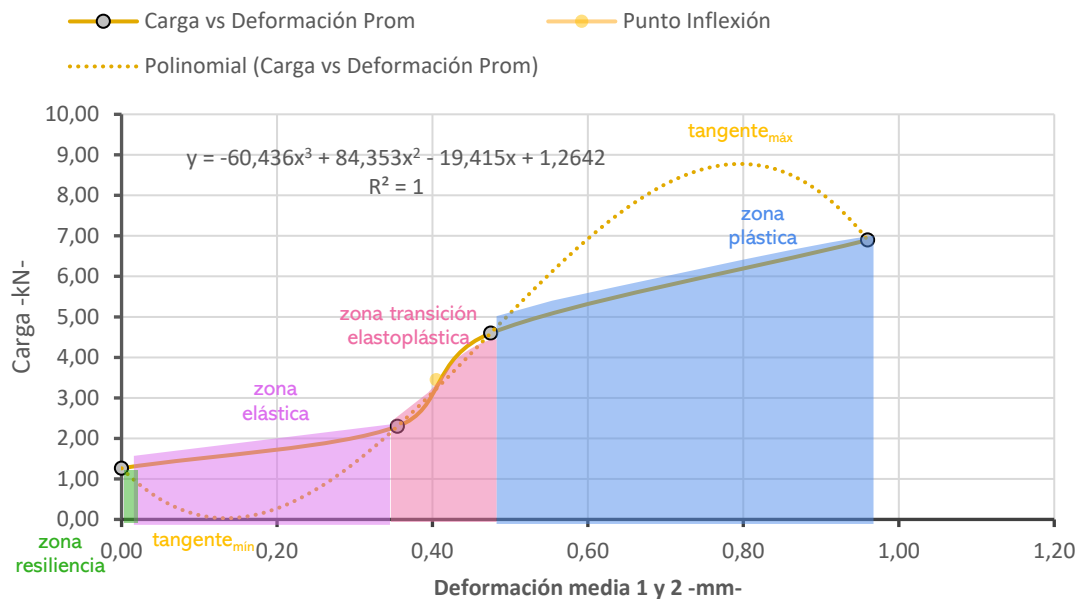


Figura 11: Carga versus deformación media 1 y 2, tendencia prisma SC-1

Se calculó su esfuerzo a compresión máximo para el mortero SC-1 ensayado a 14 días, con un valor de 1110.11 kPa, y el núcleo del dado después que configuró el reloj de arena con un valor de 1106.19 kPa se comparan estos valores con los reglamentos de construcción en donde la resistencia última debe ser de 1000 kPa están dentro de los rangos solicitados, se deduce que el dado conservó resistencia ante los esfuerzos de compresión.

El comportamiento que presentó el dado de adobe que se formó cortando el bloque (dado cortado 1) ante el ensayo a compresión, soportando varios ciclos de carga, presentando fisuras y formó desprendimientos del material del dado, sin deformaciones apreciables, en esta fase el dado comenzó a disminuir su nivel de energía ante las acciones de carga y el dado perdió totalmente su capacidad de absorber energía y su tenacidad en la última carga de 17.65 kN el sistema falló, se configuró un reloj de arena, coincidió una falla típica.

Para el dado cortado 3 se observa que pasando a la zona elastoplástica, en esta área su nivel de energía de deformación inició a disminuir ante el incremento de carga, esta deformación se resistió absorbiendo su capacidad de conservar energía regresando a 0.04 mm, con una carga de 441.30 N, luego en la posterior carga de 661.95 N, siendo la zona plástica, disminuyó a 0.03 mm su deformación, presentando fisuras, hasta que el dado falló por corte presentando la falla en la diagonal del dado, con una carga de 992.92 N, perdiendo totalmente su capacidad de absorber energía y su tenacidad.

7 CONCLUSIONES

En los reglamentos de construcción la resistencia última debe ser de 24.52 kPa, con un esfuerzo admisible de 29.42 kPa (0.4 V_m), se deduce que el prisma SC-1 conservó resistencia ante los esfuerzos de corte.

En los reglamentos de construcción la resistencia última debe ser de 24.52 kPa, con un esfuerzo admisible de 21.57 kPa (0.4 V_m), se deduce que el prisma ATAY-1 ha conservado resistencia ante los esfuerzos de corte.

En los reglamentos de construcción la resistencia última debe ser de 24.52 kPa, con un esfuerzo admisible de 18.63 kPa (0.4 V_m), se deduce que el prisma ATAY-2 conservó resistencia ante los esfuerzos de corte.

El esfuerzo cortante del dado cortado 1, se calculó su esfuerzo a compresión máximo con un valor de 585.46 kPa, se compara este valor con los reglamentos de construcción en donde la resistencia última debe ser de 1000.28 kPa están fuera de los rangos solicitados, se deduce que el dado ha perdido resistencia ante los esfuerzos de compresión.

Se calculó el esfuerzo a corte en su última carga para el cubo SC-1 ensayado a 28 días, con un valor de 313.81 kPa se compara este valor con el dado a SC-2 a los 28 días en el que su esfuerzo a compresión es 89.24 kPa, el esfuerzo a compresión es 0.28 veces mayor al esfuerzo de corte, debe ser al menos mayor a 8, se deduce que el dado ha perdido resistencia ante los a esfuerzos de corte.

Para el dado 3 a corte, se calculó su esfuerzo a corte en su última carga con un valor de 258.90 kPa, se compara este valor con los dados cortado 1 y 2 de adobe en el que su esfuerzo a compresión del dado 1 es 585.46 kPa y del dado 2 es 911.04 kPa el esfuerzo a compresión es entre 2 y 4 veces mayor al esfuerzo a corte, se deduce que el dado ha perdido resistencia ante los a esfuerzos de corte.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASTM E-519/E519M-10 (2010). Standard test method for diagonal tension (shear) in masonry assemblages. USA: ASTM International

ASTM C109/C109M-11b (2020). Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens). USA: ASTM International

Corzo, M. (2014). Notas Mampostericas de una Sabandija. Editorial S.R.

Norma NTG 41003 h4 (2012). Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulg) de lado. Guatemala: COGUANOR.

Norma E.080 (2017). Diseño y construcción con tierra reforzada. Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Disponible en: <https://www.sencico.gob.pe/descargar.php?idFile=3478>

AGRADECIMIENTOS

Dios, siendo tres en uno.

Nelson Calán, siendo Auxiliar de Cátedra I de la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, por su disposición de ayudar en la realización de este trabajo de investigación.

AUTORES

Mario Corzo, ingeniero civil; jefe de la Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala; catedrático del Área de Estructuras de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala; investigador, asesor en la facultad de Ingeniería de la universidad de San Carlos de Guatemala.

Bertha Solís, pensum cerrado de la carrera de Ingeniería Ambiental y de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.