

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA TAPIA EN ZONA SUR DE ALTA SISMICIDAD EN COLOMBIA

William A. Castillo Valencia

Universidad de Nariño, Colombia, wcastillo2007@gmail.com

Palabras Claves: Historia, Legado, Amenaza, Consolidación

Resumen

La ciudad de Pasto en Colombia se destaca por ser un laboratorio sísmico, caracterizada por el valor patrimonial de edificaciones en tierra, de los cuales la casona Joaquín María Pérez, caso de estudio, hace parte de su centro histórico; así, a pesar de que Colombia cuenta con una norma sismo resistente avanzada, ésta no incluye una reglamentación para este tipo de edificaciones por falta de investigación, lo cual es un reto de la ingeniería colombiana obtener valores estáticos y dinámicos de los materiales en tierra y establecer métodos de rehabilitación y consolidación, para ello; se tomó la casona Joaquín María Pérez para la caracterización físico mecánica de parámetros estáticos utilizando probetas destructivas in situ, A su vez se realizó la correlación de parámetros dinámicos obtenidos en investigaciones anteriores, mediante vibraciones libres y ultrasonido, se realizó un análisis no lineal para obtener el índice de sobre esfuerzos con resultados favorables en los cuales se propone métodos que optimizan entre cuatro a diez veces su eficiencia.

1. INTRODUCCIÓN

En San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, la construcción ha incursionado por diferentes etapas y tecnologías a la vanguardia de la época. Así se levantó edificaciones de relevancia histórica de tapia pisada, madera y adobe, consideradas como las más tradicionales y declaradas como bien de intereses culturales de la Nación (Enriquez; Mesias; Ortega, 2005). Varias de las ellas han sido demolidas ante la ausencia de normatividad, falta de investigación, acción antrópica, abandono premeditado para que el rigor del clima, el tiempo, efectos naturales, las derribe amenazando la integridad humana y así desaparezcan bienes con historia y memoria.

Para salvaguardar el patrimonio de las edificaciones en tierra declaradas como bien de interés cultural de la región, como el caso de la casona de estudio, una las edificaciones antiguas de tapia, donación del doctor Joaquín María Pérez (1816), se ha desarrollado una investigación para caracterizar los parámetros físico mecánicos de la tapia y obtener así una evaluación de vulnerabilidad sísmica.

El Ministerio de Cultura de Colombia regula la valoración y protección histórica de los bienes inmuebles los cuales son amparados por ley 1185 (2008); sin embargo, la norma de diseño y construcción sismo resistente NSR-10 (2012) no contempla en su articulado medidas de evaluación de vulnerabilidad, intervención para la consolidación de estructuras en tierra. Ante la ausencia de un documento local se acude a las recomendaciones de instrumentos universales como aquel del International Scientific Committee on the Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage (ISCARSAH, 2004) para abordar casos de estudio.

La ciudad de San Juan de Pasto, capital del Departamento de Nariño, se encuentra ubicado en el sur occidente de Colombia¹ (figura 1), es caracterizada por estar cruzada por una serie de fallas tectónicas activas que cruzan el país de sur a norte por el eje andino (Castillo, 2017).

¹ latitud: 1°12'48", longitud: 77°16'51", altitud sobre el nivel del mar: 2545 m



Figura 1. Localización Pasto, Nariño Colombia (Fuente <https://www.google.com.co/search?q=mapa+colombia&source>)

1.1 Sismicidad zona sur occidental de Colombia

Nariño es considerado como un laboratorio sísmico, sede de uno de tres terremotos que mayor energía han liberado en el mundo (Coral Moncayo, 2004); en 1906 se presentó uno de los terremotos más fuertes que se recuerda en la historia (magnitud estimada mayor a 8.5 en escala de Richter). Entre los sismos presentados en la región, están el de 1834, 1869, 1906, 1923, 1933, 1935, 1936, 1979, 1995, 2018 (Coral Moncayo, 2004) de los cuales, el más recientes es el del 12 de junio de 2018 de tipo vulcano tectónico que afectó la zona occidental causando graves daños en la ciudad (magnitud 4.5 en escala de Richter). La sismicidad es causa de la manifestación tectónica como la Zona de Subducción, fallas Utría, Romeral, Cauca Patía, Junín Sambambi, Frontal cordillera oriental, debido al historial tectónico se espera un sismo de magnitud 8.5 en la costa pacífica asignado a la zona de Subducción (figura 2).



Terremoto de Tuquerres 1920 anónimo

Terremoto de Tuquerres 1936 anónimo

capilla de Capuchinos 1936

Terremoto de Tuquerres 1920 anónimo

Figura 2. Sismos históricos de la región sur occidente de Colombia (Coral Moncayo, 2004)

1.2 Descripción de la casona Joaquín María Pérez

La conformación arquitectónica tipo republicano se constituye en tres cuerpos de forma de rectangular con un patio central, corredores principales en madera soportados por pilares prismáticos (25 cm), cubierta en teja cerámica (95%) y asbesto cemento (5%), estructura

en cerchas de madera tipo *montante maestro*, muros portantes construidos en tierra con espesores de 60 a 80 centímetros fabricados a partir de una mezcla de limos (75%), arcillas (20%), gravilla (5%) fibra vegetal y aditivos como clara de huevo, sangre de res, melaza, además la edificación presenta intervenciones artesanales de época reciente con algunos elementos de concreto reforzado

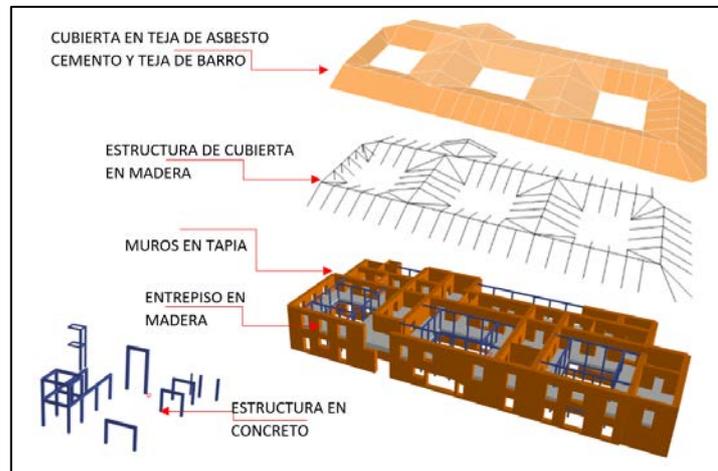


Figura 3. Casona Joaquín María Pérez (Fuente: W. A. Castillo y H. A. Collazos)

2. OBJETIVO

2.1 Objetivo general

Determinar la vulnerabilidad sísmica y consolidación estructural de las edificaciones de tapia declaradas como bien de interés cultural de la región, tomando la casona Joaquín María Pérez como caso de estudio.

2.2 Objetivos específicos

Obtener una correlación de los parámetros estáticos y dinámicos de la tapia a partir del ensayo de velocidades ultrasónicas y vibración libre obtenidos en edificaciones similares de interés cultural de la zona.

Determinar el grado de vulnerabilidad de la edificación de tapia.

Proponer un método de consolidación.

Evaluar la resistencia a la flexión de la tapia a partir del módulo de rotura de la tapia para el caso de estudio.

Determinar la distancia de los muros de apoyo en la tapia mediante un modelo numérico para el caso de estudio.

Evaluar el comportamiento físico mecánica de esquina frente a la acción dinámica sísmica de la tapia para el caso de estudio.

3. PROPIEDADES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS DE LA TAPIA

Para la evaluación estática y dinámica (física mecánica) la tapia, definida como una unidad de muro fabricado en tierra apisonada, se considera como un suelo consolidado construido en estructura portante, mediante métodos ancestrales y artesanales en los cuales

la tierra está formada por proporciones diversas de grava, arena, limo, arcilla, agua y aire. Justamente esta relación proporcional es la que hace posible que la transformación del suelo en material constructivo pueda resultar más o menos adecuada. Cada uno de estos componentes cumple un papel importante para la conformación del suelo: la arcilla es un aglomerante mientras que la grava, la arena y el limo aportan estructura y estabilidad al sistema. Por otra parte, el agua

permite el movimiento de las partículas sólidas de la mezcla al transportar a las más pequeñas entre las de mayor tamaño y activa las propiedades adhesivas de la arcilla " (Guerrero Baca , 2007, p. 186),

por lo tanto este tipo de suelo mezclado y consolidado, se somete a ensayos estandarizados que se ajustan a esta tipología de construcción o en su defecto se hace una adaptación de las normas del ensayo.

3.1 Propiedades estáticas de la tapia

Las probetas de tapia, extraídas en la casona, se sometieron a ensayos estáticos tales como compresión inconfiada, corte directo y relación de Poisson (figuras 4, 5 y 6).



Figura 4. Extracción y preparación de probetas a) ensayo de compresión inconfiada de la tapia; b) medición de altura y diámetro antes y c) después del ensayo (crédito: W. Castillo)

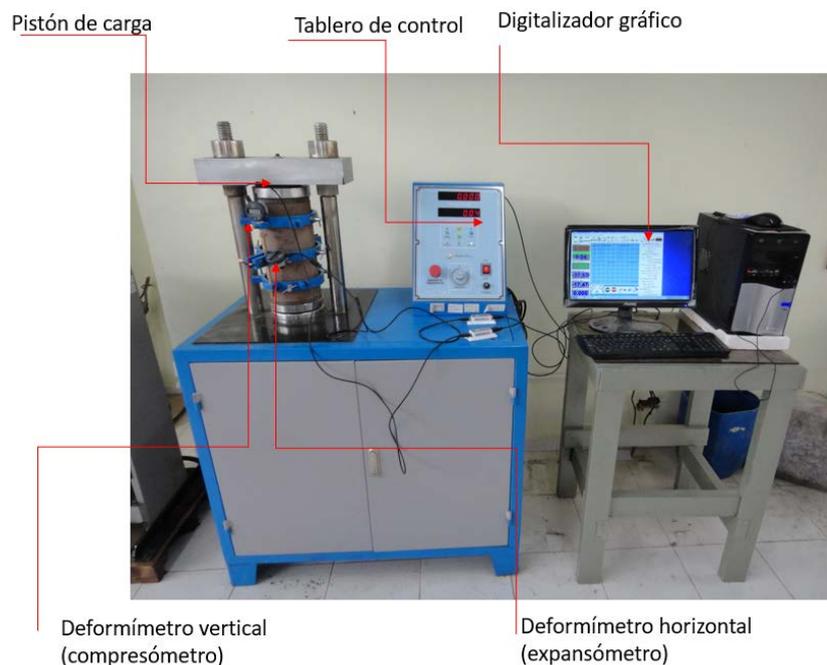


Figura 5. Equipo de ensayo de compresión simple (inconfiada) en la Universidad de Nariño (Crédito: W. Castillo)

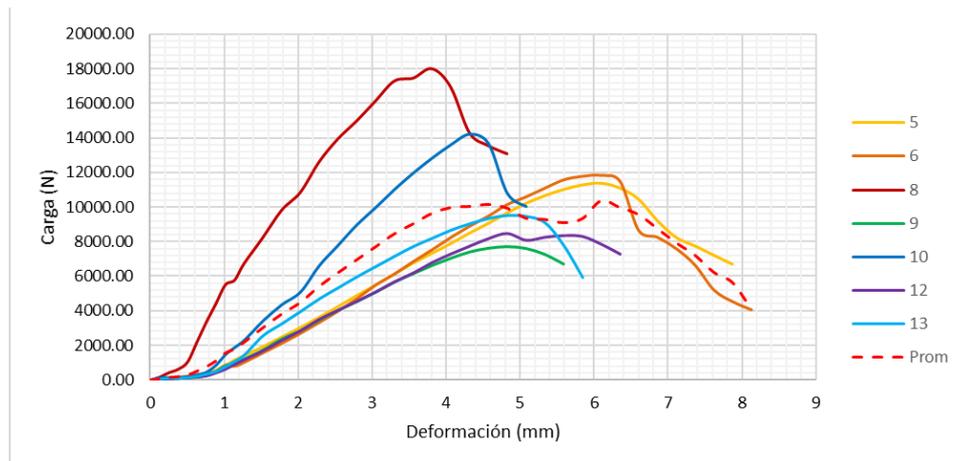


Figura 6. Ensayo de resistencia a la compresión de cilindro de tapia extraído *in situ*. Curva de carga versus deformación

Para obtener los datos dinámicos de la casona Joaquín María Pérez, como la velocidad ultrasónica, se tomó la correlación de los resultados del teatro Imperial, con similares características al caso de estudio a partir de la densidad y esfuerzo a la compresión (Castillo, 2017).

3.2 Propiedades dinámicas de interacción suelo estructura en zonas de alta sismicidad

“La dinámica de suelos es un área que tiene una relevancia importante en la ingeniería civil, debido al riesgo que conlleva realizar construcciones en regiones vulnerables a fenómenos sísmicos” (Tovar; Vergara, 2016, p.) ... además,

cuando una estructura de suelo se ve afecta por cargas cíclicas o sollicitaciones dinámicas, se presentan diferentes comportamientos en el suelo, tales como, pérdida de su resistencia o capacidad portante, cambios de volumen (pérdida de densidad), inestabilidad o en la amplificación dinámica debido a resonancia entre el estrato de suelo y la fuente de excitación (Reyes, 2017, p.).

La ciudad de Pasto, se encuentra en una zona de alta sismicidad, que aumenta el potencial de vulnerabilidad incrementando hasta dos veces la carga sísmica que debe soportar las edificaciones en tierra, por lo tanto en la evaluación de análisis estructural es determinante relacionar los modelos dinámicos con el análisis no lineal.

a) Velocidad ultrasónica

El análisis de ondas, la prospección y la exploración del espécimen son herramientas fundamentales para la aplicación en estudios de riesgo sísmico (Giancarlo, 2015); por lo tanto, la velocidad de propagación en un espécimen, cuando la onda alcanza el transductor receptor, se deforma generando un pulso de ondas P o S; es decir, la propagación de compresión o cortante (ondas primarias o secundarias) se transmite de un punto a otro; de esta forma, con los resultados de velocidades ultrasónicas, se obtienen los parámetros mecánicos estáticos del material, como el módulo de elasticidad (E), módulo de esfuerzo cortante (G), coeficiente de Poisson (ν), y los parámetros de Lamé (λ) constante de Bulk (K) (figura 7).

Tomando como parámetros los avances metodológicos, investigativos de tipo experimental y analítico desarrollados por la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS), los procesos de intervención de tipo empíricos experimentales de Velasco (1999) en edificaciones históricas de interés patrimonial, los avances obtenidos por esta investigación, correlacionados con los parámetros físico mecánicos (dinámico y estáticos) se propone métodos y conjuga éstos, a la luz de los lineamientos de la NSR-10 (2012), tomando la permisibilidad el grado de respuesta de la edificación histórica.

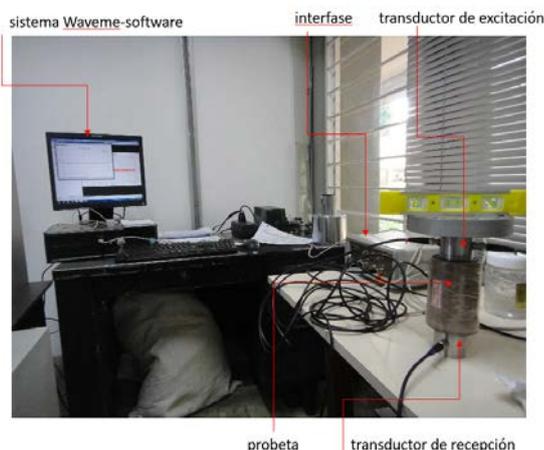


Figura 7. Equipo de medición de velocidades ultrasónicas Sistema Waveme, Laboratorio Linse y Mero (Crédito: W. Castillo)

Para obtener los parámetros dinámicos de los muros en tierra del Instituto Joaquín María Pérez, como caso de estudio, se realiza una correlación basada en los valores dinámicos obtenidos de los muros tapiales del teatro Imperial, ya que es un edificio en tierra con idénticas características, tomando como premisa las densidades y el esfuerzo a la compresión (tablas 1 y 2).

Tabla 1. Evaluación de velocidades ultrasónicas de la tapia

Correlación de parámetros físico-mecánicos-dinámicos de la tapia para I.E.M. Joaquín María Pérez basados en los datos obtenidos dinámicos obtenidos del Teatro Imperial (Castillo, 2017) (edificio de idénticas características al caso de estudio)							
Probeta	velocidad a la compresión V_p (m/s)	velocidad de corte V_s (m/s)	módulo de elasticidad dinámico E_d (MPa)	módulo cortante G (MPa)	relación de Poisson μ	constante de Lamé λ	módulo de Bulk κ
promedio	713,33	299,83	38,03	13,76	0,37	51,22	60,39

Tabla 2. Evaluación de vibraciones libres de la tapia

Correlación de parámetros físico-mecánicos-dinámicos de la tapia para I.E.M. Joaquín María Pérez basados en los datos obtenidos dinámicos obtenidos del Teatro Imperial (Castillo, 2017) (edificio de idénticas características al caso de estudio)							
Probeta	amortiguamiento longitudinal $\epsilon = \frac{F_b - F_a}{2 \times F_n}$	módulo de elasticidad dinámico longitudinal E_d (MPa)	μ	G longitudinal $G = \frac{E_d \mu}{2(\mu + 1)}$ (MPa)	amortiguamiento transversal	módulo de elasticidad dinámico transversal E_d (MPa)	G transversal (MPa)
promedio	7,67	33,55	0,37	12,13	3,27	3,98	1,18

b) Resistencia a la flexión de la tapia

Método de la viga simple (cargada en el punto central)

Para el edificio caso de estudio, se evalúa el comportamiento a tracción de la tapia con base en las probetas tomadas *in situ*, de tal manera que se considera la tapia como un suelo cementado con propiedades especiales, ya que está conformado como un suelo compactado con aditivos orgánicos como la fibra vegetal y minerales que hacen de él un material “rocoso” (figura 8).

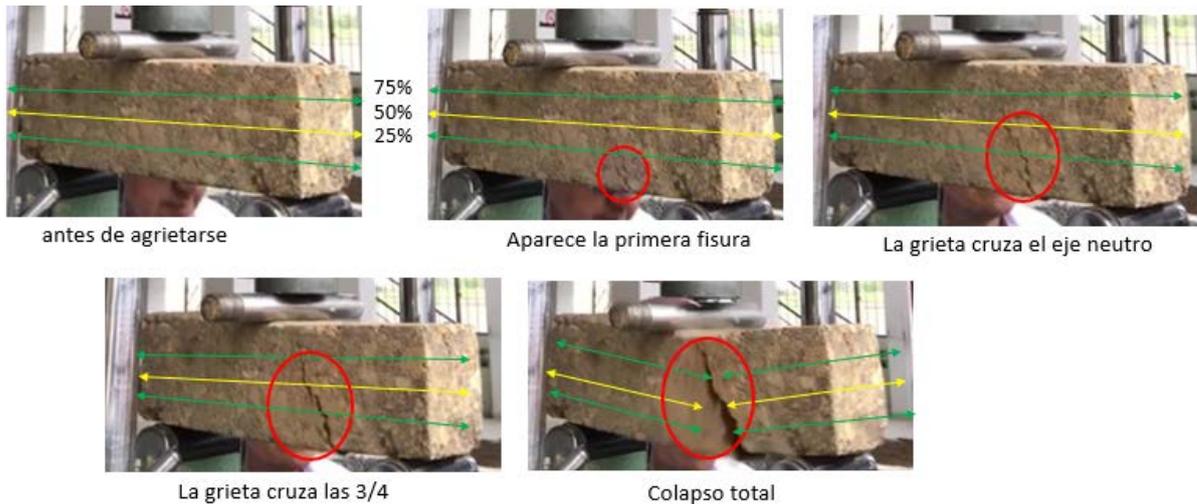


Figura 8. Secuencia de falla de la viga de tapia simple (crédito: W. Castillo)

El ensayo de módulo de rotura se realiza con probetas obtenidas in situ, en las cuales la fractura que se genera en la viga por las tensiones de la fibra inferior, es vertical buscando la configuración de la matriz de agregados gruesos, y la manifestación en el 100% es súbita después de alcanzar la máxima resistencia.

El resultado de los ensayos a flexión, para las probetas tipo viga simple sin pañete de refuerzo, se describen para cada carga máxima, la deformación respectiva, además del cortante, momento flector y el módulo de rotura (tabla 3).

Las probetas de las vigas simples (sin pañete de refuerzo) se obtuvieron en dos prototipos o grupos, teniendo en cuenta su equivalente reforzado con malla de vena y malla electro soldada, para obtener mayor fidelidad en el resultado de la investigación.

Tabla 3. Resultado de los ensayos de flexión de la tapia tipo vigas simples

VIGA SIN PAÑETE REFORZADO										
Probeta	Carga Máxima		Deformación alcanzada		Cortante máximo		Momento máximo		Modulo de Rotura	
	(N)	(Ton)	(mm)	(m)	(N)	(Ton)	(N.mm)	(Ton.m)	Mpa	Ton/m2
Probeta 1	355.858	0.036	1.52	0.0015	177.93	0.018	14234.31	0.0014	0.08	8.21
Probeta 2	213.515	0.021	1.52	0.0015	106.76	0.011	8540.59	0.0009	0.05	5.04
Probeta 3	640.544	0.064	2.54	0.0025	320.27	0.032	25621.76	0.0026	0.15	14.81
Probeta 4	403.31	0.040	1.86	0.0019	201.65	0.020	16132.22	0.0016	0.09	9.35
Probeta 5	338.06	0.034	1.524	0.0015	169.03	0.017	13522.59	0.0014	0.08	7.80
Probeta 6	409.24	0.041	1.524	0.0015	204.62	0.020	16369.46	0.0016	0.10	9.74
Probeta 7	622.75	0.062	2.032	0.0020	311.38	0.031	24910.04	0.0025	0.14	14.40
Probeta 8	456.68	0.046	1.69	0.0017	228.34	0.023	18267.36	0.0018	0.11	10.64
Probeta 9	429.99	0.043	1.78	0.0018	215.00	0.021	17199.79	0.0017	0.10	10.00
Probeta 10	515.99	0.052	2.13	0.0021	258.00	0.026	20639.75	0.0021	0.12	12.00
Probeta 11	344.00	0.034	1.42	0.0014	172.00	0.017	13759.83	0.0014	0.08	8.00
Promedio	429.99	0.043	1.78	0.0018	215.00	0.021	17199.79	0.0017	0.10	10.00

c) Alternativa de consolidación con pañete reforzado

Paralelo a la probeta de viga simple se realizó un análisis de una probeta idéntica, con un pañete de 3 cm a cada cara y con un refuerzo en malla de vena y otras con malla electro soldada; para el pañete se utilizó un suelo cemento al 10% y fibra sintética al 0,5% en peso. La fibra, cumple una función importante para manejar la variación de la composición del material, absorber esfuerzos reólicas por cambios de temperatura evitando fisuración y ofreciendo un buen aspecto estético (figuras 9 y 10).



Figura 9. Proceso constructivo de refuerzo con pañete de la viga de tapia (crédito: W. Castillo)



Figura 10. Secuencia de falla de la probeta de la viga con pañete reforzado. Muestras Joaquín María Pérez (crédito: W. Castillo)

Aún se tiende a depreciar el trabajo a tensión de la tapia, pues la baja capacidad de respuesta a flexión de la misma, se mejora con la aplicación del pañete para disipar las tensiones actuantes.

La probeta con base en la aplicación de “pañete-reforzado”, se comporta, en primera instancia con tendencia elástica y flexible en la absorción de esfuerzos, los cuales los regula de manera gradual manifestándose en la deformación y descartando la falla súbita en la mecánica de la fractura. En el proceso de aplicación de cargas, en el primer instante el pañete de suelo cemento reforzado con malla de vena y malla electro soldada (en forma de sándwich) asume los esfuerzos en la posición externa de la probeta aunado a las fibras en polipropileno, absorbiendo así las tensiones iniciales en las diferentes direcciones, cuya composición relaja y disipa hasta transmitir los esfuerzos al núcleo de tapia.

Es importante destacar la función del material de soldadura entre la matriz de la tapia y el pañete; para el caso una lechada de agua cemento, la que permitió una adecuada conexión, de tal manera que la fisura del pañete cruza en dirección de la matriz. Normalmente, esta fisura ocurre cuando la carga aplicada en promedio es de 207,14 kg; lo cual, con la adición

de las fibras al pañete, se consigue disminuir por la acción de retracción plástica, con esto se logró evidenciar que, el 100% de las probetas presentó un esfuerzo residual después de alcanzar la máxima carga.

Se destaca el aporte de los tensores que conectan las mallas de refuerzo de los pañetes, que hacen que el trabajo tienda a ser monolítico. Comparativamente, se realiza una superposición de las curvas de las probetas con pañete reforzado, (con malla de vena y una pasta de suelo cemento y malla electro soldada con la misma pasta), para visualizar el estado de respuesta en la curva de esfuerzo-deformación y así obtener un promedio del comportamiento (línea punteada).

Se conjugan, además, las curvas de las probetas con pañete reforzado con malla de vena, malla electro soldada y las cuervas de la viga simple; con el propósito de interpretar la acción elástica y los esfuerzos residuales así:

Para las probetas consolidadas con pañete reforzado con malla electro soldada, comparada con la malla de vena la capacidad de respuesta mejora un 8%

El comportamiento de las probetas consolidadas con pañete reforzado con malla electro soldada, comparada con la malla de vena ofrece un mejor comportamiento porque absorbe mayores cargas.

Las probetas consolidadas con pañete reforzado con malla electro soldada, comparada con la malla de vena, se comportan en condiciones similares con la diferencia que la malla electro soldada absorbe mayor capacidad de esfuerzo.

Las probetas consolidadas con pañete reforzado con malla de vena comparada con aquella reforzada con electro soldada, son similares en cuanto a ductilidad y esfuerzos residuales.

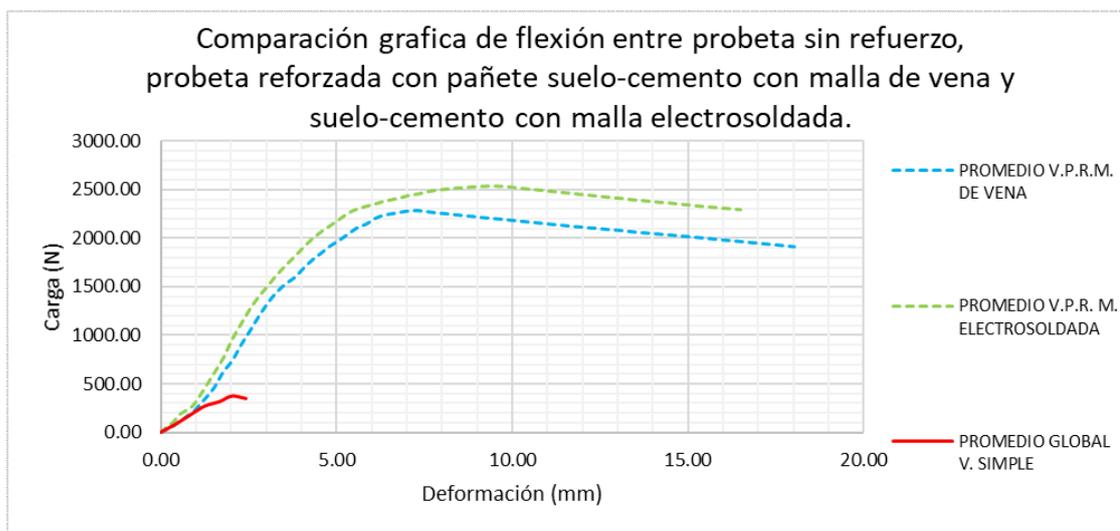


Figura 11. Curvas fuerza-deformación de vigas simples y vigas reforzadas con pañete reforzado con malla de vena y malla electro soldada. Muestras Joaquín María Pérez

4. MÉTODOS DE REHABILITACIÓN Y CONSOLIDACIÓN

Tomando como parámetros los avances metodológicos, investigativos de tipo experimental y analítico desarrollados por la AIS con el apoyo de la Red de Solidaridad Social, el Fondo para la Reconstrucción del Eje Cafetero (FOREC), los procesos de intervención de tipo empíricos experimentales de Velasco (1999) en edificaciones históricas de interés patrimonial, los avances obtenidos por esta investigación, correlacionados con los parámetros físico mecánicos (dinámico y estáticos) se propone métodos y conjuga estos, a la luz de los lineamientos de la NSR-10 (2012), tomando la permisibilidad el grado de respuesta de la edificación histórica, en donde “se permitirá un nivel menor de seguridad sísmica siempre y cuando este menor nivel se justifique por parte del ingeniero diseñador y se acepte por parte del propietario” (NSR 10, 2012, p. A-109), y la vez cumpla con las

limitaciones de la Ley 1185 (2008) del Ministerio de Cultura Colombia quien regula el grado de intervención.

Tomando como documento de referencia las cartas internacionales de intervención patrimonial, cuando las normas nacionales no lo contemplan, se plantea varios métodos a partir de los primarios hasta combinarlos con los niveles superiores.

4.1 Métodos primarios de consolidación y rehabilitación

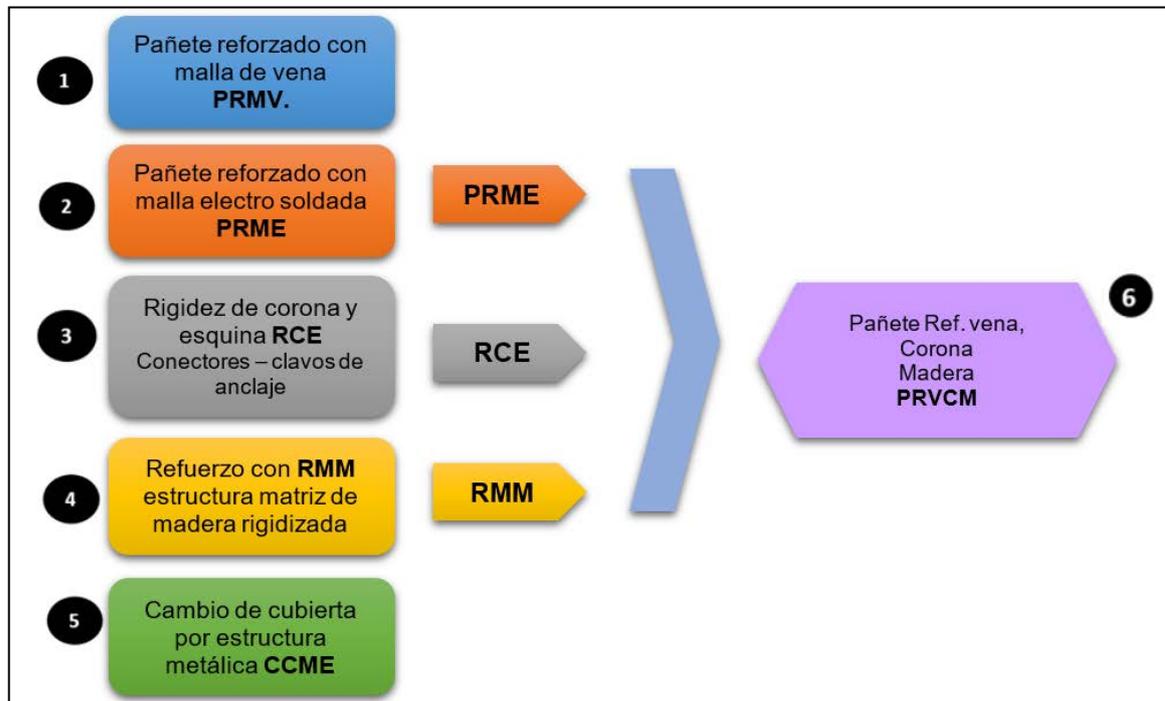


Figura 12. Métodos de consolidación y rehabilitación (Elaboración: W. Castillo; H. A. Collazos; J. A. Solarte)

1) Pañete reforzado con malla de vena (PRMV) – se aplica un pañete reforzado con malla de vena calibre 19 en las dos caras de la tapia y de manera simultánea con una pasta de suelo cemento a (1:10), caracterizado por de esta investigación con fibra sintética (polipropileno) al 0,5% en peso del cemento.

2) Pañete reforzado con malla electro soldada (PRME) – se aplica un pañete reforzado con malla electro soldada de 4 mm referencia comercial M084 Ø4 mm 15x15, en las dos caras de la tapia y de manera simultánea con una pasta de suelo cemento a 1:10, caracterizado por de esta investigación con fibra sintética (polipropileno) al 0,5% en peso del cemento.

3) Rigidez de corona y esquina utilizando como conectores los clavos de anclaje (RCE) – con el propósito de confinar los muros tapias siguiendo el modelo de trabajo práctico² y confrontado con el desarrollo investigativos y experimental de esta investigación, (ensayos de laboratorio) se calculó los conectores de diámetro Ø=1", separados cada 0,50 m, con una profundidad de penetración de 0,80 m, los cuales se anclan de una viga superior de corona en concreto reforzado (21 MPa) de sección 0,60mx0,30m, la cual se apoya a su vez, sobre tres hiladas de ladrillo cerámico como elemento de transición entre el concreto y la tapia.

4) Refuerzo estructura matriz de madera rigidizada con diagonales en varillas de acero (RMM) – consiste en el refuerzo de la tapia, mediante el uso de una estructura matriz de madera, (0,20mx0,07m) en forma de retícula en ambas caras de la tapia conectadas con un perno de ½" en cada nudo y este a su vez, sobre una platina de 1/8" en los nudos y en cada lado, la estructura de madera va rigidizada con diagonales en varillas de acero en los

² del ingeniero Luis Fernando Velasco

extremos verticales y en las franjas superior, media e inferior. Una vez se instale el sistema de la retícula en madera se cubre con un pañete de acabado estético.

5) Cubierta estructura metálica (CCME) - debido al alto grado de afectación y el ataque de xilófagos se proyecta el reemplazo de la estructura de cubierta por cerchas metálicas, aprobado por el consejo departamental de patrimonio de Nariño como mecanismo de consolidación de cubierta.

6) Pañete reforzado con malla de vena, rigidez de corona y refuerzo de madera (PRVCM) – con base en los métodos anteriores se realiza una combinación de los sistemas primarios, para proponer el método de consolidación mediante pañete reforzado con malla de vena, se rigidiza con una viga periférica de corona y las esquinas y se refuerza las dos caras de la tapia simultáneamente con una retícula de madera

5. PRINCIPALES RESULTADOS

Los suelos que constituye la tapia son característicos con predominancia granulares finos, tal es el caso de la casona Joaquín María Pérez, un limo arenoso de baja plasticidad.

Con base en los límites, el grado de consistencia de la tapia es media dura sólida.

El pañete reforzado con suelo cemento (10%), fibra de polipropileno (0,5%) malla de vena mejora la respuesta físico mecánica de la tapia 4,9 veces.

El pañete reforzado con suelo cemento (10%), fibra de polipropileno (0,5%) malla electro soldada mejora la respuesta físico mecánica de la tapia 10 veces.

El comportamiento elástico en cuanto a deformación en la tapia reforzada con pañete, mejora 7 veces con malla de vena y 3 veces con malla electro soldada.

Al conjugar las curvas de los especímenes con pañete reforzado, las de malla electro soldada, comparada con la malla de vena; mejora un 20% la capacidad de respuesta.

El comportamiento de las probetas consolidadas con pañete reforzado con malla electro soldada, comparada con la malla de vena, ofrece menor deformación con cargas mayores.

Las probetas consolidadas con pañete reforzado y malla electro soldada, comparada con la malla de vena, se comportan más rígidas.

Las probetas consolidadas con pañete reforzado con malla de vena comparada con aquella reforzada con electro soldada son más dúctiles y ofrecen mejores esfuerzos residuales.

Como respuesta en el plano horizontal, ante la acción de cargas dinámicas, se realiza la evaluación del pandeo de la tapia, por lo tanto, es importante colocar un apoyo que reemplace un muro perpendicular cada 1,4 m para tapia sin pañete de refuerzo, cada 3,60 m para tapia con pañete de refuerzo (suelo cemento, fibra de polipropileno) que incluya malla de vena, cada 3,7 m para tapia con pañete de refuerzo (suelo cemento, fibra de polipropileno) que incluya malla electro soldada.

Con base en el comportamiento dinámico de la tapia y, en general de las estructuras históricas, no alcanzan a disipar esfuerzos y ofrecer una respuesta a un período de retorno de 43 años con un ciclo corto; para el caso de la Casona Joaquín María Pérez, hipotéticamente, existe probabilidad de colapso para una relación media de daño RMD=1.

El índice de resistencia, por acción de cargas gravitacionales (verticales) y las dinámicas (laterales) causadas por el sismo cumple con un 61% para la flexión horizontal, excede en un 120% para la flexión vertical, en un 164% para el cortante horizontal y vertical, en cambio la acción gravitacional, por efecto de compresión, cumple con eficiencia de 73% y otros puntos no cumple con 102% por causa de la humedad (índice de resistencia).

REFERENCIAS BIBIOGRÁFICAS

Castillo, W. V. (2017). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de la tapia en Pasto caso Teatro Imperial. Pasto, Colombia: Universidad del Valle, Escuela de Geomática e Ingeniería, Laboratorios Linse y Mero.

Coral Moncayo, H (2004). Reseña histórica de los terremotos en Nariño. San Juan de Pasto

Enríquez, G. M.; Mesías, R. O.; Ortega, E. R. (2005). Pasto Republicano. Estudio histórico y gráfico de la arquitectura republicana en San Juan de Pasto. San Juan de Pasto: Imprelibros. S.A.

Giancarlo, Dal Moro (2015). Surface wave analysis for near surface applications. Elsevier USA: Elsevier First Edit.

Guerrero Baca, L. F. (2007). Arquitectura en tierra. Hacia la recuperación de una cultura constructiva. Colombia: APUNTES, v.20, n.2, p.182-201. Disponible en <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revApuntesArq/article/view/897>

ISCARSAH (2004). Recomendaciones para el análisis, conservación y restauración estructural del patrimonio arquitectónico. Barcelona: ICOMOS

Ley 1185 (2008). Legislación y normas generales para la gestión, protección y salvaguardia del patrimonio cultural en Colombia. Bogotá: Ministerio de Cultura

NSR-10 (2012). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica

Reyes P, R. J. (2017). Ensayos para la obtención de propiedades dinámicas de un suelo MH estabilizado con caucho triturado. Colombia: Universidad del Valle

Tovar B., D. F.; Vergara D., J. J. (2016). Determinación de los módulos dinámicos para un suelo lacustre de Bogotá mediante ensayo triaxial cíclico. Bogotá: Universidad de la Salle

Velasco, L. F. (1999). Apuntes de intervención en edificaciones en tierra. Apuntes y notas de intervención de patrimonio, Popayán: C.P.

AGRADECIMIENTOS

Universidad de Nariño, Ing. Héctor Collazos, Ing. Javier Solarte. Lic. Jairo Bolaños, Lic. Ángel García.

AUTOR

William A. Castillo Valencia, ingeniero civil en la Universidad de Nariño, especialista en estructuras y maestro, ha sido ponente internacional en países como Cuba, México, Perú, EU, Argentina. Actualmente es profesor de tiempo completo de la Universidad de Nariño, profesor internacional invitado de la Universidad de Michoacana San Nicolás de Hidalgo, Morelia, México, investigador del observatorio de culturas urbanas de la universidad de Nariño. Ha recibido premios de reconocimiento por representaciones internacionales de la rectoría de la universidad de Nariño y se desempeña como consultor en estructuras.