

<https://doi.org/10.69639/arandu.v12i3.1371>

Técnicas de refuerzo estructural para edificaciones patrimoniales materializadas en madera

Structural reinforcement techniques for heritage buildings made of wood

Jamil Alexander García Vaicilla

<https://orcid.org/0009-0001-9977-7279>

jgarcia9912@pucesm.edu.ec

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí
Ecuador – Portoviejo

Claudia Daniela Cadena Aguirre

cdcadena@pucesm.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1247-5946>

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Sede Manabí
Ecuador – Portoviejo

Artículo recibido: 18 junio 2025 - Aceptado para publicación: 28 julio 2025

Conflictos de intereses: Ninguno que declarar

RESUMEN

Para abordar la rehabilitación de la Quinta La Delicia, actualmente conocida como la Administración Municipal Zonal La Delicia que pertenece al Municipio de Quito, esta edificación patrimonial de madera, ubicada en el sector de Cotocollao en la intersección de la avenida de La Prensa y Ramón Chiriboga, fue construida a finales del siglo XIX, siguiendo un estilo colonial con influencias neoclásicas historicistas. Estos aspectos son fundamentales para preservar tanto su valor histórico como cultural, es esencial llevar a cabo un análisis que permita evaluar el estado actual, identificar áreas específicas de deterioro y proponer estrategias de rehabilitación estructural adecuadas. Este enfoque tiene como objetivo preservar su valor histórico, sino también prolongar su vida útil, se desarrolló un modelo completo de la edificación utilizando técnicas avanzadas, como el análisis estático, para examinar la respuesta de la estructura ante diferentes cargas estáticas y sísmicas. Este análisis identificará los periodos naturales de la edificación, los modos de vibración predominantes y los puntos críticos de debilidad. Estos datos serán fundamentales para diseñar estrategias de reforzamiento estructural que respeten la integridad histórica de la edificación y aseguren su estabilidad a largo plazo. Se realizará una evaluación para determinar las derivas de piso utilizando técnicas de análisis estructural. Este estudio permitirá comprender cómo la estructura de madera responde a cargas significativas y movimientos sísmicos, identificando áreas críticas que requieran refuerzo o rehabilitación para mantener la estabilidad estructural y preservar la integridad del patrimonio arquitectónico. Se llevará a cabo una verificación física de las diferentes patologías encontradas en los elementos de madera estructurales verticales y horizontales, como los techos y entrepisos. Se propondrá

soluciones analíticas estructurales según los problemas identificados, garantizando que se respete la esencia y la integridad arquitectónica de este edificio histórico de madera.

Palabras clave: patrimonial, modal, derivas, rehabilitación

ABSTRACT

To comprehensively address the rehabilitation of a heritage building built in wood, it is essential to carry out a detailed analysis that allows evaluating its current state, identifying specific areas of deterioration and proposing appropriate structural rehabilitation strategies. These measures not only aim to preserve its historical and cultural value, but also to guarantee its safety and prolong its useful life over time. It is also developing a complete model of the building using advanced techniques such as modal spectral analysis. This approach will allow exploring how the structure responds dynamically to different loads, including seismic, vibration and other events. The natural frequencies of the building, the predominant vibration modes and possible critical points of weakness will be identified. This data is essential for designing structural strengthening strategies that not only strengthen the historical integrity of the building, but also ensure its long-term structural stability. A comprehensive evaluation of the floor drifts will be performed using advanced structural analysis techniques. This analysis will allow us to understand how the wood structure responds to significant loads, seismic movements and other external forces. The stresses acting on the different sections of wood will be investigated, identifying critical areas that require reinforcement or rehabilitation to maintain structural stability and preserve the historical integrity of the architectural heritage. The joint connections between beams and columns within the building will also be analyzed. This analysis will focus on evaluating the effectiveness of existing anchors and determining whether they need to be reinforced or even replaced. Understanding the loads and stresses at these joints is crucial to designing specific strategies that ensure long-term structural integrity and prolong the life of the heritage building.

Keywords: patrimonial, modal, drifts, rehabilitation

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

En numerosos países desarrollados, la madera se emplea como un elemento fundamental en la construcción, durante varios siglos ha sido un material predominante esto debido a su fácil acceso así como rapidez de manejo en la generación de piezas de diferentes dimensiones. Sin embargo, en otras regiones ha sido desplazado por la utilización de materiales industrializados como el acero y el Cemento, sumado a la idea de que estos materiales no presentan las mismas garantías pero esta visión ha comenzado a cambiar gracias a los tratamientos modernos de la madera que mejoran sus prestaciones. Actualmente, la madera se valora por su comportamiento térmico, su carácter sostenible y su notable resistencia estructural frente a excitaciones sísmicas. Además que en la actualidad se carbonizan superficialmente, reforzando su estabilidad. Esto ha contribuido a su revalorización como material constructivo fiable y seguro. (Salamanca, 2021)

Las obras de infraestructura de madera colonial de estado de conservación muy deficiente, resultado de su exposición a diversos agentes de deterioro que provocaron múltiples patologías, Con el transcurrir del tiempo hasta la fecha, dichas estructuras se ven afectadas con varios daños en sus elementos estructurales, lo que conlleva a una disminución de su resistencia, estos daños predominantes que afectan a la estructura son: la humedad, deflexión en elementos horizontales, apolillado en elementos de madera o fisuras en sus paredes, siendo el más común la humedad presente en todos los elementos y las fisuras como patología predominante (Espinoza Vaca, 2018), por lo que es imperante solucionar estas patologías para precautelar la seguridad de la edificación así como mantener intacta parte de nuestra historia y la posibilidad de ser transmitidas a las generaciones futuras.

Por lo que es imperante entender que el paso de los años es un factor predominante en el deterioro de las edificaciones de madera sumado a las variaciones en las condiciones climáticas, como la humedad excesiva y los cambios bruscos en la temperatura y la humedad relativa del aire, la proliferación de agentes bióticos (como xilófagos y hongos), así como factores de origen antrópico, relacionados con el uso, intervenciones previas y la falta de mantenimiento. A ello se suma el inevitable envejecimiento de los materiales empleados en su fabricación y ornamentación. (García, 2022). Esto sumado a los daños producidos por la radiación solar que es un detonante para la madera lo que actúa mediante los rayos ultravioleta e infrarrojos cuya acción ataca a la superficie de la madera de manera lenta sobre la lignina, lo que degrada y se pierde la resistencia, dicha acción se evidencia visualmente por un cambio de color de la madera llamada foto degradación, lo que produce la aparición de grietas superficiales causadas por la diferencia de la humedad entre la parte interior y la superficie. (Macao, 2022)

Las edificaciones patrimoniales en su mayoría tienen dentro de su estructura la madera del guayacán que posee propiedades físicas excepcionales, como su gran dureza y durabilidad, estas particularidades ha provocado que esta madera sea considerada un recurso natural muy apreciado

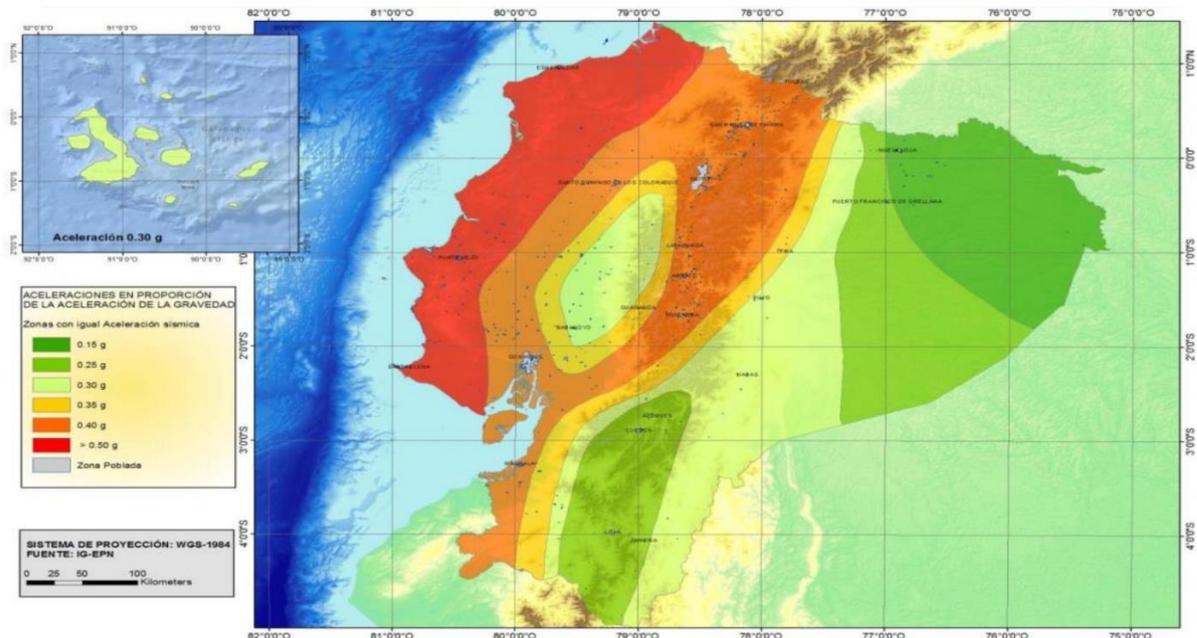
para diversas aplicaciones, desde la construcción hasta la fabricación de objetos de lujo. Esta demanda ha impulsado su valor en los mercados de exportación. Además, el prestigio asociado al nombre Guayacán o Guaiacum ha hecho que otras especies de madera que comparten características físicas similares sean etiquetadas con ese nombre, aunque no pertenezcan a la misma familia botánica. Este fenómeno responde tanto a razones comerciales como a la necesidad de identificar maderas con cualidades equivalentes, aunque puede llevar a confusiones taxonómicas o ecológicas si no se hace una diferenciación adecuada (Ruizz, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se basa en la identificación de patologías existentes en la estructura, la modelación estructural, estimación de particularidades propias de la estructura, así como recomendaciones de refuerzo, es decir es una investigación cuali-cuantitativa, ya que mediante inspección visual se determinó los elementos estructurales, materiales utilizados en la construcción, y para tener datos del comportamiento mecánico de los materiales encontrados en la edificación histórica se realizó una revisión bibliográfica, todo esto con el fin de transformar las cualidades de la estructura en parámetros cuantificables que permiten valorar su riesgo sísmico probable basado en la peligrosidad sísmica existente.

Ilustración 1

Mapa de Amenaza sísmica del Ecuador



Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

De forma inicial se determinó los elementos de la edificación patrimonial mediante una la utilización de la Ficha Rápida de determinación de vulnerabilidad Sísmica para Edificaciones tomando en cuenta los siguientes parámetros (FEMA P154, 2016).

- Datos generales de la edificación

- Tipo de Suelo
- Ocupación
- Riesgos geológicos
- Tipología Estructural
- Irregularidades de la estructura

Todo esto para obtener una valoración en función de las particularidades subjetivas de la estructura cuyo rango se establece en función de los consolidados encontrados mediante la aplicación del formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica para edificaciones (Consejo Técnico de Uso y Gestión del Suelo, 2021), para posteriormente con esto plantear necesidades de estudios complementarios que permitan establecer técnicas de refuerzo estructural evaluando la edificación de manera integral ciertos parámetros específicos, como la resistencia de los materiales, la capacidad de carga, las deformaciones y las tensiones. Estos datos se pueden cuantificar y comparar de manera objetiva con los resultados obtenidos de un modelo computacional.

Tabla 1

Calificación final y estimación de vulnerabilidad

Valor obtenido	Vulnerabilidad
$SL \geq 1.5$	Mínima: se esperan pérdidas materiales menores al 5% del área del edificio y un potencial de número de muertes menor al 10% de los habitantes del municipio.
$0.25 \leq SL < 1.5$	Significativa: se esperan pérdidas materiales de hasta el 33% del área del edificio y un potencial de número de muertes del 25% de los habitantes de la estructura y un 25% de heridos
$-1 \leq SL < 0.25$	Alta: se esperan pérdidas materiales de hasta el 66% del área del edificio y un potencial de número de muertes del 30% de los habitantes de la estructura y un 30% de heridos
$SL < -1.5$	Muy Alta: se esperan pérdidas materiales totales y un potencial de número de muertes del 60% de los habitantes de la estructura y un 20% de heridos

Fuente: (Oficina Nacional de Evaluación Sísmica y Vulnerabilidad de Infraestructuras y Edificaciones, 2015)

En el estudio, se empleará un enfoque mixto que combina investigación bibliográfica y el análisis de los parámetros de la edificación (Hernández et al., 2020). En primer lugar, se realizará una revisión exhaustiva de la literatura científica y técnica relacionada con las técnicas y materiales utilizados en la conservación y refuerzo de edificaciones patrimoniales y estructuras de madera antiguas. Esta revisión se llevará a cabo utilizando bases de datos especializadas, así

como material bibliográfico y recursos académicos y profesionales relevantes en el campo de la ingeniería civil y la conservación del patrimonio arquitectónico.

En el análisis se seguirá el siguiente proceso técnico como es el levantamiento de planos arquitectónicos de planta y estructurales, documentar la geometría y detalles de la estructura actual, incluyendo dimensiones, ubicación de elementos y sistemas de soporte, investigar los antecedentes constructivos y registros de construcción, se evaluará el tipo de madera utilizado en la estructura, se identificará el tipo de anclaje utilizado para unir elementos estructurales, investigar posibles patologías o daños existentes.

Como resultado se debe establecer reforzamientos estructurales que permitan garantizar la seguridad de la estructura utilizando los datos recopilados para verificar los puntos frágiles estructurales, identificar áreas que requieren mejoras como encamisados (fibras de carbono), apuntalamientos temporales o permanentes y cambios de secciones en elementos estructurales, seguido de la explicación de la viabilidad y eficacia de cada opción, considerar la integridad arquitectónica y la estética al proponer cambios.

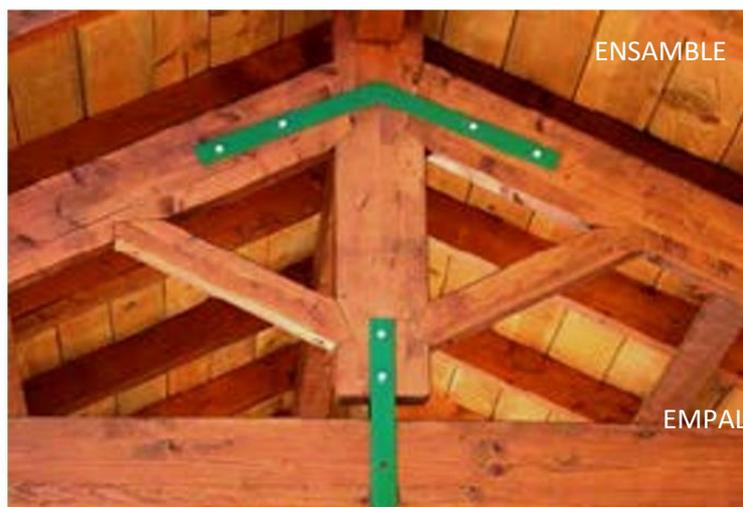
Reforzamientos Estructurales Aplicables

Empalmes con placas de acero: Estos se caracterizan por facilitar la prolongación de elementos estructurales en un sentido, por lo que es aplicable para el cambio parcial de elementos estructurales afectados

Ensamble con elementos de acero: se caracteriza por garantizar la unión de elementos estructurales de madera en diferente dirección, esto con el fin de mejorar su funcionamiento estructural y garantizar la unión de los elementos.

Ilustración 2

Esquematación de reforzamiento en uniones



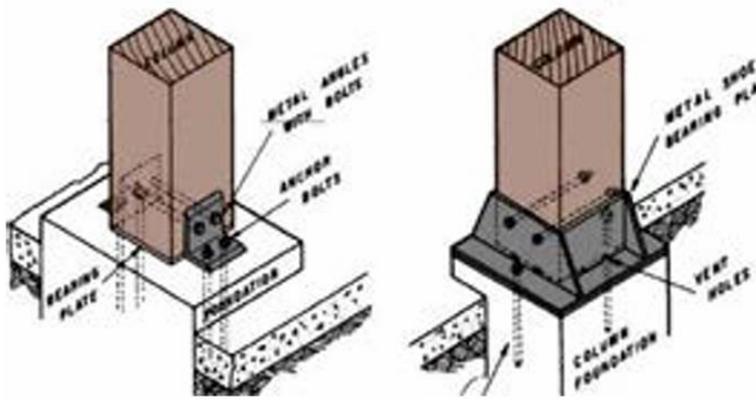
Fuente: (Herrero, Lozano, & Lechón Pérez, 2018)

La ilustración 1 muestra la utilización de perfiles metálicos que ayudan a garantizar las uniones realizadas, esto aumenta su estabilidad y garantiza su trabajo estructural, además permite aumentar rigidez en uniones existentes y estéticamente no afecta la arquitectura colonial.

Apoyos rígidos en madera: caracterizados por elementos estructurales de acero que garantizan el anclaje de los pilares a las bases, sean estas de hormigón o roca, además de que evitan el contacto directo con la superficie de base generando un bienestar a los pilares ya que evitan la transmisión de humedad a los mismos.

Ilustración 3

Apoyos Rígidos en Madera



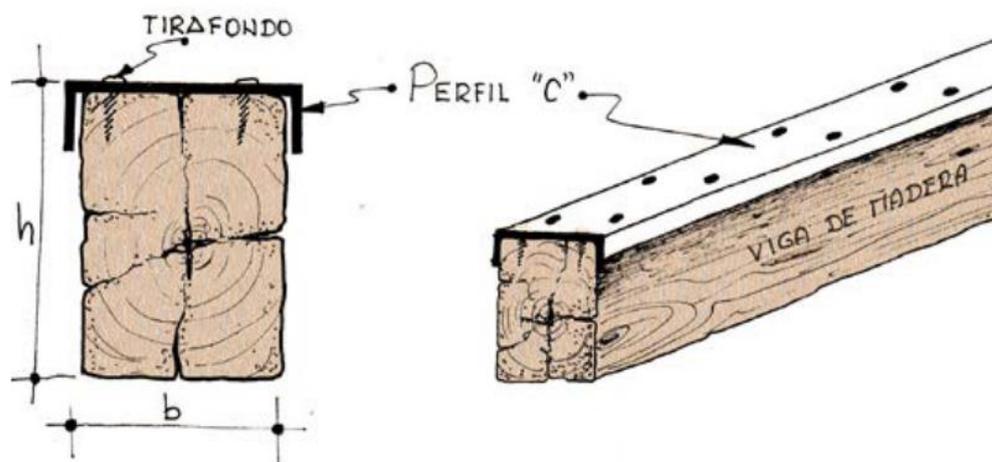
Fuente: (Herrero, Lozano, & Lechón Pérez, 2018)

En la figura 3 se puede observar bases Metalizas para Pilares o apoyos rígidos en madera: siendo estas indispensable para evitar la transmisión de humedad del hormigón con la madera garantizando si una mejor durabilidad de los elementos estructurales, además de que garantizan el apoyo estructural idealizado en el cálculo.

Refuerzo con perfil estructural: siendo este utilizado para rigidizar vigas y riostras, dicho reforzamiento se lo hace en la cara superior del elemento para evitar su visibilidad al usuario y no causar in impacto visual ni se altere la armonía estructural de las edificaciones.

Ilustración 4

Sistema de refuerzo con perfil Metálico C



Fuente: (Herrero, Lozano, & Lechón Pérez, 2018)

Análisis de las patologías existentes

Agentes Bióticos: La degradación de la madera se puede deber a diferentes causas y es importante saber en cada caso, el principal agente causante de dicha degradación, lo que permitirá elegir el modo de proteger la madera (Cooperación Chilena de la Madera, 2005).

Para que los agentes biológicos se desarrollen y subsistan se requiere que existan ciertas condiciones como son:

- Fuente de material alimenticio para su nutrición.
- Temperatura para su desarrollo. El intervalo de temperatura es de 3° a 50°, siendo el óptimo alrededor de los 37 °C.
- Humedad entre el 20 % y el 50 %, para que la madera pueda ser susceptible de ataques de hongos.
- Por debajo del 20 %, el hongo no puede desarrollarse y por sobre 140 % de humedad, no existe el suficiente oxígeno para que pueda vivir.
- Una fuente de oxígeno suficiente para la subsistencia de los microorganismos

De acuerdo al lugar de estudio tenemos los siguientes agentes bióticos que son:

Hongos cromógenos

Imagen 1

Hongos Cromógenos



Fuente: Alexander García, Quinta La Delicia

En la imagen 1 se evidencia una decoloración en la superficie natural de las paredes celulares de la madera, lo que indica claramente un deterioro, así como una pérdida de sus características mecánicas frente a estímulos externos.

Hongos de pudrición: caracterizado por hongos que se alimentan de la pared celular, causando una severa pérdida de resistencia, en ocasiones provoca el desprendimiento de partes del elemento e incluso su desintegración al recibir leves presiones, impidiendo cualquier tipo de aplicación paliativa.

El ataque de pudrición suele desarrollarse por la acción de muchos tipos de hongos, cada uno de los cuales actúa en un grado de degradación, dependiendo si el hongo se alimentó de la lignina o de la celulosa (Herrero, Lozano, & Lechón Pérez, 2018)

Imagen 2

Hongos de Pudrición



Fuente: Alexander García, Quinta La Delicia

En la imagen 2 se puede verificar que el estado de los pilares de madera no es el adecuado al existir evidencias claras de pudrición significativa en su parte estructural de la base debido a la pudrición parda que es causada por hongos que se alimentan de la celulosa dejando la lignina, caracterizada por su color pardo. La madera se desgrana en cubos, por lo que también se le conoce como pudrición cúbica.

Mohos: Son hongos que tienen una apariencia de algodón fino, caracterizados por la temperatura y de una humedad abundante que afectan a la madera en su aspecto superficial y se pueden eliminar cepillando la pieza, no causan daños a la resistencia ni a otras propiedades. Si no se eliminan oportunamente puede que la pieza de madera sea fácilmente atacada por hongos de pudrición, ya que el crecimiento de mohos estimula su desarrollo

Imagen 3

Mohos



Fuente: Alexander García, Quinta La Delicia

La imagen 3 muestra claramente como la humedad afecta Para este tipo de patología es importante que se aislé la conexión entre la cimentación y el elemento vertical que está en contacto directo lo que produce el Moho.

Agentes abióticos: La radiación solar actúa principalmente a través de los rayos ultravioletas e infrarrojos, los rayos ultravioletas no penetran profundamente en la madera y su acción se localiza en la superficie. La degradación que producen es lenta, se estima en 5-12mm por siglo, y se centra en la lignina de la madera, provocando una eliminación de la humedad propia de la madera de manera súbita generando agrietamientos superficiales.

Las fibras de la madera que contienen elevados porcentajes de celulosa, permanecen sobre la superficie de la madera y le dan ese color grisáceo con el paso del tiempo. En la madera desnuda provoca que se pierda cohesión entre las fibras al degradar la lignina que une, por lo que es relativamente fácil que se desprenda o deshilache parte de la superficie por la acción posterior de la lluvia. El color de la madera expuesta al exterior se ve afectado muy rápidamente. En unos pocos meses y de forma general, todas las maderas adquieren un color amarillo-marrón debido a la destrucción de la lignina y los extractos.

Imagen 4

Agentes Abióticos



Fuente: Alexander García, Quinta La Delicia

Daños producidos por la lluvia: La acción de la lluvia sobre la madera produce un efecto parecido pero inverso al que originan los rayos infrarrojos. La lluvia provoca que aumente el contenido de humedad de la superficie de la madera, que será superior al del interior de la pieza. Este gradiente de contenidos de humedad originará tensiones superficiales (la superficie de la madera tenderá a hincharse en mayor medida que la parte interior), que conducen a la aparición de fendas.

Imagen 5

Fendas



Fuente: Alexander García, Quinta La Delicia

En la imagen 5 se observa claramente ya una intervención realizada para evitar los efectos realizados por la lluvia lo que consiste en platinas de acero colocadas como recubrimiento de la columna para evitar que esta sección de fracción en varias partes.

Análisis de la edificación

Figura 1

Implantación del área de estudio



Fuente: Alexander García, Quinta La Delicia

La administración zonal la Delicia se divide en 6 bloques importantes que son:

- Bloque 1 Despacho del Administrador Zonal.
- Bloque 2 Servicios Ciudadanos.
- Bloque 3 Regula tu Barrio.
- Bloque 4 Auditorio.
- Bloque 5 Administrativo
- Bloque 6 Hábitat, Territorio y Vivienda.

En su mayor parte los bloques son de un solo nivel a excepto del Bloque del Administrador zonal y de la parte central del Bloque Administrativo.

Todos los Bloques enunciados están contruidos en su parte estructural de elementos horizontales, verticales, techos y entresijos de madera con paredes de tapial.

Según el grupo de especies en él (Grupo Andino, 1983), los elementos estructurales de madera de la Administración Zonal la Delicia se clasifica en el grupo A como Guayacán Pechiche esto establecido en el documento denominado PADT REFORT.

En la edificación motivo de análisis se establecieron secciones existentes las cuales son:

Tabla 2

Secciones De Elementos Estructurales De Madera

Elemento	Material	Sección en cm
Columnas	Guayacán pechiche	20*20
Vigas	Guayacán pechiche	10*7
Cerchas(Par y Péndola)	Guayacán pechiche	10*5

Fuente: Alexander García, Quinta La Delicia

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El PADT-REFORT es una herramienta clave para el análisis estructural de edificaciones de madera, lo que proporciona datos estandarizados sobre especies forestales y sus propiedades mecánicas permite seleccionar algunos materiales adecuados con base en su resistencia, durabilidad y comportamiento estructural, lo que se optimiza el diseño y la seguridad de las construcciones. Adicional, facilita la evaluación del desempeño estructural bajo cargas y condiciones ambientales, asegurando la aplicabilidad de normativas técnicas, su integración en estudios científicos mejora la precisión en el modelado estructural.

Propiedades mecánicas del Guayacán Pechiche que forman parte de todos los elementos estructurales:

Tabla 3

Módulo de Elasticidad del Guayacán Pechiche

Guayacán Pechiche	E(Kg/cm ²)
E paralelo tracción	170142,13
E paralelo compresión	172535,82
E perpendicular - flexión	142635,64

Fuente: (Escobedo, 2022)

Tabla 4*Esfuerzos Admisibles del Guayacán Pechiche en seco*

GRUPO A	
Guayacán Pechiche	(Kg/cm ²)
Flexión	152.81
Tracción Paralela	472.07
Compresión Paralela	105.81
Compresión Perpendicular	70.13
Corte	13.24
Esfuerzo a compresión paralelo a la fibra (MPa)	91.36

Fuente: (Escobedo, 2022)

Coefficiente de Poisson: 0.30

La densidad básica de acuerdo al Grupo A varía entre 0.71 y 0.90 $\frac{g}{cm^3}$

Las Patologías de los elementos verticales y horizontales en la Administración Zonal la Delicia se detallan en un sinnúmero de problemas tales como:

De acuerdo a la Norma ecuatoriana de la construcción las estructuras de madera deben diseñarse para resistir:

- Cargas muertas
- Cargas vivas
- Cargas por sismo

Por tanto, se detallan las siguientes combinaciones de carga probables a ser utilizadas en el análisis presente de acuerdo a la Guía de Madera NEC.

Tabla 5*Cargas Probables de acuerdo a la guía NEC*

D	D = Carga muerta.
D+0.525Ex	Ex = Carga estática de sismo en sentido X.
D-0.525Ex	Ey = Carga estática de sismo en sentido Y.
D+0.525Ey	EQx = Carga del espectro de aceleraciones en sentido X.
D-0.525Ey	EQy = Carga del espectro de aceleraciones en sentido Y.
D+0.7EQx	Nota: No existe carga viva ya que la edificación es de 1 solo piso de cubierta.
D-0.7EQx	
D+0.7EQy	
D-0.7EQy	

Fuente: (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015)

Para realizar el modelado en SAP2000 de la estructura existente se toma en consideración los siguientes datos:

Peso específico: $850 \frac{Kg}{m^3}$

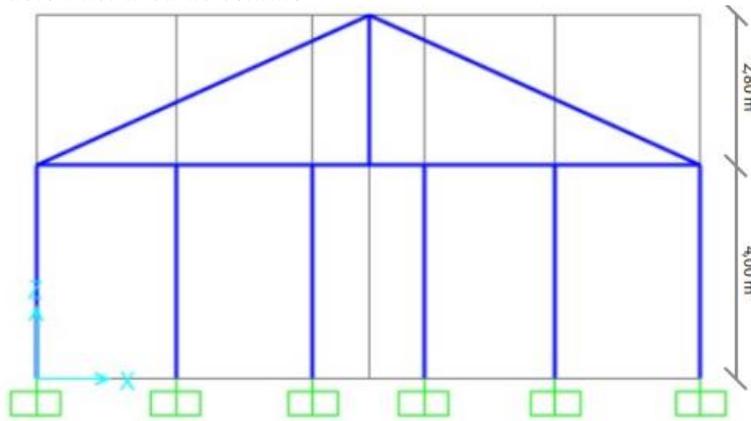
Módulo de Elasticidad: $173,352.4 - 224,338.4 \frac{Kg}{m^2}$ (para la modelación se tomó un Valor promedio con el fin de promulgar valores acordes a la realidad)

Coefficiente de dilatación térmica: $3 - 5 \times 10^{-06}$ (para la modelación se tomó un Valor promedio con el fin de promulgar valores acordes a la realidad)

La sobrecarga muerta 80 kg/m^2 valor establecido para garantizar la seguridad del sistema estructural.

Figura 2

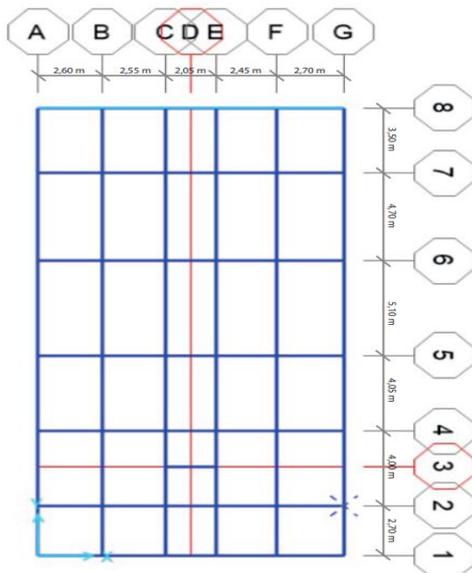
Elevación del área de estudio



Fuente: Alexander García

Figura 3

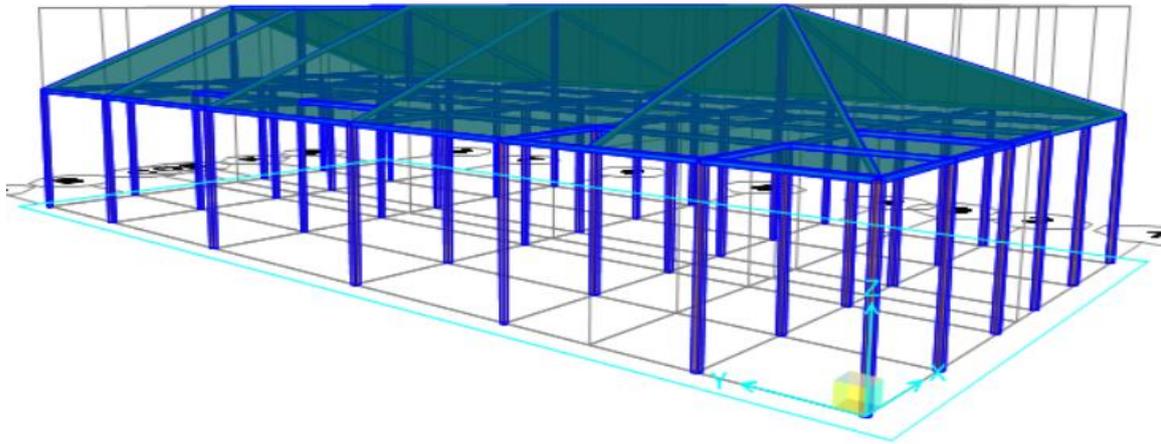
Planta del área de estudio



Fuente: Alexander García

Figura 4

Modelo 3D SAP2000 - Bloque 6



Fuente: Alexander García

El presente modelo se analizó a la estructura de madera en el software SAP2000, toda la información ingresada está en función a la clasificación A del grupo de maderas que pertenece al Guayacán Pechiche, teniendo en sitio una edificación antigua con carga de cubierta de teja.

Tabla 6

Participación modal de masa

TABLE: Modal Participating Mass Ratios									
Output Case	StepT ype	StepN um	Perio d	UX	UY	SumU X	Sum UY	RZ	SumRZ
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	0.633004	5.63E-08	0.9647	5.63E-08	0.9647	0.000004	0.000004
MODAL	Mode	2	0.504964	0.73726	6.34E-07	0.73726	0.9647	0.10788	0.10788
MODAL	Mode	3	0.458417	0.00357	0.00023	0.74083	0.96493	0.00151	0.10939
MODAL	Mode	4	0.454457	0.23591	0.000006369	0.97674	0.96493	0.19515	0.30454
MODAL	Mode	5	0.432938	0.00933	0.000002092	0.98607	0.96494	0.68236	0.9869
MODAL	Mode	6	0.13372	9.72E-08	0.03456	0.98607	0.99949	0.000003804	0.9869

MODAL Mode	7	0.128 024	0.000050 4	0.000050 8	0.986 12	0.999 54	0.0027	0.9896
MODAL Mode	8	0.124 28	0.01003	7.98E-09	0.996 15	0.999 54	0.00499	0.9946
MODAL Mode	9	0.117 108	0.00381	1.39E-09	0.999 96	0.999 54	0.00537	0.99997
MODAL Mode	10	0.113 871	0.000001 155	0.000002 856	0.999 96	0.999 55	0.000000 779	0.99997
MODAL Mode	11	0.110 157	1.96E-10	0.00044	0.999 96	0.999 99	1.59E-07	0.99997
MODAL Mode	12	0.079 826	7.84E-08	0.000000 195	0.999 96	0.999 99	0.000005 456	0.99997

Fuente: Alexander García

En la tabla se visualiza los valores aceptables críticos que se verifica en el modelo de la edificación

- A partir del modo 4 EN SENTIDO X la participación de masa es > 90 % y a partir del modo 1 EN SENTIDO Y la participación de masa es > 90 %. (cumple)
- Periodo de vibración 0.633 segundos > 0.400 segundos (no cumple)

Tabla 7

Deriva Inelástica

DEZPLAZAMIENTO	DERIVA ELASTICA	DERIVA INELASTICA
0.007551 de donde sale	0.001110441	0.888%(CUMPLE)

La deriva de piso es menor al 2% por tanto la edificación es estable.

- Modo 1. Traslacional > 70%; Rotacional < 10 % (cumple)
- Modo 2. Traslacional > 70%; Rotacional < 10 % (cumple)
- Modo 3. Traslacional < 10%; Rotacional > 70 % (no cumple)

Tabla 8

Verificación de los modos traslacional y rotacional

TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	RZ	
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	
MODAL	Mode	1	0.633004	0.000000056	0.964700000	0.000004710	CUMPLE
MODAL	Mode	2	0.504964	0.737260000	0.000000634	0.107880000	CUMPLE
MODAL	Mode	3	0.458417	0.003570000	0.000230000	0.001510000	NO CUMPLE
MODAL	Mode	4	0.454457	0.23591	0.000006369	0.19515	
MODAL	Mode	5	0.432938	0.00933	0.000002092	0.68236	

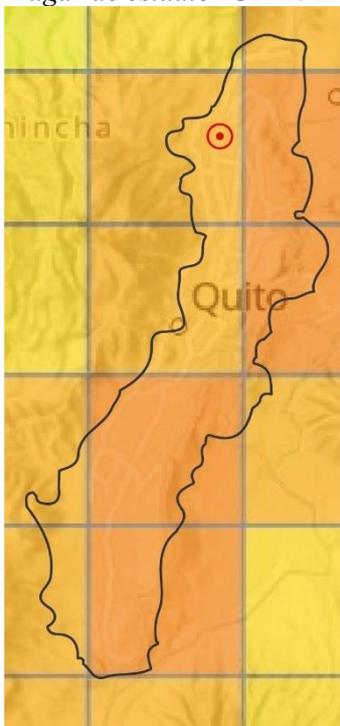
MODAL	Mode	6	0.13372	9.72E-08	0.03456	0.000003804
MODAL	Mode	7	0.128024	0.0000504	0.0000508	0.0027
MODAL	Mode	8	0.12428	0.01003	7.98E-09	0.00499
MODAL	Mode	9	0.117108	0.00381	1.39E-09	0.00537
MODAL	Mode	10	0.113871	0.000001155	0.000002856	0.000000779
MODAL	Mode	11	0.110157	1.96E-10	0.00044	1.59E-07
MODAL	Mode	12	0.079826	7.84E-08	0.000000195	0.000005456

Fuente: Alexander García

- El modo 3 no cumple por la baja participación modal, como esta en función a la rotación en relación al eje vertical Z puede producir torsión.
- El segundo análisis de la estructura patrimonial se lo realizará por el método FEMA P-154
- Para el FEMA P-154 se usa el peligro sísmico con un periodo de retorno de 2475 años (en un 2% de excedencia en 50 años) para evaluar el riesgo ante sismos extremos de consideración destructivos.
- Los valores S_s y S₁ representan la aceleración espectral para periodos corto y largo, respectivamente.
- Para este nivel de amenaza nos permite identificar que los edificios son potencialmente vulnerables a colapso, por tanto, se prioriza la seguridad en eventos severos.

Figura 5

Lugar de estudio IGEPN



Fuente: Alexander García

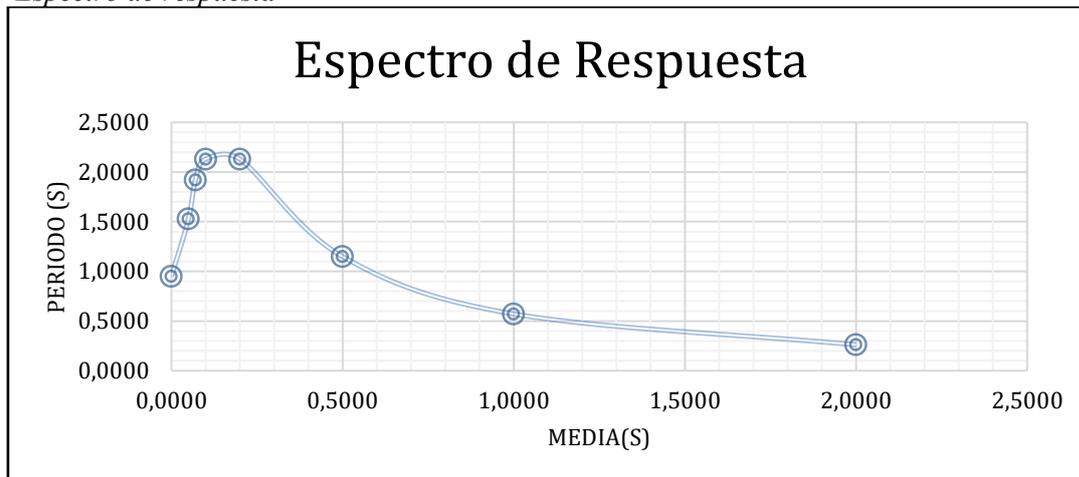
La figura representa el lugar de estudio de la edificación patrimonial donde se puede evidenciar los datos de periodo y aceleración.

Tabla 9*Valores del periodo y aceleración*

Código	Periodo [s]	Media[g]	Q_16[g]	Q_50[g]	Q_84[g]
S01	0.0000	0.9490	0.6873	0.8929	1.0890
S02	0.0500	1.5281	1.0540	1.3526	1.7771
S03	0.0700	1.9195	1.3529	1.7709	2.1300
S04	0.1000	2.1300	1.7786	2.1300	2.1300
Ss	0.2000	2.1300	1.6700	2.0753	2.1300
S05	0.5000	1.1488	0.8274	1.1237	1.3097
S1	1.0000	0.5712	0.4267	0.5242	0.6913
S06	2.0000	0.2619	0.2011	0.2325	0.3458

Fuente: Alexander García

Para el análisis se toma los valores de Periodo y media para determinar la respuesta de amenaza sísmica del espectro.

Gráfico 1*Espectro de respuesta*

Fuente: Alexander García

Por tanto, verificamos los valores de la aceleración espectral para un periodo corto de 0.20 segundos y para un periodo largo de 1.0 segundos.

Tabla 10*Valores de Ss y S1*

Región Sísmica	Respuesta de la aceleración espectral, Ss periodo, 0.2 Segundos	Respuesta de la aceleración espectral S1 periodo largo o 0.1 segundos
Baja	$Ss < 0.25g$	$S1 < 0.10g$
Moderada	$0.250 \leq Ss < 0.50g$	$0.100g \leq S1 < 0.200g$
Moderada Alta	$0.500 \leq Ss < 1.00g$	$0.200g \leq S1 < 0.400g$
Alta	$1.00 \leq Ss < 1.50g$	$0.400g \leq S1 < 0.600g$

Muy Alta	$S_s \geq 1.50g$	$S_1 \geq 0.600g$
----------	------------------	-------------------

Fuente: (FEMA P154, 2016)

De acuerdo a la región sísmica escogemos el formulario FEMA P-154 y a los valores de S_s y S_1 el cual nos dirige a **EVAL (2015) MUY ALTA SISMICA NIV-1**

Tabla 11

Tabla de aceleración determinada

Periodo [s]	Media[g]
S_s	2.1300
S_1	0.5712

Fuente: Alexander García

Del análisis estático realizado sobre la estructura patrimonial, se concluye que la edificación cumple con los requisitos estructurales establecidos, garantizando un desempeño adecuado frente a eventos sísmicos. En primer lugar, se verificó que la edificación satisface las demandas de deriva inelástica, demostrando que las deformaciones se encuentran dentro de los límites permisibles para garantizar la seguridad y funcionalidad de la estructura. Asimismo, se evaluaron los componentes traslacional y rotacional, encontrándose que ambos cumplen con las exigencias normativas y contribuyen al comportamiento dinámico eficiente de la edificación, esto sumado a que de acuerdo a la valoración.

En cuanto a la participación modal, se observó que la distribución de la masa en el sentido X es adecuada a partir del cuarto modo de vibración, lo que asegura una adecuada transferencia de las fuerzas dinámicas a lo largo de la estructura. Aunque el período de vibración obtenido presenta una ligera discrepancia respecto a la relación esperada entre el modelo analítico y el cálculo del cortante basal, este aspecto no compromete la estabilidad ni la seguridad de la edificación, dado que otros parámetros fundamentales cumplen con los requerimientos establecidos.

La valoración obtenida en la estructura es de 1.6 lo que indica de acuerdo a la tabla 1 valoración de vulnerabilidad, indica que la estructura tiene vulnerabilidad mínima por lo que presenta estabilidad y seguridad suficiente para su funcionamiento, pero si hay que intervenirle para garantizar las visas de las personas que la utilizan, esto de acuerdo a la metodología de (FEMA P154, 2016)

Del análisis estático confirma que la edificación es estructuralmente eficiente lo que da una garantía a los resultados obtenidos por (FEMA P154, 2016) es decir indica que la estructura es estructuralmente estable para resistir los efectos de cualquier evento sísmico que pudiera presentarse, proporcionando una garantía de seguridad y confiabilidad tanto para sus ocupantes como para el patrimonio arquitectónico que representa. Este resultado reafirma la robustez del diseño y la adecuación de las soluciones estructurales implementadas

Del análisis Técnico de Vulnerabilidad Sísmica según FEMA P-154 se establece que la estructura presenta una seguridad aceptable pero es imperante realizar reforzamientos en áreas deterioradas con el remplazo de secciones afectadas por diferentes elementos bióticos y abióticos es así que es imperante la implementación de un plan de mantenimiento de elementos estructurales además para corroborar esta respuesta se correlaciono con los datos proporcionados por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, se realizó un análisis de vulnerabilidad sísmica basado en el espectro de respuesta correspondiente a una zona de Muy Alta Sismicidad (Nivel 1). Para este caso, los parámetros sísmicos utilizados son:

- S_s (aceleración espectral para periodos cortos): 2.13
- S_a (aceleración espectral para periodos largos): 0.5712

Estos valores corresponden a un periodo corto de 0.20 segundos y un periodo largo de 1.0 segundo, según el espectro de diseño sísmico.

Lo que ayudo a correlacionar la evaluación empleando el formulario de detección visual rápida de vulnerabilidad sísmica proporcionado por el FEMA P-154. Este formulario permite determinar, de manera preliminar, el nivel de seguridad de la edificación frente a eventos sísmicos.

Condición estructural y física

La edificación evaluada no presenta daños visibles que comprometan la seguridad física o estructural. Por lo tanto, se considera que su estado actual es adecuado y que cumple con los estándares mínimos < 2.0 de seguridad sísmica para una edificación patrimonial.

Puntaje final

El puntaje obtenido para el Nivel 1 fue de 1.6 “aceptable” de acuerdo a la tabla 1

Para el caso del SL1, el puntaje resultante fue de 1.8. “aceptable”

Estos valores se encuentran dentro de los rangos aceptables establecidos por los criterios del FEMA P-154, lo que indica que la edificación tiene una vulnerabilidad sísmica baja o moderada y que, bajo las condiciones evaluadas, podría mantenerse en buen estado ante un evento sísmico.

CONCLUSIONES

Para el análisis estático se confirma que la estructura patrimonial posee una respuesta sísmica robusta y eficiente, pero pese a eso es imperante realizar un reforzamiento en sus elementos de columna para evitar los agentes externos lo que garantiza su capacidad para resistir los efectos de eventos sísmicos severos sin comprometer su seguridad ni su valor arquitectónico. La adecuada distribución de masas, la eficiencia en los modos de vibración, y el cumplimiento de las demandas normativas para componentes estructurales y no estructurales reafirman que la edificación es estructuralmente segura, funcional y confiable. Estos resultados reflejan la robustez del diseño y la implementación efectiva de soluciones estructurales, contribuyendo a la

preservación del patrimonio arquitectónico y a la protección de sus ocupantes frente a amenazas sísmicas.

Con base al segundo análisis realizado y los según los resultados obtenidos, se concluye que la edificación patrimonial evaluada se encuentra en condiciones óptimas desde el punto de vista sísmico, sin riesgos significativos para su integridad estructural ni para la seguridad de las personas que la ocupan. La combinación de los valores espectrales, la ausencia de daños visibles y el puntaje final obtenido permiten clasificarla como una estructura segura que podría resistir adecuadamente un sismo en la zona de Muy Alta Sismicidad.

El análisis confirma que, aunque la edificación presenta múltiples patologías, estas no comprometen de manera inmediata su integridad estructural siempre que se realicen intervenciones oportunas dentro de las cuales son la implementación de apoyos rígidos en las bases de la estructura que remplace secciones afectadas con la utilización de empalmes de secciones nuevas que absorban las cargas transmitidas.

La estrategia recomendada, basada en cambios individuales de secciones deterioradas y un mantenimiento periódico exhaustivo, permitirá preservar tanto la funcionalidad como el valor patrimonial de la edificación. Este enfoque no solo protege el legado histórico que representa, sino que también asegura su uso continuo y su resistencia frente a las condiciones ambientales y sísmicas a las que pueda estar expuesta en el futuro.

REFERENCIAS

- Aguilar et al. (2024). *Modelos de carga viva para el diseño y evaluación de puentes en Chile*. Santiago de Chile: Revista Científico Tecnológica Departamento Ingeniería de Obras Civiles.
- Arteaga, C., & Aroni, K. (2024). *Propuesta de reforzamiento estructural para evitar el colapso del campanario del Templo de Sacsamarca en Ayacucho mediante geomallas y vigas de madera*. Lima: UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS.
- Bustanza et Al. (2022). *Estudio De Vulnerabilidad Estructural A Través De La Metodología Fema P-154 Del Centro Poblado De Caylloma – Arequipa*. Arequipa: UCSM-ERP.
- Calle, D. J. (2021). *Guía Para Análisis, Diseño Y Detallamiento De Conexiones De Madera En Edificaciones*. Azoguez: Unidad Académica De Ingeniería.
- Ceballo et al. (2025). *Peligro sísmico en la zona metropolitana de Tuxtla Gutiérrez: dos casos de estudio*. Chiapas: ESPACIO I+D, INNOVACIÓN MÁS DESARROLLO.
- Cobo, D., & Sunta, D. (2023). *Control Del Efecto De Torsión En Pórticos De Hormigón Armado Modificando La Geometría De Columnas Esquineras*. Quito: Dspace.
- Consejo Tecnico de Uso y Gestion del Suelo. (2021). *Formulario De Detección Visual Rápida De Vulnerabilidad Sísmica Para Edificaciones*. Quito: MIDUVI.
- Cooperacion Chilena de la Madera . (2005). *Patologias Y Proteccion De La Madera En Servicio*. Santiago: Centro de Transferencia Tecnológica.
- Corrales el Al. (2025). *Evaluación Sísmica De Instituciones Educativas: Una Revisión Literaria*. Pimentel: Escuela Profesional De Ingeniería Civil.
- Escobedo, C. (2022). *Análisis del módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson y resistencia a la compresión del concreto estructural por la influencia de material pasante de la malla N° 200*. Arequipa: Universidad Tecnológica del Perú.
- Espinoza Vaca, E. S. (2018). *Diagnóstico del estado actual de los bienes inmuebles antiguos y privados desde 1950 hasta 2017 en la ciudad de Riobamba*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- FEMA P154. (2016). *Rapid Visual Screening of Building for Potential Seismic Hazards- A Handbook*. California: FEMA & NEHRP.
- García, J. R. (2022). *Tratamientos De Restauración De Bienes Patrimoniales De La Iglesia De San Nicolás De Bari De Sinovas En Aranda De Duero (Burgos)*. *Conservadora-Restauradora. Batea Restauraciones, S.L*, 19.
- Gasca, M. (2021). *Sistemas De Entramado De Madera: Construccion Con CLT*. Madrid: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- Grupo Andino. (1983). *Proyecto Andino de Desarrollo Tecnológico en el Area de los Recursos Forestales Tropicales*. Lima: Ministerio de Ambiente y de los Recursos Renovables .

- Herrero, M. E., Lozano, A. M., & Lechón Pérez, J. I. (2018). *Construcción con madera y sostenibilidad en las ciudades del siglo XXI y siglos venideros*. Madrid: Montes.
- Macao, W. B. (2022). *Generación de base de datos sobre patologías en Estructuras de Madera*. Cuenca: Campus Luis cordero.
- Martín, H. M. (2021). *Comparativa De Calculo Estructural Entre Dos Software: Etabs Y Sap2000*. Valladolid: Escuela De Ingenierias Industriales.
- Mercedes et al. (2021). Dinámica estructural en Ingeniería Civil. *Revista Científica Ciencias Ingenieriles*, 7.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). *NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, diseño sísmo resistente*. Quito: MIDUVI.
- Núñez et al. (Agosto de 2021). *scielo*. Obtenido de revista ingenieria de construccion: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732021000200173&script=sci_arttext
- Ñauta, D., & Vélez, D. (2024). *Análisis Comparativo De Soluciones Para Un Edificio Asimétrico Sometido A Torsión Por Efecto Sísmico*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- Oficina Nacional de Evaluación Sísmica y Vulnerabilidad de Infraestructuras y Edificaciones. (2015). *Manual de Uso de la Metodología de Evaluación Visual Rápida FEMA P154*. República Dominicana: NESVIE.
- Pérez et al. (2021). *Coefficiente de Dilatación: diseño y construcción de un dilatómetro*. Corrientes: FaCENA – UNNE.
- Portoviejo, W. (2022). *Generación de base de datos sobre patologías de estructuras de madera*. Cuenca: Unidad Académica de Ingeniería, Industria y Construcción.
- Ruizz, K. F. (2021). *Determinación De Propiedades Físicas, Químicas Y Mecánicas De Las Especies (Guayacán Pechiche), En La Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*. Riobamba: POLIFAST.
- Salamanca, J. D. (2021). *La Madera Como Sistema Constructivo De Viviendas Sostenibles*. Villavicencio: CCBYS.
- Santamaría, J., & Romero, K. (02 de Julio de 2024). *scielo*. Obtenido de Revista Digital Novasinergia: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2631-26542024000200138&script=sci_arttext
- Sotomayor, J. (2024). *Estudio comparativo de módulos de rigidez de tres maderas mexicanas y tres maderas japonesas*. Michoacán: JRS Castellanos.
- Villaroel, A. H. (2022). *Análisis Comparativo Del Método Tradicional De Hormigón*. Santiago De Chile: E2E S.A.