



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**RECUPERACIÓN MECÁNICA DE ELEMENTOS
ESTRUCTURALES EN SISTEMAS
CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES PRESENTES
EN LA CIUDAD DE CUENCA – ECUADOR.**

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER

POR: SANTIAGO MONTERO BERMEO

DIRECTOR: DR. D. JAVIER BENLLOCH MARCO



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
**INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN**

MASTER UNIVERSITARIO EN EDIFICACIÓN

2014 – 2015

AGRADECIMIENTO

Al Dr. D. Javier Benlloch Marco, Director de este trabajo, por su gran apoyo a pesar de la distancia.

A la familia Palacios por la apertura y confianza en permitir el acceso a su vivienda para el desarrollo del mismo.

Gracias papá por enseñarme el verdadero valor de los sueños, y por esas conversaciones largas sobre la vida y la arquitectura.

DEDICATORIA

A mi esposa Maritza, por creer en esto desde el inicio y confiar en que todo es posible cuando estamos juntos.

Indudablemente dedicado a mis padres que nunca dejaron de confiar en mí y por su infinito apoyo todos los días.

A la familia y amigos que aun estando cerca o lejos supieron aportar.

INDICE

.....	1
1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 OBJETO DE ESTUDIO	4
1.3 OBJETIVOS.....	4
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO	6
2.1 INTRODUCCIÓN	7
2.2 TERRENO.....	8
2.3 CIMENTACIÓN Y CONTENCIÓN.....	13
2.4 ESTRUCTURA VERTICAL.....	14
2.4.1 MUROS DE CARGA	14
2.4.2 PÓRTICOS, PILARES Y VIGAS.....	17
2.5 ESTRUCTURA HORIZONTAL.....	28
2.5.1 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA Y DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES.	28
2.5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES.....	30
2.5.3 ESTIMACIÓN DE CARGAS Y SOBRECARGAS.....	33
2.5.4 PUNTOS CONFLICTIVOS DE SISTEMA.....	33
2.6 ELEMENTOS DE COMUNICACIÓN VERTICAL.....	34
2.6.1 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA Y DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES	35
2.6.2 DETALLES CONSTRUCTIVOS.....	35
2.7 CUBIERTAS.....	36
2.7.1 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL CONJUNTO.....	36
2.7.2 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA Y DE CADA TIPO	36
2.7.3 DATOS ESPECÍFICOS DE LOS PUNTOS MÁS SINGULARES Y CONFLICTIVOS.....	37
2.8 FACHADAS.....	39
2.9 CARPINTERÍA EXTERIOR	41
2.10 CARPINTERÍA Y ACABADOS INTERIORES.....	42
3. IDENTIFICACIÓN PATOLÓGICA E HIPÓTESIS DE CAUSAS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES	43
3.1 INTRODUCCIÓN	44
3.2 MARCO TEÓRICO SOBRE PATOLOGÍAS.....	45
3.3 LESIONES Y PATOLOGIAS	46

3.3.1	LESIONES FÍSICAS.....	46
3.3.2	LESIONES MECÁNICAS	46
3.3.3	LESIONES QUÍMICAS.....	47
3.3.4	LESIONES BIÓTICAS.....	48
3.3.5	LESIONES ABIÓTICAS	48
3.4	PATOLOGIAS COMUNES EN SISTEMAS COSTRUCTIVOS TRADICIONALES	50
3.4.1	METODOLOGÍA PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	50
3.4.2	EVALUACIÓN PRELIMINAR PARA UN CASO REAL.....	51
3.4.3	RESUMEN DE PATOLOGIAS MAS COMUNES	74
4.	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE.....	79
4.1	INTRODUCCIÓN	80
4.2	IDENTIFICACIÓN DE ZONAS Y ELEMENTOS A EVALUAR.....	80
4.3	DETERMINACION DE LAS ACCIONES.....	82
4.3.1	ACCIONES PERMANENTES	82
4.3.2	ACCIONES VARIABLES.....	83
4.3.3	COEFICIENES PARCIALES DE SEGURIDAD.....	85
4.4	EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.....	86
4.4.1	EVALUACIÓN DE LA VIGUETA ZONA A (CONDICIÓN ACTUAL)	86
4.4.2	EVALUACIÓN DE LA VIGUETA ZONA A (NUEVO USO)	88
4.4.3	EVALUACIÓN DE LA VIGUETA ZONA B (CONDICIÓN ACTUAL)	90
4.4.4	EVALUACIÓN DE LA VIGUETA ZONA B (NUEVO USO).....	92
4.5	RESUMEN DE EVALUACIONES.....	94
5	PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES	95
5.1	INTRODUCCIÓN	96
5.2	REFORZAMIENTO EN ELEMENTOS A FLEXIÓN.....	96
5.2.1	SOLUCIONES CON APORTE DE MADERA	97
5.2.2	APLICACIÓN RESINAS EPOXI.....	97
5.2.3	SOLUCIONES DE SUSTITUCION CON HORMIGON	98
5.2.4	SOLUCIONES MIXTAS DE MADERA Y TABLERO	98
5.2.5	SOLUCIONES CON ACERO	99
5.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA UTILIZADO.....	101
5.4	METODO DE CÁLCULO – REFUERZO CON PLETINA METÁLICA.....	102
5.4.1	Vigueta zona A (nuevo uso)	102
5.4.2	Vigueta zona B (nuevo uso).....	107

5.5	PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO	112
5.5.1	COMPORTAMIENTO DE LA MADERA	112
5.6	RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA AL FUEGO.....	113
5.6.1	EXIGENCIA	113
5.6.2	CAPACIDAD RESISTENTE	113
5.6.3	COEFICIENTE DE SIMULTANEIDAD.....	114
5.7	EVALUACION DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES AL FUEGO (Cálculo de la capacidad resistente – Método sección reducida)	114
5.7.1	Vigueta zona A	115
5.7.2	VIGUETA B.....	117
6	CONCLUSIONES	120
7	LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	123
8	BIBLIOGRAFÍA	125

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

La ciudad de Cuenca – Ecuador está ubicada a 2.500 metros de altitud sobre el nivel del mar, es la tercera ciudad más grande del Ecuador, y es la capital de la provincia del Azuay, está asentada en un gran valle dentro de la Cordillera de los Andes, su temperatura media es de 14°C, por lo general su clima es templado la mayor parte del año, presenta grandes variaciones térmicas durante el día siendo así que puede llegar a temperaturas de 26°C al medio día y por la noche llegar a los 9°C.

En la actualidad es poblada por aproximadamente 660 000 habitantes en una superficie de 72km². Está rodeada por cuatro ríos que nacen del nudo del Cajas.

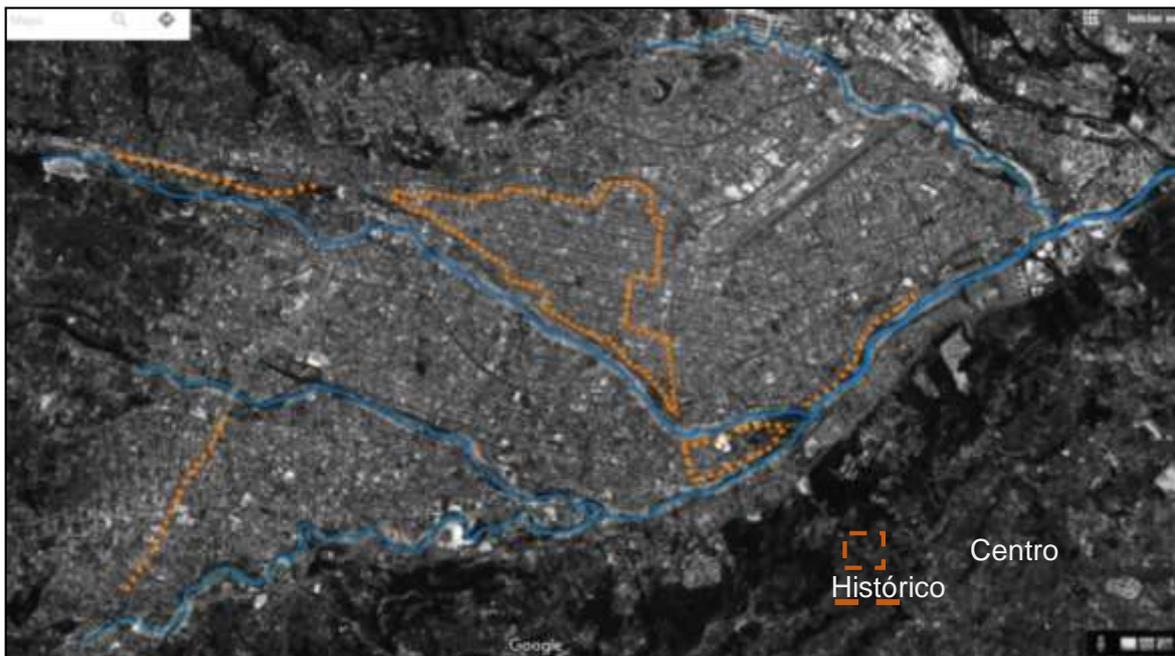


Imagen 1 .- Mapa de la ciudad de Cuenca con su Centro Histórico y sus ríos.
Fuente: Propia.

En cuanto a las edificaciones, Cuenca tiene una gran mezcla de estilos de construcción y decoración. Su Centro Histórico declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO en el año 1999 está constituido por una ciudad de aires coloniales, pero que es, en verdad, republicana, pues la mayoría de sus atractivas construcciones proceden del siglo XIX. Hay también algunas edificaciones del siglo XVIII, sobre todo los dos conventos de clausura, el de El Carmen y el de la Inmaculada Concepción, parte de la antigua Catedral, y unas pocas casas particulares. Pero lo que resulta particularmente atractivo es el aire homogéneo del conjunto, solo alterado por algunos alardes de chocante modernidad, en edificios de las décadas del 50 y 60.



Imagen 2.- Convento de clausura El Carmen.
Fuente: Municipio de Cuenca.

Al inicio las edificaciones eran hechas en su mayoría de bahareque, que resultaba de la mezcla de paja, piedras, tierra y agua. Las casas tenían techos de paja y solo alcanzaban un piso de altura. Conforme la ciudad se expandía, se fueron incorporando materiales de construcción como la madera y la teja, y los edificios fueron cada vez más altos.

Casas tradicionales con aleros, fachadas que se engalanan con yeserías en forma de guirnaldas o semicolumnas, cenefas y medallones, balcones en madera tallada y hierro forjado, puertas y ventanas que revelan interesantes trabajos en madera e interiores con patios, jardines y salas de techo pintado o de metal policromado.



Imagen 3.- Casas de arquitectura tradicional en el centro histórico de Cuenca.
Fuente: Google Maps – Street View.

1.2 OBJETO DE ESTUDIO

El objeto de estudio está relacionado con las edificaciones que poseen un sistema constructivo de carácter tradicional, siendo casi en su totalidad las viviendas que conforman el casco urbano histórico de la ciudad, encontrando también edificaciones con características semejantes en parroquias aledañas y antiguos ejes de desarrollo comercial de la ciudad.

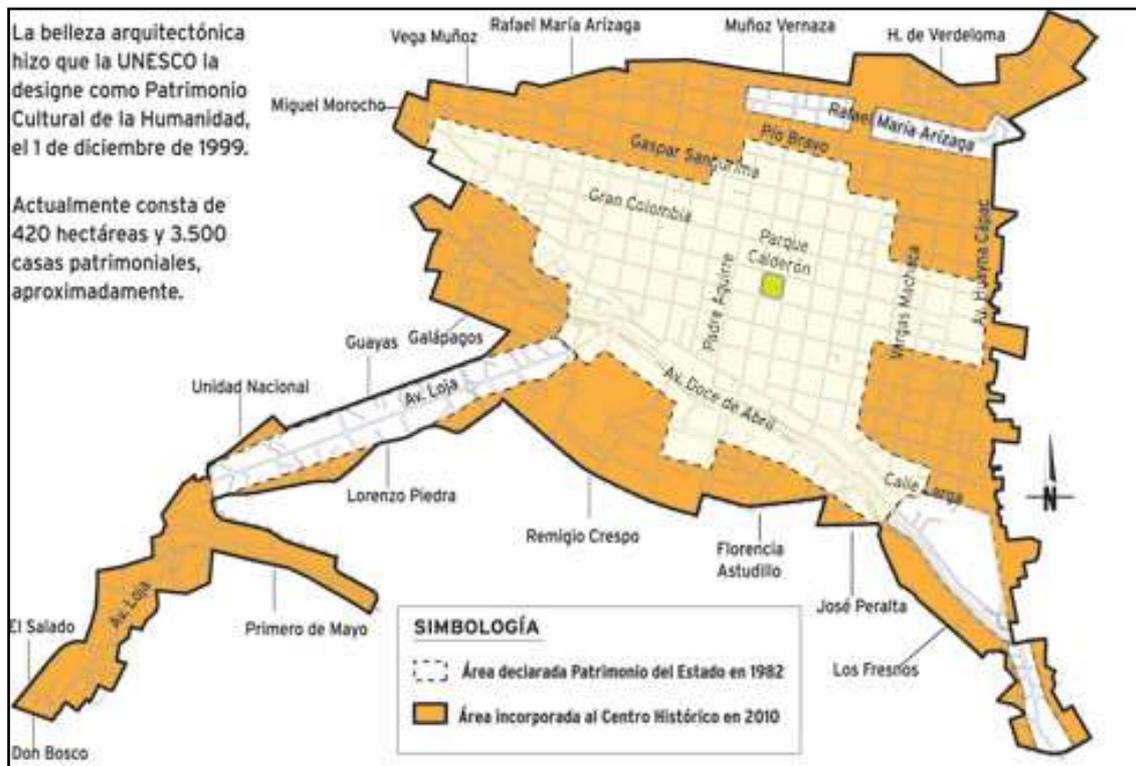


Imagen 4.- Mapa del Centro Histórico de Cuenca.
Fuente: www.eltiempo.com.ec

1.3 OBJETIVOS.

El objetivo principal es proponer la recuperación mecánica y/o reforzamiento de los elementos estructurales en sistemas constructivos tradicionales (adobe, madera) en base al análisis de un modelo estructural que asemeje las características que presentan los inmuebles objeto de este estudio, para ello se conocerá las características de los materiales que intervienen y se realizará un análisis de las condiciones de carga, ambientales y patológicas que comúnmente se presentan en el medio, esto con la finalidad de conocer de manera más real la situación de estabilidad estructural que se presentan, para ello y dándose el caso se propondrá el reforzamiento mediante elementos “prótesis”, los cuales deberán ser planteados de tal manera que no altere en la estructura morfológica ni histórica del inmueble.

El objetivo principal se fundamenta en los siguientes objetivos particulares:

- Valoración de los elementos estructurales para evitar la reposición innecesaria.
- Determinar la resistencia de la madera comparativamente entre un elemento nuevo y uno en servicio.
- Establecer propuestas de estabilización para muros interiores en adobe.
- Proponer mejoras en las uniones que garanticen el comportamiento de la estructura.
- Documentación de las patologías frecuentes en elementos estructurales.
- Valoración de las técnicas, sistemas y materiales de construcción existentes como parte histórica patrimonial.

2.DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA CONSTRUCTIVO

2.1 INTRODUCCIÓN

Para la elaboración de la descripción del sistema constructivo se lo planteará con el criterio que establece la **Tabla 1- Sistemas constructivos a incorporar en la memoria**, propuesta en la norma **UNE 41805-3:2009 IN**, y se adicionarán detalles constructivos de lo que se considere necesario para un mayor entendimiento. De igual forma como respaldo de la información se utilizará el modelo de la **Tabla 2- Datos de entorno geográfico y medio ambiente**, contenida en la misma norma.

A continuación una breve descripción general del sistema constructivo:

El sistema constructivo tradicional que normalmente se encuentra en las casas del centro histórico, a lo largo de algunos ejes de desarrollo de la ciudad, y también hay muestras de aquello en zonas rurales, estas casas datan aproximadamente del siglo XVIII y XIX, su técnica es completamente artesanal, con el empleo de materiales como la tierra que se obtenía del mismo sitio de emplazamiento para la elaboración de adobe, tapial o bahareque; madera de diferentes especies como el capulí, pino y mayoritariamente el eucalipto; también el uso de la piedra era muy común, sobre todo para cimentación, acabado de pisos y sobrecimientos.

Los sistemas que generalmente se encuentran son el adobe y el bahareque

En algunos casos y sobretodo en inmuebles relativamente más nuevos las fachadas eran realizadas con ladrillo artesanal mientras que el resto de divisiones y muros laterales se los realizaba con adobe.

Estas construcciones están constituidas por vigas, columnas y entrepisos de madera, muros portantes de adobe, y en las plantas superiores las divisiones se las planteaba en bahareque el cual tenía una estructura interior de carrizo dispuesto en forma horizontal, donde sus uniones solían ser amarradas con fibra vegetal conocida como cabuya.

La cubierta tiene una estructura de madera protegida con carrizo al cual se le recubría con barro sirviendo esto como soporte para la colocación de la teja de barro.

En base a los ítems de la **Tabla 1** de la norma **UNE 41805-3:2009 IN** se describe lo siguiente:

2.2 TERRENO

Para la descripción de las características del suelo se considerará únicamente la correspondiente a la zona del centro histórico por encontrarse ahí la mayoría de inmuebles de valor patrimonial y objeto de este estudio.

“En la parte sur de Cuenca predominan grandes planicies entre los ríos Tomebamba y Yanuncay, dentro de los cuales están las terrazas de formación glacial y los depósitos aluviales”¹.

La característica morfológica de estas zonas está definida por la formación de terrazas fluviales “Se han formado por acción de los ríos del valle de Cuenca, sobre los depósitos de edad glacial. Estos ríos son: Machángara, Tomebamba, Yanuncay y Tarqui.”¹

“Por la edad de estas Terrazas tenemos: las más altas y más antiguas localizadas al Norte del río Tomebamba y las más bajas y más recientes ubicadas entre el río Tomebamba y Tarqui, atravesada por el río Yanuncay.

Empezado desde la más alta los niveles de terraza son los siguientes:

Nivel 1: que corresponde a la meseta de acumulación glacial.

Nivel 2: área comprendida entre la Av. de las Américas y la iglesia de Cristo Rey.

Nivel 3: entre Héroes de Verdeloma y calle Rafael María Arízaga

Nivel 4: Ocupado por el núcleo de la ciudad. (Centro histórico)

Nivel 5: Que corresponde a las terrazas bajas, siendo las más extensas.

En base a los datos proporcionados por la Unidad de Riesgos de la Municipalidad de Cuenca, se ha obtenido información acerca de los tipos de suelos que existen en la zona del Centro Histórico, los cuales son:

¹ VELEZ DAVILA, P. (2012). Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Challuabamba, Cuenca, recomendaciones para la construcción de cimentaciones. Proyecto de graduación previo a la obtención del grado de Magíster en Geología Aplicada y Geotecnia. Universidad de Cuenca.

TIPOS DE SUELO						
POZO	Av. Pricipal	ENTRE	PROFUN (m)	LIM. LIQUI	IND. PLAST	CLASIF. A.A.S.H.T.O
1-1	Benigno Malo	Juan Jaramillo	0.5-2.00	48	16.7	A-7-5
1-2	Juan Jaramillo	Hermano Miguel y A. Borrero	0.5-2.00	43	18	A-2-7
1-3	Juan Jaramillo	Hermano Miguel	0.5-2.00	43	18	A-2-7
1-5	Presidente Córdova	Luis Cordero	0.8-1.3	53	20	A-7-5
1-6	Sucre	Benigno Malo	0.30-1.00	46	17	A-7-6
1-7	Sucre	A. Borrero	1.15-1.55	46	20	A-7-6
1-8	A. Borrero	Bolívar	0.65-1.15	51	18	A-7-6
1-9	Bolívar	Luis Cordero	0.50-2.00	37	11	A-2-6
1-10	Luis Cordero	Gran Colombia	0.40-1.30	53	23	A-7-5
1-10-1	Mariscal La Mar	Luis Cordero	0.50-2.00	32	5	A-2-4
1-11	Gran Colombia	Borrero y Hermano Miguel	0.50-2.00	38.57	10.7	A-6
1-12	Gran Colombia	Hermano Miguel y Mariano Cueva	0.50-2.00	75.4	45.7	A-7-6
1-13	Tomás Ordoñez	Sangurima y La Mar	0.50-2.00	42	15	A-2-7
1-14	Tomás Ordoñez	La Mar	0.40-1.50	42	15	A-2-7
1-15	Mariano Cueva	La Mar y Sangurima	0.50-2.00	46	19.54	A-7-6
1-16	Mariscal La Mar	Mariano Cueva y Hermano Miguel	0.50-2.00	40	16	A-2-6
1-17	Vargas Machuca	Bolívar y Sucre	0.50-2.00	43	18.1	A-7-6
2-1	Bolívar	Coronel Talbot	0.50-2.00	38	8.14	A-4
2.3	Bolívar	Benigno Malo	0.20-1.50	42	19	A-7-6
2-4	Sucre	General Torres	0.80-1.40	41	20	A-7-6
2-5	General Torres	Bolívar y Sucre	0.50-2.00	36	11	A-2-6
2-6	Padre Aguirre	Presidente Córdova	0.70-1.20	49	19	A-7-6
2-7	3 de Noviembre	La Condamine	0.00-1.50	35	9	A-2-4
2-8	Calle Larga	General Torres	0.50-2.00	41	18	A-7-6
2-9	Calle Larga	Padre Aguirre	0.50-2.00	39	15	A-6
2-10	Calle Larga	Benigno Malo	1.10-1.50	38	13	A-2-6
2-11	Sucre	Tarqui y G. Torres	0.50-2.00	37	14	A-2-6
2-12	Gral. Torres	Bolívar	0.60-1.20	47	21	A-7-6
2-13	Gran Colombia	Padre Aguirre	0.25-1.05	46	19	A-7-6
2-13-1	Mariscal La Mar	Padre Aguirre	0.50-2.00	42.15	20.17	A-7-6
2-14	Gran Colombia	Juan Montalvo y Tarqui	0.50-2.00	38	15.15	A-6
2-15	Gran Colombia	Juan Montalvo	0.50-2.00	70	40	A-7-6
2-16	Tarqui	Gran Colombia y La Mar	0.50-2.00	36	11	A-2-6
2-17	Sangurima	Tarqui y Juan Montalvo	0.50-2.00	44	23.3	A-7-6
2-18	Padre Aguirre	Sangurima	0.50-2.00	50	23	A-7-6
2-19	Sangurima	Coronel Talbot	0.50-2.00	47	21	A-7-6

Tabla 1.- Tipos de suelo (extracto para zona de Centro Histórico).

Fuente: Municipalidad de Cuenca – Unidad de riesgos.

En el cuadro anterior se expone los tipos de suelo existente en las principales zonas del Centro Histórico y su clasificación está basada en la A.S.S.T.H.O, a pesar que es una clasificación basada para la conformación de vías, los datos que aporta siguen siendo útiles para la edificación.

En esta clasificación los suelos se clasifican en siete grupos (A-1, A-2,..., A-7), según su granulometría y plasticidad. Más concretamente, en función del porcentaje que pasa por los tamices nº 200, 40 y 10, y de los Límites de Atterberg de la fracción que pasa

por el tamiz nº 40. Estos siete grupos se corresponden a dos grandes categorías de suelos, suelos granulares (con no más del 35% que pasa por el tamiz nº 200) y suelos limo-arcillosos (más del 35% que pasa por el tamiz nº 200).

La categoría de los suelos granulares; gravas, arenas y zahorras; está compuesta por los grupos A-1, A-2 y A-3, y su comportamiento en explanadas es, en general, de bueno a excelente, salvo los subgrupos A-2-6 y A-2-7, que se comportan como los suelos arcillosos debido a la alta plasticidad de los finos que contiene, siempre que el porcentaje de estos supere el 15%. Los grupos incluidos por los suelos granulares son los siguientes:

A-1: Corresponde a una mezcla bien graduada de gravas, arenas (gruesa y fina) y finos no plásticos o muy plásticos. También se incluyen en este grupo las mezclas bien graduadas de gravas y arenas sin finos.

A-1-a: Incluye los suelos con predominio de gravas, con o sin material fino bien graduado

A-1-b: Incluye suelos constituidos principalmente por arenas gruesas, con o sin material fino bien graduado.

A-3: Corresponde, típicamente, a suelos constituidos por arena fina de playa o de duna, de origen eólico, sin finos limosos o arcillosos o con una pequeña cantidad de limo no plástico. También incluyen este grupo, los depósitos fluviales de arena fina mal graduada con pequeñas cantidades de arena gruesa o grava.

A-2: Este grupo comprende a todos los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y que no pueden ser clasificados en los grupos A-1 y A-3, debido a que el porcentaje de finos o la plasticidad de estos (o ambas cosas) están por encima de los límites fijados para dichos grupos. Por todo esto, este grupo contiene una gran variedad de suelos granulares que estarán entre los correspondientes a los grupos A-1 y A-3 y a los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7.

A-2-4 y A-2-5: En estos subgrupos se incluyen los suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz nº 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz

nº 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5, de suelos limosos. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo o índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3.

A-2-6 y A-2-7: En estos subgrupos se incluyen suelos como los descritos para en los subgrupos A-2-4 y A-2-5, excepto que los finos contienen arcilla plástica con tienen las características de los grupos A-6 y A-7.

La categoría de los suelos limo-arcillosos está compuesta por los grupos A-4, A-5, A-6 y A-7, cuyo comportamiento en explanadas va de regular a malo. En esta categoría los suelos se clasifican en los distintos grupos atendiendo únicamente a su límite líquido y a su índice de plasticidad, según las zonas del siguiente gráfico de plasticidad. De esta forma se clasifican también los suelos del grupo A-2 en los distintos subgrupos.

Los grupos incluidos en los suelos granulares son los siguientes:

A-4: El suelo típico de este grupo es un suelo limoso no plástico o moderadamente plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz nº 200. También se incluyen en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos y hasta un 64% de gravas y arenas.

A-5: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-4, salvo que suele tener carácter diatomáceo o micáceo, y pueden ser muy compresibles, como indica su elevado límite líquido.

A-6: El suelo típico de este grupo es un suelo arcillosos plástico, que normalmente tiene un 75% o más de material que pasa por el tamiz nº 200. También se incluyen en este grupo las mezclas de suelo fino arcilloso y hasta un 64% de gravas y arenas. Estos suelos, experimentan generalmente grandes cambios de volumen entre los estados seco y húmedo.

A-7: El suelo típico de este grupo es similar al descrito en el grupo A-6, salvo que tiene las características de elevado límite líquido del grupo A-5, y puede ser elástico y estar sujeto a grandes cambios de volumen.

A-7-5: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad moderado en relación con el límite líquido y que pueden ser altamente compresibles, además de estar sujetos a importantes cambios de volumen.

A-7-6: Se incluyen en este subgrupo los suelos con un índice de plasticidad elevado en relación con el límite líquido y que están sujetos a cambios de volumen muy importantes.

Para efecto comparativo y clasificatorio las ASSTHO presenta la siguiente tabla:

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)							Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)			
	A-1		A-3 ^A	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamizado, % que pasa											
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425µm)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75µm)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Consistencia											
Límite líquido	...	...	...	B				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.	N.P.	B				10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín. ^B
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena		Arena fina	Grava y arena limoarcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	Excelente a bueno							Regular a malo			

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Tabla 2.- Clasificación de suelos – A.S.S.T.H.O.
Fuente: A.S.S.T.H.O.

En base a esta clasificación y los datos obtenidos a través de la Unidad de Riesgos del Municipio de Cuenca se puede deducir que las características del suelo en el entorno correspondiente al Centro Histórico están entre bueno y regular, encontrándose también zonas puntuales con características regulares a malas.

En esta zona la presencia del nivel freático se considera nula ya que el Centro Histórico al estar ubicado en una terraza elevada (20-30m) con respecto a los ríos de la ciudad, la presencia de nivel freático está muy por debajo de los niveles de cimentación.

2.3 CIMENTACIÓN Y SOBRECIMIENTO

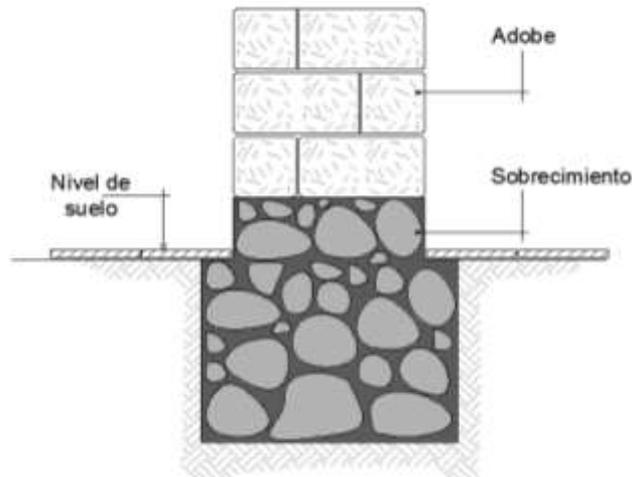


Imagen 5.- Detalle de cimentación.
Fuente: Probia

Está conformada por una cimentación corrida de piedra y mortero de cal y/o barro; debido a que los muros que se emplazan directamente sobre esta cimentación son de adobe, se realiza un sobrecimiento el cual protege los muros de tierra de la humedad y ascenso por capilaridad.

La colocación de estas piedras inicia con la excavación de la zanja que por lo general se consideraba una profundidad hasta encontrar suelo firme, además se consideraba óptimo cuando el trabajo de excavación manual se volvía difícil debido al cambio de composición del suelo y generalmente tiene una medida de 60 a 80 cm de profundidad y en ancho de 20cm más que el espesor del muro.

El proceso de colocación de las piedras se lo realizaba por capas con un barro de consistencia más seca para evitar fisuras por contracción, en un día no se podía hacer varias capas ya que se deba tiempo para el correcto secado del barro.

En algunos casos se adicionaba cal al mortero de barro con la finalidad de mejorar la resistencia y evitar también la presencia de patologías causadas por hongos.

El sobrecimiento se lo realizaba con la misma piedra utilizada en la cimentación y tenía una altura de 30 a 40 cm aproximadamente.

2.4 ESTRUCTURA VERTICAL

La estructura vertical hace referencia a los elementos como muros de carga y sistemas de pórticos de pilares y vigas

Para ello empezaremos por describir los muros de carga.

2.4.1 MUROS DE CARGA

2.4.1.1 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA Y DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES.

Los muros de carga son realizados en adobe con un espesor que va desde los 60cm hasta 1.00m dependiendo de la altura de la edificación, cada adobe tiene una medida aproximada de 40x20x20cm, en algunos casos se ha podido observar adobes con alturas variables entre 15 a 20cm. El peso aproximado por cada bloque de adobe es

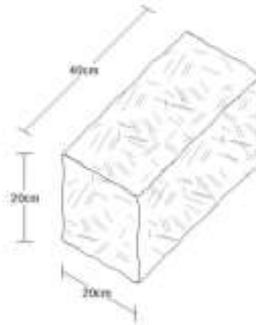


Imagen 6.- Detalle de adobe tipo.
Fuente: Propia

La composición de la tierra del adobe utilizado en las construcciones en la ciudad de Cuenca difiere de su origen ya que hay zonas en las que el contenido de arcilla, limo y arena son variables, por tal razón su resistencia a la compresión también variará. Para poder determinar un dato promedio se adjunta los resultados del estudio realizado en la tesis de grado *“Adobe en la construcción. Propuesta de mejoramiento”* realizado por los estudiantes de la Universidad de Cuenca, y un análisis correspondiente a una obra de reconstrucción a cargo de la Municipalidad de Cuenca.

Las muestras del primer ensayo obtenidas por los autores para dicho análisis corresponden a parroquias cercanas a la ciudad (Ricaurte - El Valle) y que se caracterizan por la elaboración del adobe tradicional. En el caso del segundo análisis no hay registros acerca de su posible origen.

Los resultados son los siguientes:

PRUEBAS DE RESISTENCIA DE ADOBES TRADICIONALES									
ENSAYO A COMPRESIÓN									
DOSIFICACIÓN	SUELO	M1	M2	M3	M4	M5	CARGA PROMEDIO Kg	RESISTENCIA kg/cm ²	
Tierra+ Agua + Paja	S Ricaurte	2519	3161	3570	2790	2991	3006	3,76	
	S Valle	3191	2312	2164	2432	2130	2445,8	3,06	
Tierra+ Agua + Paja (Barro dormido)	S Ricaurte	2110	4218	3041	1907	3783	3011,8	3,76	
	S Valle	1561	2746	3383	2161	3170	2524,2	3,16	

ENSAYO A FLEXIÓN									
DOSIFICACIÓN	SUELO	M1	M2	M3	M4	M5	CARGA PROMEDIO Kg	RESISTENCIA kg/cm ²	
Tierra+ Agua + Paja	S Ricaurte	345	341	371	243	227	305	1,09	
	S Valle	257	294	321	278	287	285	1,02	
Tierra+ Agua + Paja (Barro dormido)	S Ricaurte	350	212	148	209	420	268	0,95	
	S Valle	201	122	218	450	304	293	1,04	

Tabla 3.- Pruebas de resistencia en adobes tradicionales.

Fuente: SIAVICHAY, D., NARVAEZ, J. (2010). *Adobe en la Construcción. Propuesta de mejoramiento*. Tesis. Cuenca: Universidad de Cuenca.

OBRA:	Reconstrucción de la casa Jesús Arriaga	
CONTRATISTA	Administración directa GAD MUNICIPAL DE CUENCA	
TIPO DE ENSAYO:	Compresión (adobes)	
FECHA:	21 de marzo del 2016	

DATOS DEL ENSAYO									
ADOBES	PESO	(a) largo	(b) ancho	(c) altura	AREA	VOLUMEN N.	P. VOLUMEN	CARGA ROTURA	RESITENCIA COMP.
	gr.	cm	cm	cm	cm ²	cm ³	Kg/cm ³	Kgf	Kg/cm ²
1	21681	41	17	20	697	13940	1.555	3267	4.69
2	24143	41	18	21	738	15498	1.558	3570	4.84
3	22892	41	17	22	697	15334	1.493	3141	4.51
								PROMEDIO=	4.68

Tabla 4.- Pruebas de resistencia en adobes - Casa Jesús Arriaga.

Fuente: Gobierno Autónomo Descentralizado de la Ciudad de Cuenca.

Como se puede observar la resistencia promedio del adobe a la compresión en el primer ensayo es de 3.44 kg/cm² y para el segundo es de 4.68 kg/cm², si analizamos los dos valores promedios podemos observar que existe una variación de 1.24 kg/cm² entre los dos adobes, es por tal motivo que para obtener un dato promedio más real se necesitaría más ensayos y para efectos de desarrollo del TFM se ha considerado la situación más crítica, es decir se optará por el valor de 3.44 kg/cm², y un peso promedio de 22 kg por adobe.

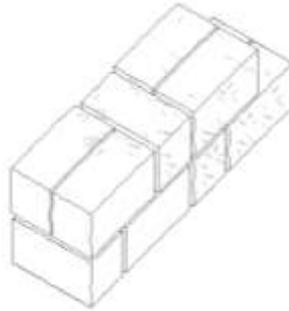
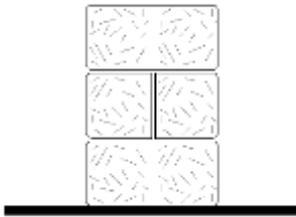
Apenas con estos dos valores se puede determinar la poca capacidad resistente que tiene el adobe cuando está sometido a esfuerzos de compresión, cabe indicar que a esfuerzos de flexión su capacidad resistente es aún menor.

Al tratarse de un elemento con poca capacidad resistente, el sistema constructivo obliga a la conformación de muros de mayor sección (muros de carga), esto con la finalidad de que las cargas que gravitan sobre el muro puedan ser distribuidas de manera eficiente hacia la cimentación.

2.4.1.2 DETERMINACIÓN DE CARGAS

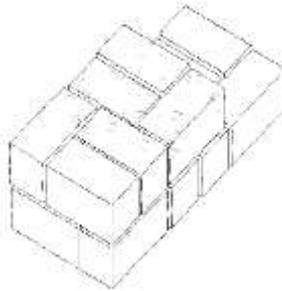
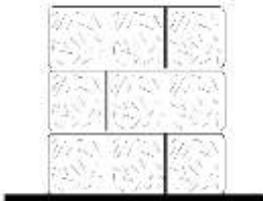
Para la determinación de cargas hay que considerar algunos factores como los diferentes aparejos usados en el adobe, estos aparejos normalmente están en función de la sección del muro que se pretende alcanzar, los cálculos han sido realizados considerando un largo y un ancho de 1m respectivamente por la sección indicada a continuación:

- **Sección 40cm**



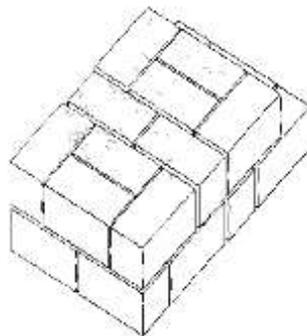
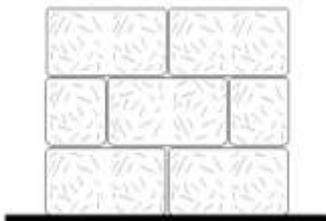
Sección	Peso	Unidades por sección	Carga
cm	Kg		Kg/m
40	22	25	550

- **Sección 60cm**



Sección	Peso	Unidades por sección	Carga
cm	Kg		Kg/m
60	22	37.5	825

- **Sección 80cm**



Sección	Peso	Unidades por sección	Carga
cm	Kg		Kg/m
80	22	50	1100

Imagen 7.- Aparejos de adobe.
Fuente: Propia.

2.4.2 PÓRTICOS, PILARES Y VIGAS.



Imagen 8.- Detalle constructivo de columna. / **Imagen 9.-** Seminario San Luis.
Fuente: Propia / criticayopinioncultural.blogspot.com

2.4.2.1 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA Y DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES.

El sistema de pórticos está combinado con una estructura secundaria que sirve de soporte para sistemas mixtos de división como: adobe y bahareque, bahareque y ladrillo, bahareque y madera, o solo bahareque, en nuestro medio, se halla aplicado generalmente en viviendas, existiendo gran cantidad de casas construidas con este sistema.

Generalmente el sistema constructivo tradicional está planteado de tal manera que en la planta baja se constituye con muros de adobe, estos trabajan como muros de carga, y en las plantas altas y con la finalidad de reducir el peso se conforma las divisiones interiores con bahareque. Por lo general las paredes perimetrales suelen ser de adobe.

Para el siguiente análisis descriptivo se tomará en cuenta el sistema realizado en bahareque. El bahareque está conformado por dos componentes principales, la madera y la tierra. La madera empleada se estructura en un sistema de pilares, vigas y soleras que constituyen el modelo estructural que distribuye las cargas, tanto de la cubierta como de las paredes hacia la cimentación o hacia los muros de carga. En esta estructura principal de madera se incorpora una estructura auxiliar que es la que rigidiza y estabiliza como una sola unidad.

En relación al bahareque como elemento constructivo se debe considerar su forma de construcción en dos casos:

- 1.- Cuando ha sido aplicado a plantas bajas
- 2.- Aplicación a plantas altas.

Para plantas bajas la construcción obedece a la siguiente forma: sobre el sobrecimiento se coloca directamente una riostra la que va sujeta al sobrecimiento por medio de hierros que amarran a la solera. Sobre la solera van amarrados los elementos verticales o llamados también *pies derechos* por medio de caja y espiga, su separación por lo general está comprendida entre 1.5 a 3.00 metros y en la parte superior va una nueva solera que forma un marco total con estos elementos, la forma de unión es también por medio de caja y espiga

Los elementos colocados en las esquinas y ángulos en general se denominan elementos de esquina o cornijales y con el fin de absorber los desplazamientos laterales van colocados elementos inclinados, llamados trinquetes o contrafuertes.

Para el caso de plantas altas, y cuando la construcción de la planta baja ha sido realizada en adobe para proceder a la construcción de bahareque se coloca primero sobre el adobe una cadena de piedra de unos 10cm de espesor que permite una mayor solidez, y sobre esta van las soleras a todo el perímetro y partes interiores, las mismas que servirán para el armado de la estructura de madera.

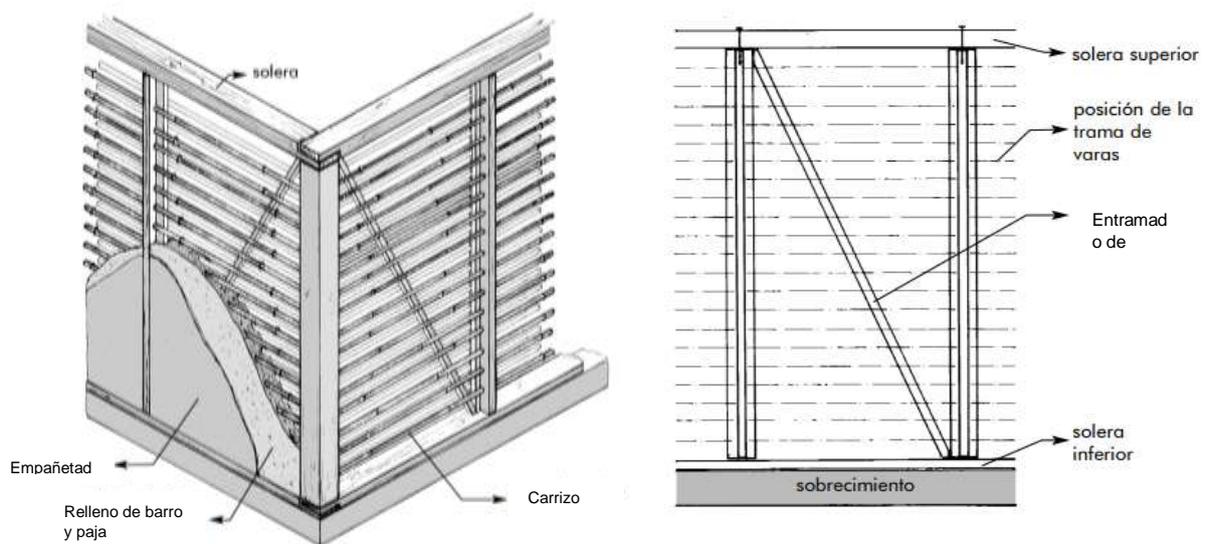


Imagen 10.- Detalle de armado de bahareque.

Fuente: CARAZAS AEDO, W., RIVERO OLMOS, A, (2008), Bahareque. Guía de la construcción parasísmica. CRATerre.

Siguiendo con el proceso constructivo para la colocación del carrizo (enchacleado) que se amarran con cabuya, por lo general se toman de dos en dos y dejando una separación entre cada dos carrizos de 3 a 7cm. Los carrizos por lo general son

colocados en de forma horizontal, sujetos a los pies derechos y contrafuertes, también se acostumbra a colocar dos o tres carrizos entre los pies derechos que permiten una mayor rigidez. Conforme avanza la colocación del carrizo se realiza el relleno de la cavidad existente entre las dos caras del muro, sea por medio de piedras, adobes en pedazos o únicamente por medio de mortero de barro y paja mezclado con teja rota.



Imagen 11.- Detalle de armado de bahareque.

Fuente: La arquitectura tradicional de Azuay y Cañar. Técnicas, creencias, prácticas y saberes. INPC – Regional 6. 2011

El relleno cuando se trata únicamente de barro puede ser realizado al terminar la colocación del carrizo, luego de esto se procede al revoque con mortero de barro y paja, realizando su alisado.

Luego de unos días cuando se podía constatar que la presencia de humedad por secado ha desaparecido, se procede a su terminación por medio de una pasta de estiércol de caballo y tierra amarilla antiguamente esta última capa de barro (empañetado), ya cuando estaba seco se procedía a colocar una lechada preparada con cal a manera de pintura, de esta manera se obtenía cierta impermeabilización.

El espesor de los muros es variable pudiendo encontrar secciones desde los 15 a 40cm. Las alturas logradas son variables teniendo desde 2m hasta 4m.

2.4.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES.

Los materiales constituyentes tal como se indicó en el punto anterior está principalmente conformado por madera y tierra, todos estos sistemas constructivos son realizados de manera artesanal y empírico. Las principales características de cada uno de ellos son las siguientes:

Tierra

Las características y composición deben ser similares a las utilizadas en la fabricación del adobe, es decir que su contenido de arcilla no supere el 25%, en caso de que el contenido de arcilla sea mayor de lo recomendado se añade arena fina de río.

Para la preparación del barro se selecciona la tierra tamizada y se agrega el agua hasta obtener una plasticidad adecuada, durante el proceso de mezclado se va añadiendo fibras naturales como la paja de cerro con una longitud aproximada de 10cm; esta mezcla se deja reposar por un mes hasta que se pudra y mejore sus capacidades adherentes.



Imagen 12.- Preparación del barro (batido).

Fuente: SIAVICHAY, D., NARVAEZ, J. (2010). *Adobe en la Construcción. Propuesta de mejoramiento*. Tesis. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Carrizo



Imagen 13.- Ejemplos de la utilización del carrizo.

Fuente: <https://casafloredecactus.wordpress.com/2012/11/04/baharequeando-por-ahi/>.

El carrizo es una especie vegetal, parecida a la caña común, con una longitud que varía entre 1.50 y 4.00m, y un diámetro máximo de 2cm. Es una planta perenne, perteneciente a la familia de las gramíneas, se encuentra ampliamente distribuido en lugares con alta presencia de humedad y en zonas de regiones templadas y tropicales.

Es un material de bajo coste, ligero, resistente a la pudrición y de fácil trabajabilidad, es resistente a las heladas, es buen aislante térmico debido a su estructura hueca, presenta buena resistencia a la flexión y a la tracción. El carrizo es un material que permite la combinación con otros materiales como la arcilla, barro, yeso y materiales compuestos

como terrocementos, su nivel de inflamabilidad es normal y su uso es variado desde la aplicación en paneles para bahareque, soporte para falsos techos y soportes de cubiertas de teja tradicional.

Paja



Imagen 14-15.- Pajonal de páramo – Parque Nacional El Cajas/Cuenca. / Secado de la paja
Fuente: Propia / Google

Es una fibra vegetal de estructura delgada y alargada compuesta por lignina, que la impermeabiliza y proporciona dureza, también está constituida por celulosa, que le da resistencia y flexibilidad. En la construcción tradicional, una de las funciones, es la de actuar como almacén del relleno en las paredes, formando capas dispuestas de manera irregular aportando así a la absorción de esfuerzos de contracción del barro durante el proceso de secado.

Para la utilización en el bahareque se solía utilizar la paja de cerro o páramo que generalmente crece en la sierra sobre los 3800m.s.n.m, la particularidad de esta paja es que sus fibras son muy delgadas lo que aporta en la baja absorción y estanqueidad de agua en su interior, actualmente la extracción de esta paja está prohibido por regulación y control ambiental en zonas de páramo protegido, y en su defecto se utiliza una con fibras más gruesas que son obtenidas de zonas de cultivo, esta paja al tener fibras más gruesas suele realizarse un proceso de trituración artesanal.

El proceso previo a la utilización de la paja consiste en la extracción o corte, luego esta es tendida en zonas ventiladas y cubiertas durante unos 30 días aproximadamente para su secado, obteniendo un color amarillento.

Cabuya



Imagen 16-17.- Planta de Agave o Penco / Secado de la fibra “cabuya”

Fuente: <https://mishkyhuarmi.wordpress.com/preguntas-frecuentes/>

La cabuya es una fibra natural proveniente de las hojas del agave o también conocido como penco, para el proceso de extracción de las hojas se lo realiza a partir del 3 a 4 años de vida de la planta.

El proceso de desfibrado artesanal se lo realiza haciendo unos atados con 5 a 10 hojas amarradas fuertemente, estas son introducidos en unos tanques con agua durante un mes. El largo tiempo que permanecen en el agua es con el fin de que la goma y la pulpa se descompongan y a su vez se desprendan fácilmente con sucesivos golpes.

Luego de obtener la fibra en masa se procede al proceso conocido como tallado que consiste en el raspado de con una cuchilla de hueso o de metal y así separar las fibras que posteriormente serán expuestas al sol para su secado. Actualmente existe ya procesos mecánicos que facilitan la obtención de la cabuya.

La obtención de esta fibra se utilizaba para el amarre de los carrizos en la estructura del bahareque, en algunos procesos de restauración aún se conserva este sistema. Además del uso para la construcción también se utiliza en tejidos de soguillas, alfombras y otros elementos artesanales.

Madera

El comportamiento de la madera estructural se caracteriza por tener diferentes reacciones a esfuerzos admisibles, y al igual que en otros materiales estructurales, esta posee una fase elástica y una plástica. La relación existente entre la densidad básica y la resistencia a dichos esfuerzos, la Junta de Cartagena luego de varios estudios e investigaciones con diferentes especies madereras ha clasificado la madera según su densidad en tres grupos estructurales “A”, “B”, “C”, los cuales responden a alta, media y baja densidad respectivamente, la clasificación de maderas estructurales en Ecuador es la siguiente:

CLASIFICACION DE ESPECIES MADERERAS ESTRUCTURALES PARA EL ECUADOR			
GRUPO	DENSIDAD	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
	g/cm ³		
A	0.71 a 0.90	-Caimitillo (Colorado)	-Chrysophy cainito
		- Guayacán Pechiche	-Minguartia guianensis
		-Bálsamo Negro	-Myroxylon balsamum
		-Teca	-Tectona grandis
B	0.56 a 0.70	-Chanul	-Humiriastrum procerum
		-Moral fino	-Cholorophora tinctoria
		-Pituca	-Clarisia racemosa
		-Eucalipto	-Eucaliptus globulus
C	0.40 a 0.55	-Fernansanchez	-Triplaris guayaquilensis
		-Mascarey	-Hieronyma
		-Sande	Brosimun utile

Tabla 5.- Clasificación de Especies Madereras Estructurales para el Ecuador.

Fuente: JUNAC (PADT-REFORT). Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. (1982) Lima - Perú

Para empezar con el proceso descriptivo de este material es necesario indicar que el análisis se basará únicamente en la especie del Eucalipto Glóbulos (*Eucalytus Globulus*), esta es una de las maderas más utilizadas en el sector de construcción en edificaciones patrimoniales y también en contemporáneas, siendo muy común encontrar esta especie en todo tipo de elemento estructural y de acabado como es el caso de dinteles, escaleras, puertas, ventanas, etc. Es así que el eucalipto ha superado en demanda a otras especies con gran aporte estructural como el caso del pino y teca, guayacán.

A pesar de su gran demanda en la construcción es importante saber que el eucalipto fue una especie introducida al país a mediados del siglo XIX, durante la presidencia de Gabriel García Moreno.

*“...La escases de recursos madereros y otros factores hicieron que desde Australia y por medio de científicos europeos arribaran al país dos cajas llenas de semillas de eucalipto, el cual tuvo adaptación extraordinaria al medio y fue en mayo de 1865 cuando empezó la siembre de este espécimen en territorios de la serranía ecuatoriana. Entre los lugares elegidos para la plantación estuvo Cuenca, por ello hoy podemos encontrar al eucalipto en las riberas de los ríos y en la mayoría de zonas rurales de la ciudad...”*²

Condiciones de plantación:

- **Altitud:** 1600 a máximo 2900 msnm

² CUVL, P. (2005). Dos cajas con semillas de eucalipto. Revista Terra incógnita Nro. 37. Quito

- **Clima:** Temperatura media de 15°C, lluvia anual: 700 - 1800 mm. Es exigente en luz y susceptible a las heladas.
- **Suelos:** Preferentemente en suelos profundos, bien drenados, requiere suelos franco-arcillosos, franco-arenosos o arenosos y soporta suelos ligeramente ácidos con tendencia a la neutralidad.
- **Topografía:** Plana a ligeramente ondulada
- **Limitantes:** Puede ser afectado por ataques de insectos y hongos. En vivero es atacado por la goma. Sufre ataques de defoliación del escarabajo. Los factores ambientales limitantes son suelos pobres en drenaje, salinos y pizarrosos que afectan su crecimiento. Las sustancias químicas de sus hojas ricas en aceite favorece la propagación del fuego en caso de incendios y algunas veces por efectos alelopáticos impiden la germinación de semillas de otras especies.

Para la determinación de las propiedades físico-mecánicas del eucalipto se adjunta los resultados obtenidos de los estudios realizados en la tesis de grado “*Propiedades físico-mecánicas del Eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA I.*” siendo los autores Jorge Esteban Martínez Escobar y Juan Carlos Siza Simbaña, estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército - Quito.

Todos los ensayos son realizados bajo especificaciones de la norma COPANT para maderas y se realizó con muestras que ya alcanzaron un equilibrio higroscópico después de un proceso de secado al aire libre.

Contenido de Humedad

CONTENIDO DE HUMEDAD								
MUESTRA	EUCALIPTO GLOBULO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
PESO HUMEDO (gr)	65.66	36.91	46.37	47.39	45.1	51.51	119.53	118.01
PESO SECO (gr)	58.81	33.03	41.24	42.63	40.35	46.25	104.97	104.37
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.65%	11.75%	12.44%	11.17%	11.77%	11.37%	13.87%	13.07%
CH PROMEDIO (%)	12.136%							

Densidad

MASA POR VOLUMEN										
MUESTRA	EUCALIPTO GLOBULO									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
CAJA PETRI (gr)	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00	156.00
CAJA PETRI + MERCURIO (gr)	804.50	802.50	806.30	804.70	806.00	806.80	805.20	804.30	803.30	805.10
PLATO (gr)	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80	289.80
PLATO + Hg derramado (gr)	408.40	404.10	407.30	403.20	407.70	408.30	417.70	408.80	409.00	405.70
MASA Hg DERRAMADO (gr)	118.60	114.30	117.50	113.40	117.90	118.50	127.90	119.00	119.20	115.90
DENSIDAD DEL MERCURIO (gr/cm ³)	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50	13.50
VOLUMEN (cm ³)	8.79	8.47	8.70	8.40	8.73	8.78	9.47	8.81	8.83	8.59
MASA DE MUESTRAS	7.40	7.40	7.60	7.60	7.40	6.60	6.50	6.70	6.90	6.70
DENSIDAD DEL EUCALIPTO (Kg/m ³)	842.33	874.02	873.19	904.76	847.33	751.90	686.08	760.08	781.46	780.41
DENSIDAD PROMEDIO (Kg/m ³)	810.16									

Peso específico

MUESTRA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DENSIDAD PROM. (Kg/m ³)	810.16								
PESO ESPECIFICO (Kg/m ³)	8254.81	8565.35	8557.28	8866.67	8303.82	7368.61	6723.61	7448.82	7658.31
PESO ESPECIFICO PROM. (Kg/m ³)	7971.92								

Para la determinación de las características mecánicas los valores obtenidos se deben afectar por coeficientes de seguridad que reducen la capacidad del material.

Según el "Manual de Diseño del Grupo Andino", se debe afectar a los esfuerzos últimos por diferentes coeficientes, dependiendo de la naturaleza de cada ensayo. Entre estos tenemos: coeficiente de reducción por calidad de la madera (F.C), factor de reducción por tamaño (F.T), factor de servicio y seguridad (F.S), y factor de duración de carga (F.D.C).

FACTORES DE REDUCCIÓN				
FACTOR	FLEXIÓN	COMPRESION PARALELA	CORTE PARALELO	COMPRESIÓN PERPENDICULAR
F.C	0.80	-	-	-
F.T	0.90	-	-	-
F.S	2.00	1.60	4.0	1.60
F.D.C	1.15	1.25	-	-

Tabla 6.- Factores de reducción.

Fuente: JUNAC (PADT-REFORT). Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. (1982) Lima - Perú

En la siguiente tabla se indica los valores característicos del eucalipto ya aplicados los factores de reducción y las propiedades físicas:

ESFUERZOS ADMISIBLES DEL EUCALIPTO		
PROPIEDADES RESISTENTES	Kg/cm ²	N/mm ²
Flexión	287.14	28.15
Compresión paralela	198.7	19.48
Compresión perpendicular	70.83	6.94
Tracción paralela	738.05	72.36
Tracción perpendicular	18.55	1.82
Corte	22.49	2.21
Torsión	20.26	1.99
PROPIEDADES DE RIGIDEZ		
	Kg/cm ²	kN/mm ²
Mód. de elasticidad mínimo	126355.53	12.39
Mód. de elasticidad promedio	177489.60	17.40
PROPIEDADES FÍSICAS		
	Kg/m ³	kN/m ³
Densidad	810.16	7.94
Peso específico	797.192	7.82

Tabla 7.- Esfuerzos Admisibles del Eucalipto.

Fuente: Propiedades físico-mecánicas del Eucalipto y aplicación al diseño estructural de una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA I.

2.4.2.3 ESTIMACIÓN DE CARGAS Y SOBRECARGAS.

Para la estimación de cargas se considerará una sección típica de un muro de bahareque tal como se indica en el detalle de la *Imagen4*. Detalle de armado de bahareque. En la determinación de cargas se está considerado el pórtico de madera por separado.

DETERMINACIÓN DE CARGAS EN BAHAREQUE			
ELEMENTO	VOLUMEN POR METRO LINEAL	PESO ESPECIFICO	TOTAL CARGA
		KN/m3	KN
Barro + revoque e=30cm	0.30	18.00	5.40
Madera eucalipto 12x10cm	0.0168	7.82	0.13
Carrizo	0.02	1.20	0.02
Paja y cabuya	0.064	0.35	0.02
		TOTAL	5.58
DETERMINACIÓN DE CARGAS EN PORTICO			
ELEMENTO	VOLUMEN POR METRO LINEAL	PESO ESPECIFICO	TOTAL CARGA
		KN/m3	KN
Viga de eucalipto 14x16cm	0.0224	7.82	0.18
Pilar de eucalipto 14x16cm	0.0224	7.82	0.18
		TOTAL	0.35

Tabla 8.- Cargas actuantes en bahareque. Y PORTICO
Fuente: Propia.

2.4.2.4 PUNTOS CONFLICTIVOS DE SISTEMA

En este apartado se analizarán los puntos más conflictivos que se presentan en la estructura vertical, este análisis será de manera muy general con la finalidad que en el capítulo referente a análisis patológico se haga un estudio más detallado.

Al tratarse de elementos que se fabricaron de manera artesanal, no contaban con las garantías necesarias para justificar un correcto funcionamiento, es por tal razón que los puntos conflictivos en el sistema estarían relacionados directamente con la calidad de los materiales y el deterioro que se generaría en los diferentes elementos por factores patológicos, ya sea de origen biótico o abiótico, considerando también el tiempo que llevan en servicio, es decir su vida útil.

Para identificar de mejor manera se considerará nuevamente en tres partes:

- Muros de carga (adobe)
- Estructura de madera

- Bahareque

Muros de carga

El análisis sobre el punto conflictivo de los muros de carga obedece directamente al mal dimensionamiento en función de las cargas y de la altura, en algunos casos la falta de sobrecimiento o una solera a nivel de piso genera que este muro pueda verse afectado por situaciones de humedad lo que incurriría en la pérdida de su sección por disgregación del adobe, afectando aún más su capacidad portante.

Entre otro de los factores que generalmente suele afectar a los muros de carga de adobe es la falta de contrafuertes, esto generalmente ocurre en elementos con longitudes mayores a los 3m, considerando que su sección no es la correcta. Debido a la falta de elementos de traba (contrafuertes o muros) el muro suele verse afectado por pandeo lateral.

Estructura de madera

Los principales puntos conflictivos que se suscitan en la madera ocurren generalmente en la unión viga - columna, estos encuentros siempre han constituido un punto débil para la durabilidad de la estructura, debido a la posibilidad de fracaso en el nudo, ocasionado por movimientos horizontales.

Con el mismo criterio, el arranque de la estructura desde el terreno se ve afectado por humedad por capilaridad, degenerando por pudrición las bases de las columnas, para ello se recomienda una separación mínima de 20cm entre la base de la columna y el terreno, pudiendo aplicarse diferentes posibilidades constructivas.

Bahareque

En este sistema los puntos conflictivos suelen ser poco representativos, el hecho de utilizar el barro como material de recubrimiento protege en cierto grado a la estructura principal de madera que podría verse afectada por elementos de origen biótico, cabe recalcar que en la estructura secundaria del bahareque (carrizo) la presencia de carcoma es casi nula, y en los casos donde se ha podido registrar, el daño causado es poco influyente en la resistencia del conjunto.

Las causas más probables que puedan generar daños al bahareque están relacionadas directamente con la estabilidad de los elementos estructurales principales (pórticos) o la presencia de humedad, esta afectaría de manera similar a lo que sucede con el adobe.

2.5 ESTRUCTURA HORIZONTAL

La estructura horizontal hace referencia a los forjados, para determinar las características del sistema estructural horizontal se propondrá dos de las formas más comunes en la construcción tradicional:

- Forjados de entrepiso
- Forjados de terraza

2.5.1 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA Y DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES.

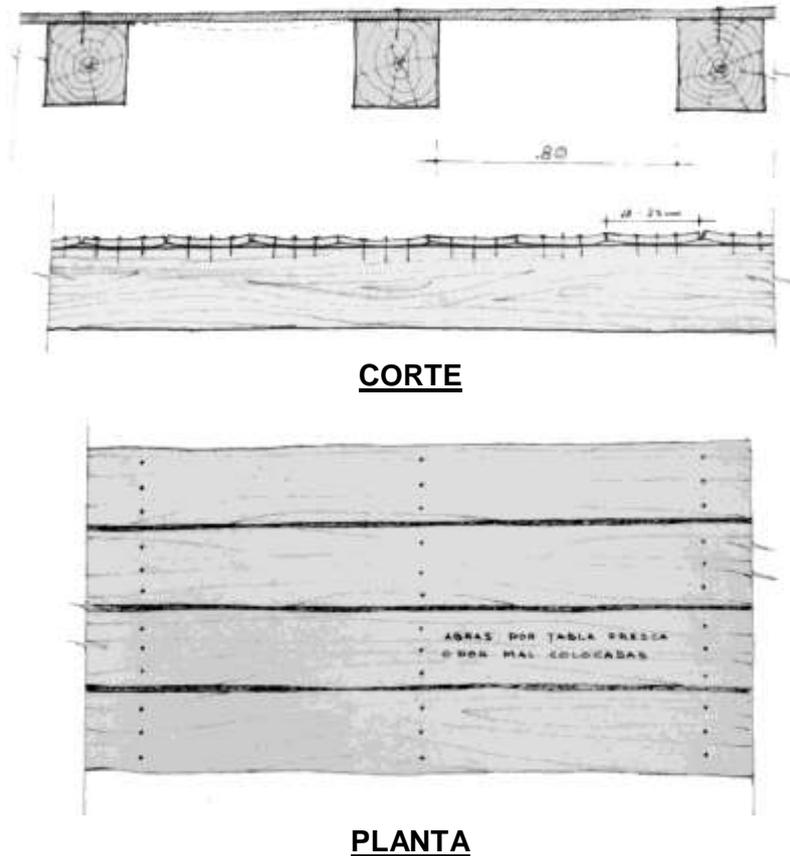


Imagen 18.- Detalle constructivo entrepiso sobre viga
Fuente: MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio.* Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.

2.5.1.1 FORJADOS DE ENTREPISO

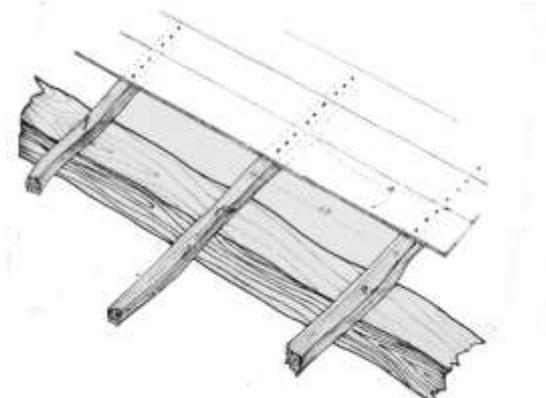


Imagen 19.- Detalle constructivo entrepiso de madera sobre viga y atirantado.

Fuente: MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio*. Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.

El forjado de entrepiso está conformado completamente por elementos de madera, las tablas usadas tienen un ancho entre 18 y 22cm, colocadas directamente sobre las vigas, estas tablas no tienen un adecuado terminado, solían ser cepilladas solo de un lado y en los costados solo en zonas visibles, pero, posteriormente debido a las contracciones de las tablas se formaban ranuras y fendas al tratarse de madera fresca.

La manera de fijación de las tablas antes de la utilización de clavos o pernos se utilizaba cuñas de madera, que se colocaban previa perforación de la tabla y de la viga.

Este tipo de entrepiso con el tiempo se le implantó un atirantado transversal al eje de las vigas con tiras de madera de 4x5cm, dispuestas a cada 60cm. Las vigas que van apoyadas sobre las soleras, son de secciones variables dependiendo la luz a cubrir, generalmente suelen ser de 12x14cm o 14x16cm, 16x18cm y en algunos casos se han podido encontrar secciones que superan los 20x25cm, muchas de ellas dispuestas en luces entre 4 y 5m.

Las características de la madera son las mismas que las expuestas en el apartado de estructura vertical.

2.5.1.2 FORJADOS DE TERRAZA

El sistema constructivo del forjado de terraza es muy similar al de entrepiso, con la diferencia que su acabado es pensado para exteriores, por lo que el uso de la duela de madera es sustituido por ladrillo.

La colocación del ladrillo se lo realiza en dos a tres capas, entre cada capa se coloca una base de barro o mortero de cal para el pegado de los ladrillos, generalmente el

terminado se lo realiza con el relleno de las juntas con mortero de cal lo que garantiza una cierta impermeabilidad.

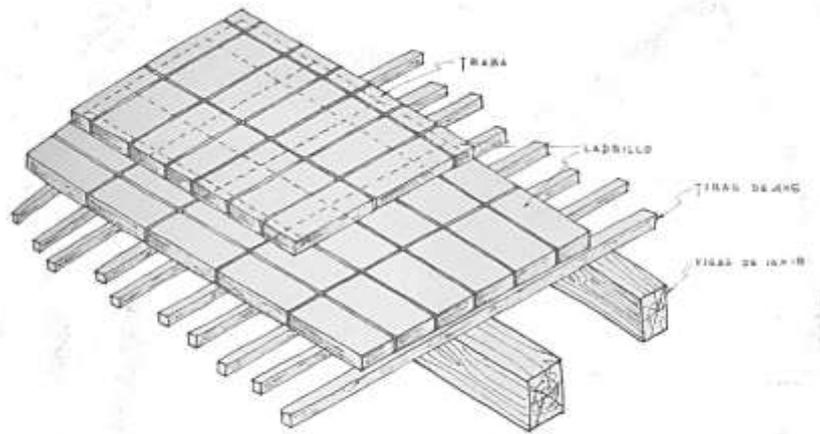


Imagen 20.- Detalle constructivo terraza de ladrillo.

Fuente: MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio.* Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.

2.5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES CONSTITUYENTES.

Los materiales que componen los dos tipos de forjados indicados anteriormente son la madera de eucalipto, mortero de cal y el ladrillo. Los mismos que serán desarrollados a continuación.

Madera

Esta es utilizada para los pórticos y para los elementos horizontales constituyentes de cada tipo de forjado, tal como se indica en los detalles constructivos anteriormente expuestos. Las características resistentes de la madera fueron indicadas en el apartado de estructura vertical, ahora se indicará las longitudes y secciones promedio de los diferentes elementos constituyentes.

ELEMENTO	SECCIÓN	COMENTARIO
	cm	
Viga	14x16 16x18 18x22	Rollizo que sirve de soporte principal para la colocación de la duela, va apoyada en las soleras. Se colocan cada 60 a 80 cm entre si. Por la parte inferior sirve también para la sujeción de cieloraso
Tira	4x5	Elemento transversal a las vigas, se colocan cada 40 a 60 cm entre si. Sobre estas se colocarán las duelas.
Duela	10 a 18. / e=1.5 a 2	Última capa del sistema de entresijos.

Tabla 9.- Características de los elementos que forman el entresijo.

Fuente: Propia.

Mortero de cal - arena

Los morteros son mezclas plásticas obtenidas con un aglomerante, arena y agua y que sirve para fijar dos o más elementos entre sí.

En el caso de los morteros tradicionales, la cal es el compuesto que actúa como aglomerante y la combinación con arena de diferentes diámetros especificará su uso.

Es decir, la combinación con arenas de diámetro comprendido entre 2 a 5mm (arenas gruesas) dará como resultado un mortero que se utilizará en cimentación u hormigones ciclópeos. Cuando la cal se combina con arena inferior a los 2mm hasta 0.1 (arenas finas) este mortero será utilizado para acabados o enlucidos de canales de agua, también usado para las juntas entre los ladrillos de terraza y combinado con otros materiales como el yeso se utiliza en la elaboración de molduras.

En la actualidad, los morteros de cal al tener una baja resistencia a la compresión comparativamente con los morteros de cemento, estos han quedado relegados para otros tipos de usos específicamente para los procesos de intervención debido a su gran compatibilidad con morteros antiguos, parte de las ventajas en comparación con los morteros de cemento en los procesos de intervención, es que presenta una menor retracción, menor fisuración y menor rigidez mecánica, haciéndolo más adaptable a las condiciones de servicio.

Existen dos tipos de cales:

TIPO	DESCRIPCIÓN
Cales aéreas	Cálcicas: Calcinación de rocas calizas puras >95% de riqueza en calcio
	Dolomíticas: Calcinación de piedras dolomíticas que contienen magnesio.
Cales hidráulicas	La piedra calcinada contiene arcillas ricas en sílice, aluminio y hierro, estas endurecen con el agua. Su apariencia es mas oscura y contiene mas impurezas.

Tabla 10.- Tipos de cales.

Fuente: LOPEZ, E., *Guía para los morteros con cal*. AIDICO – Instituto tecnológico de la construcción. PDF

Para los trabajos que consistan en sellado o curado de fisuras se recomienda utilizar siempre cal hidratada completamente apagada, esto para evitar fisuras y otra serie de defectos en la superficie por aumento de volumen debido a su hidratación.

Ladrillo

Para la descripción de las características del ladrillo los datos fueron obtenidos de la tesis profesional: *Análisis Y Determinación De Los Costos De La Explotación, Procesamiento, Acabado Y Comercialización De Ladrillo Y Teja De Los Diferentes Talleres De La Parroquia Rural De Sinincay, Cantón Cuenca* realizada por Sanmartín F., Tuba, M. (2014),

El proceso de elaboración de ladrillo empieza con la extracción de arcilla propia del lugar, pocas son las fábricas que poseen minas de donde extraen este tipo de materia prima. A parte de la propia arcilla extraída los fabricantes saben comprar otros tipos como la arcilla roja, arcilla negra, arcilla gris, además de tierra fina y tierra arenosa.

Una vez obtenidos los diferentes tipos de arcilla y seleccionadas de acuerdo al tipo de ladrillo que se va a elaborar viene el proceso de mezclado, para realizar una mezcla de calidad se realizan los siguientes pasos:

- Seleccionar el porcentaje exacto de cada tipo de arcilla que se va a utilizar en el proceso.
- Preparar el noque (Hoyo redondo o cuadrado en la tierra) en el cual se realiza la mezcla de arcillas, el mismo que debe estar limpio sin piedras, hojas o ramas.
- Luego, mediante el uso de una pala se realiza la mezcla de los tipos de arcillas.
- Finalmente se coloca agua para humedecer la mezcla por el lapso de 12 horas en épocas de invierno y 24 horas en épocas de verano.

Después del tiempo estimado para humedecer la mezcla se procede a realizar el batido el mismo que se efectúa con la ayuda de un par de semovientes sean estos caballos o bueyes y consiste en dar la vuelta dentro del noque durante 8 horas consecutivas para lograr crear una masa consistente.

Luego de obtener una masa adecuada esta es colocada en moldes específicos según el tipo de ladrillo a requerirse. Para la obtención del ladrillo tejero o de obra se utiliza moldes 15x29x3cm. El lote moldeado debe ser luego puesto a secar de 10 a 15 días hasta que sea consistente al tacto.

Cuando el ladrillo ha perdido la humedad adquiere una coloración clara lo que indica que está listo para ser cocido, el tiempo de secado depende del clima y por lo general se demora un tiempo de 8 días en épocas de verano y en épocas de invierno de 15 a 20 días.

La quema se realiza en un periodo de 24 a 30 horas seguidas dependiendo de la cantidad de producto que se vaya a quemar y al finalizar se sella la entrada de leña con barro. Antes de sacarlos del horno se deja reposar hasta 3 días para que el proceso de enfriamiento sea parejo. Las dimensiones finales del ladrillo son de 14x28x2.5cm

2.5.3 ESTIMACIÓN DE CARGAS Y SOBRECARGAS.

Para la estimación de cargas se considerará los dos tipos de forjados antes expuestos. El forjado normal de entrepiso de madera (sin atirantado, con atirantado) y el forjado de terraza en el cual se considera una capa de 2cm de espesor para la unión de las dos capas de ladrillo tejuelo.

FORJADOS DE ENTREPISO				
TIPO	ELEMENTO	VOLUMEN POR M2	PESO ESPECIFICO	TOTAL CARGA
			KN/m3	KN/m2
Sin atirantado	Viga 14x16cm	0.045	7.82	0.35
	Duela e=1.5cm	0.015		0.12
			TOTAL	0.47
Con atirantado	Viga 14x16	0.045	7.82	0.35
	Tira 4x5 cm	0.006		0.05
	Duela e=1.5cm	0.015		0.12
			TOTAL	0.51
FORJADO DE TERRAZA				
TIPO	ELEMENTO	VOLUMEN POR METRO	PESO ESPECIFICO	TOTAL CARGA
			KN/m3	KN
Forjado de ladrillo tejuelo dos capas con mortero de cal arena	Viga 14x16cm	0.045	7.82	0.35
	Tira 4x5 cm	0.006		0.05
	Ladrillo tejuelo	0.049	17.65	0.86
	Mortero de cal	0.05	16	0.8
			TOTAL	1.26

Tabla 11.- Cargas en forjados
Fuente: Propia

2.5.4 PUNTOS CONFLICTIVOS DE SISTEMA

En este apartado se analizarán los puntos más conflictivos que se presentan en la estructura horizontal, este análisis será de manera muy general con la finalidad que en el capítulo referente a análisis patológico se haga un estudio más detallado.

Al tratarse de forjados en los cuales el elemento con mayor porcentaje de utilización es la madera, presenta situaciones conflictivas similares a lo que ocurre en la estructura vertical

Para identificar de mejor manera se considerará nuevamente en dos partes:

- Forjado de entrepiso
- Forjado de terraza

2.5.4.1 FORJADO DE ENTREPISO

Uno de los puntos conflictivos característicos de este sistema es el deterioro de las cabezas de las vigas, este encuentro de viga-muro siempre ha constituido un punto débil en lo que respecta a la durabilidad de la estructura, debido a la posibilidad de retención de humedad causando podredumbre y la aparición de patologías de origen biótico.

2.5.4.2 FORJADO DE TERRAZA

Los puntos conflictivos que destacan en este tipo de forjado es el deterioro de las juntas del mortero de cal, ocasionando la filtración de agua, muchas de las veces esta agua de infiltración llega a acumularse en ciertas zonas ocasionando así el aumento de humedad en la estructura de madera generando la pudrición.

Otro de los puntos conflictivos y muy comunes es el mal dimensionamiento de los elementos estructurales, debido a la sobrecarga del ladrillo la madera empieza a tener una deformación constante superando su límite elástico, generando deformaciones en el forjado lo cual ocasiona fisuras en las juntas del mortero de cal desencadenando un problema como el antes indicado.

2.6 ELEMENTOS DE COMUNICACIÓN VERTICAL



Imagen 21.- Escalera principal – Casa de las Posadas. Cuenca - Ecuador
Fuente: Archivo INPC – Instituto Nacional de Patrimonio Cultural

2.6.1 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL SISTEMA Y DE LOS ELEMENTOS CONSTITUYENTES

Los elementos relacionados a comunicación vertical son escaleras, todas ellas generalmente son de madera con algunas variaciones en su desarrollo y acabados.

Los trazados más comunes son en “L” y en “U” con anchos promedio que van desde 1.50m hasta los 2m. Las dimensiones de la huella son entre 28 – 30cm y la contrahuella entre 15 – 18cm. Generalmente estos elementos están ubicados de tal manera que pueda tener una conexión directa con la entrada principal y el patio central del inmueble.

En algunas casas se ha podido observar que el primer peldaño es de mármol travertino y este a su vez sirve de apoyo para el resto de la grada.

2.6.2 DETALLES CONSTRUCTIVOS

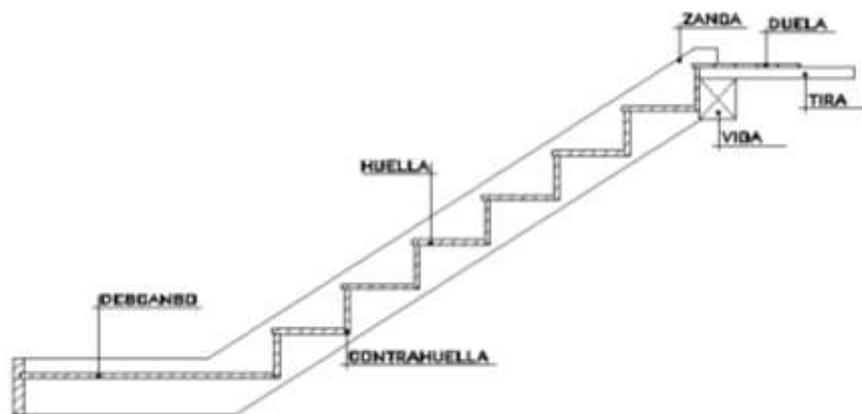


Imagen 22.- Detalle constructivo – Corte longitudinal de escalera tipo
Fuente: Propia

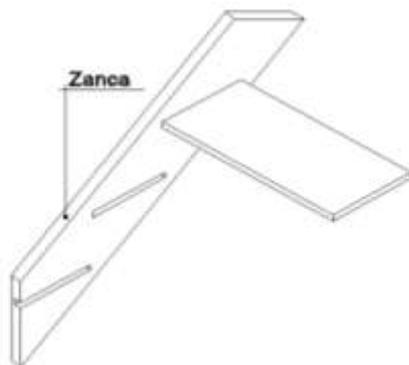


Imagen 23.- Detalle constructivo – Anclaje de peldaños a zanca de grada
Fuente: Propia

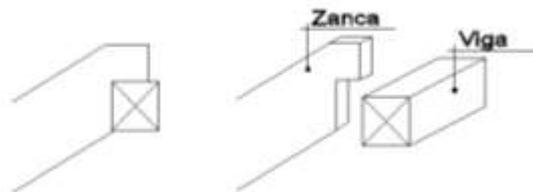


Imagen 24.- Detalle constructivo – Unión zanca – viga de entrepiso

2.7 CUBIERTAS

2.7.1 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DEL CONJUNTO

La estructura de cubierta es el elemento principal realizado en madera con el fin de recibir la teja o cualquier elemento destinado a proteger o cubrir el interior de un inmueble.

Sobre un envigado con separaciones de hasta un metro y en otros la eliminación casi total de estas piezas, sobre las que descansará la cubierta, son aseguradas con la solera por medio de clavos y empalmes. Sobre estas piezas se arma directamente los tirantes que son elementos con una sección de 14x16cm y de gran longitud, llegando algunos hasta los 6m o más. Estas piezas descansan en su parte inferior sobre los canchillos o sobre las vigas según el sistema utilizado y en la parte superior se completa con el cumbrero.

2.7.2 DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA Y DE CADA TIPO

Para la descripción se planteará dos sistemas constructivos tradicionales que utilizan la teja como recubrimiento final, los dos tipos de cubierta son:

- Cubierta de teja sobre carrizo con barro
- Cubierta de teja sobre tirilla de madera

2.7.2.1 CUBIERTA DE TEJA SOBRE CARRIZO CON BARRO

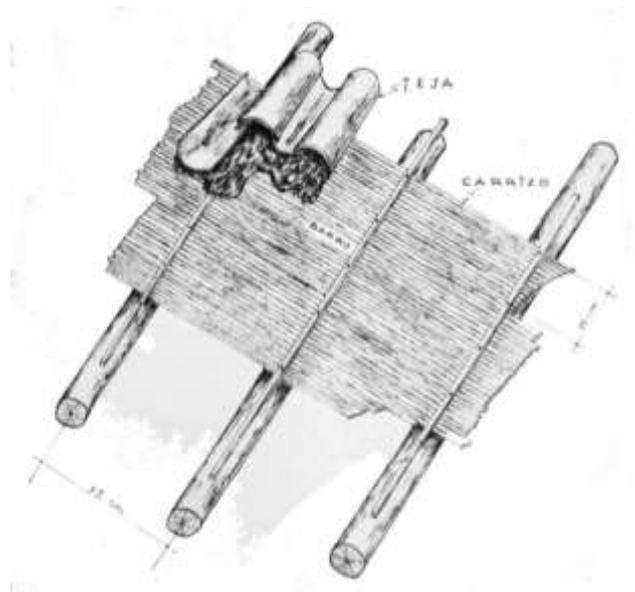


Imagen 25.- Detalle constructivo cubierta de teja sobre barro.

Fuente: MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio*. Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.

En este tipo de cubierta el proceso constructivo consiste en el tendido de carrizo sobre los tirantes de cubierta en el sentido transversal a su eje, este carrizo se amarra con cabuya y se lo reparte por toda la superficie, luego de realizar esto se prepara una mezcla de barro de consistencia similar a la de fabricación de adobes este barro es tendido sobre el carrizo y enseguida se colocan las tejas, el proceso se lo realiza por tramos permitiendo así un correcto secado del barro.

2.7.2.2 CUBIERTA DE TEJA SOBRE TIRILLA DE MADERA



Imagen 26.- Detalle constructivo cubierta de teja sobre tirilla de madera.

Fuente: MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio*. Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.

El proceso constructivo de la cubierta de teja sobre tirilla es similar al anterior por el hecho de partir sobre una estructura existente (tirantes), sobre estos elementos se colocan transversalmente tiras de eucalipto de 4x5cm cada 50cm, y sobre estas se coloca tirilla de eucalipto de 3x2cm, la separación de las tirillas depende del tamaño de la teja.

2.7.3 DATOS ESPECÍFICOS DE LOS PUNTOS MÁS SINGULARES Y CONFLICTIVOS

Son muchas las singularidades que se puede obtener en base a las cubiertas, uno de ellos es la variedad en los aleros, de pronto esta sea una de las mayores características en relación a otros aspectos que muy poco o nada protagonizan en las construcciones tradicionales, como el caso de las chimeneas o lucernarios.

A continuación se presenta unos detalles constructivos de algunos de los aleros más comunes y variados dentro del caso histórico de la ciudad de Cuenca.

Alero con canecillos y tirantes vistos

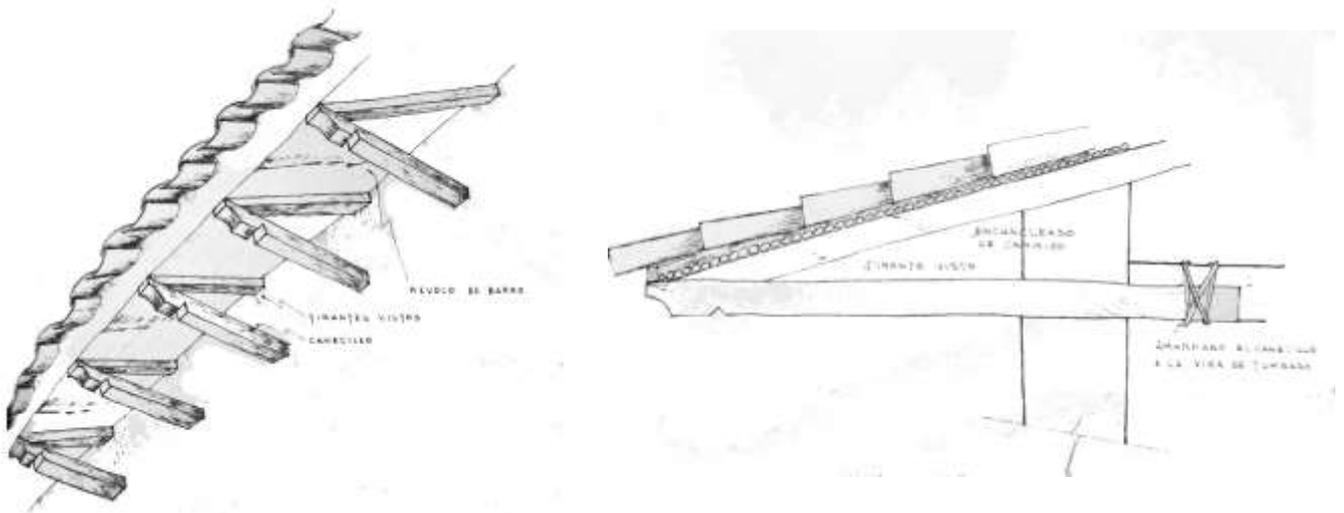


Imagen 27.- Detalle constructivo Alero con canecillos y tirantes vistos.
Fuente: MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio.* Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.

Alero con tirantes vistos, canecillos y jabalcones

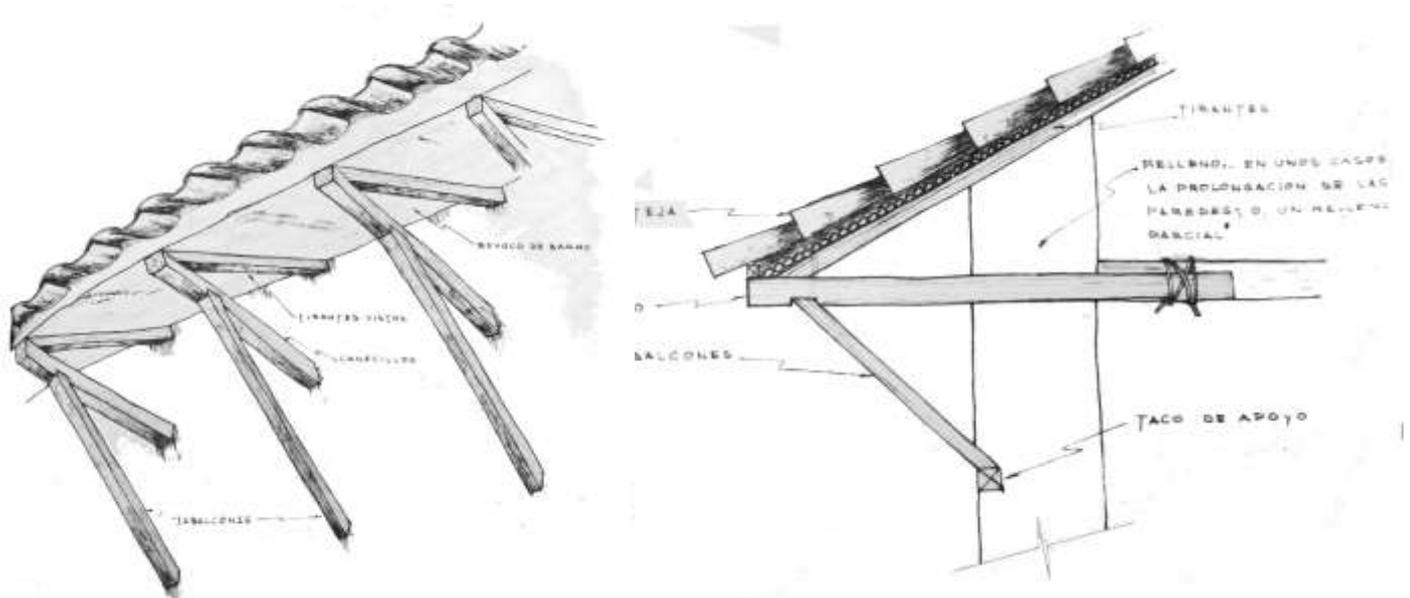


Imagen 28.- Detalle constructivo Alero con tirantes vistos, canecillos y jabalcones.
Fuente: MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio.* Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.

Alero con canecillos y tablas de tumbado

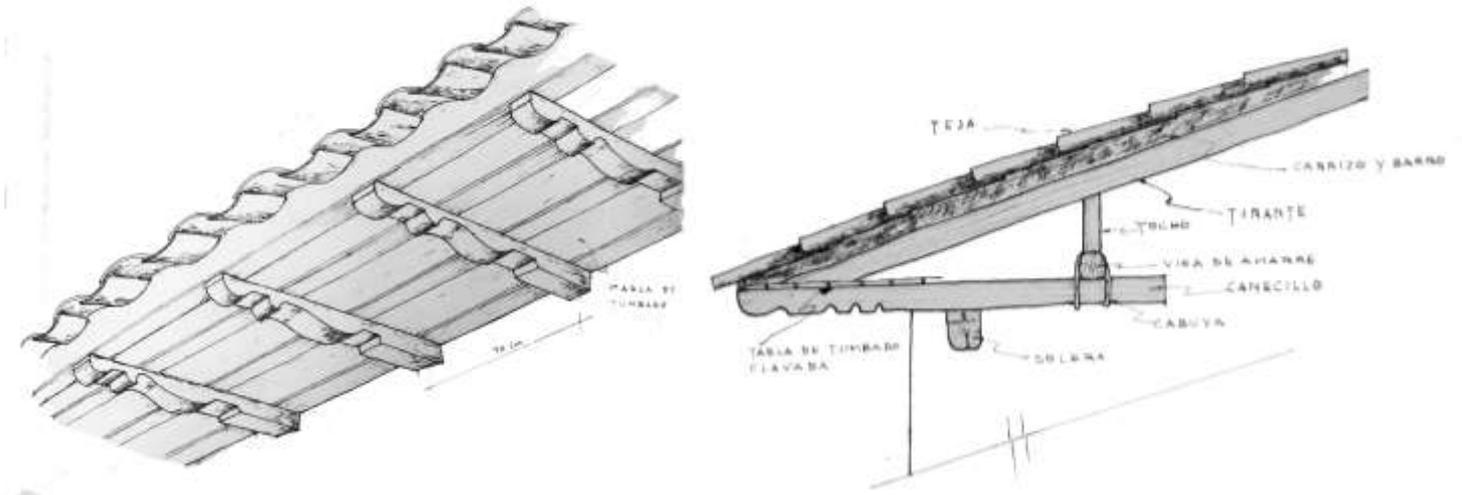


Imagen 29.- Detalle constructivo Alero con canecillos y tablas de tumbado

Fuente: MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio.* Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.

Debido a la extensa morfología expresada en las fachadas de los inmuebles del centro histórico y para concentrar el tema en el objetivo principal, se resumirá mediante fotografías más representativas los ítems faltantes según la *Tabla 1 – Sistemas constructivos a incorporar en la memoria* de la Norma UNE 41805-3:2009 IN, estos ítems son: Fachadas, Carpintería exterior, Acristalamiento, Cerrajería exterior e interior, Tabiquería, Carpintería interior y Acabados, incluido el apartado de Instalaciones.

2.8 FACHADAS



Imagen 30.- Casa – Hostal Posada del Ángel

Fuente: Google Maps – Street view



Imagen 31.- Casa antigua – Arq. Iván Andrés Quizhpe
Fuente: flicker.com



Imagen 32.- Casa azul
Fuente: Fundación turismo para Cuenca



Imagen 33.- Foto antigua de Cuenca – Actualmente calle Benigno Malo
Fuente: Archivos históricos INPC – Instituto Nacional de Patrimonio Cultural

2.9 CARPINTERÍA EXTERIOR



Imagen 34.- Foto balcón en madera y hierro forjado
Fuente: flickr.com



Imagen 35.- Foto balcón en madera torneado
Fuente: pasoandando. Autor: Jaime Perez



Imagen 36.- Puerta con molduras talladas
Fuente: <http://es.123rf.com/>

2.10 CARPINTERÍA Y ACABADOS INTERIORES



Imagen 37.- Interior Hotel
Fuente: <http://es.123rf.com/>



Imagen 38.- Interior Casa Museo Remigio Crespo Toral
Fuente: paisturistico.com



Imagen 39.- Interior Casa privada
Fuente: <https://www.homeaway.es/p4011613>

3.IDENTIFICACIÓN PATOLÓGICA E HIPÓTESIS DE CAUSAS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES

3.1 INTRODUCCIÓN

Todo edificio cuando es construido, presenta unas características arquitectónicas (estructurales, estéticas y funcionales) que le son propias, adaptadas al fin para el que ha sido proyectado y realizado, estas características son parte esencial de su morfología las mismas que dan una identidad única al edificio.

Sin embargo, estas características pueden sufrir un proceso de modificación con el paso del tiempo, siendo necesario el planteamiento de intervenciones con la finalidad de restituir o mejorar las capacidades iniciales tanto de forma como de función del edificio.

La propia idea de intervención está asociada a una realidad edificatoria que ya existe y que dependiendo del tiempo transcurrido desde su construcción original y de la situación agresiva a la que haya estado sometida, habrá sufrido un envejecimiento y deterioro cuantificable y evaluable

Las causas más comunes de deterioro o envejecimiento son:

- Falta de periodicidad en el mantenimiento del edificio.
- Reparaciones incorrectas (materiales incompatibles, no se interviene en la causa).
- Adaptación a nuevos usos que resultan incompatibles con la estructura o las condiciones físicas del edificio.
- Causas accidentales (sismos, incendios, otros).

Con todas estas posibles causas, el desarrollo de una correcta valoración e identificación de las patologías existentes es indispensable a la hora de definir o proponer una intervención, por lo que en este capítulo se hará una evaluación de las patologías más comunes en viviendas con características semejantes, esto con la finalidad de intentar generalizar los daños en los sistemas constructivos tradicionales.

3.2 MARCO TEÓRICO SOBRE PATOLOGÍAS

La palabra patología, etimológicamente hablando, procede de las raíces griegas *pathos* y *logos*, y se podría definir, en términos generales, como el estudio de las enfermedades. Por extensión la patología constructiva de la edificación es la ciencia que estudia los problemas constructivos que aparecen en un edificio o en alguna de sus unidades con posterioridad a su ejecución.

Para el estudio del proceso patológico es recomendable empezar por observar la lesión, luego el síntoma, para luego de las respectivas valoraciones llegar a determinar el origen de la causa. Las lesiones son cada una de las manifestaciones de un problema constructivo, es decir el síntoma final del proceso patológico

Para identificar las diferentes patologías se adjunta la clasificación establecida en la *Enciclopedia Broto de patologías de la construcción*. La cual indica las siguientes categorías de lesiones:

- Lesiones Físicas.
- Lesiones Mecánicas.
- Lesiones Químicas.
- Lesiones Biológicas.

Adicionalmente se ha considerado generar dos grupos más, que a pesar de estar directamente involucrados con las lesiones expuestas anteriormente es importante identificarlos por separado, estos son:

- Bióticas.
- Abióticas.

Al final de la definición de cada una de las lesiones se realizará un cuadro resumen.

3.3 LESIONES Y PATOLOGIAS

3.3.1 LESIONES FÍSICAS

Son todas aquellas en que la problemática patológica se produce a causa de fenómenos físicos como heladas, condensaciones, etc. y normalmente su evolución dependerá también de los mismos. Entre las causas más comunes están:

- **Humedad:** Se considera cuando la presencia de agua excede al nivel admisible de cada material. En función de la causa se puede distinguir los siguientes tipos de humedad:
 - De obra.
 - Humedad capilar
 - Humedad de filtración
 - Humead de Condensación
 - Condensación superficial interior
 - Condensación intersticial
 - Condensación higroscópica
 - Humedad accidental

- **Erosión:** Es la pérdida o transformación superficial de un material, puede ser total o parcial.

- **Suciedad:** Es el depósito de partículas en suspensión sobre los diferentes materiales, especialmente fachadas. Los tipos de suciedad más representativos son:
 - Costra negra
 - Ennegrecimiento.
 - Grafitis (vandalismo)

3.3.2 LESIONES MECÁNICAS

A pesar que las lesiones mecánicas son consecuencia de acciones físicas es importante identificarlas en un grupo diferente por su importancia. Una lesión mecánica es aquella en la que predomina un factor mecánico que provoca movimientos, desgaste, aberturas o separación de materiales. Entre estas tenemos:

- **Deformaciones:** Es cualquier variación en la forma inicial del material, a consecuencia de esfuerzos mecánicos:
 - Flecha (elementos horizontales).
 - Pandeo (elementos verticales).
 - Alabeos.

- **Fisuras - Grietas:** Las fisuras son aberturas que solo afectan a la superficie de los elementos. Aunque la sintomatología es similar a la de las grietas su origen y evolución son distintos y en algunos casos se considera una etapa previa a la aparición de grietas. Las grietas son aberturas longitudinales que afectan a todo el espesor de un elemento constructivo. Existe dos tipos característicos de grietas que son:
 - Por exceso de carga.
 - Por dilatación y contracción higrotérmica.

- **Desprendimiento:** Es la separación entre un material de acabado y el soporte al que está aplicado por falta de adherencia entre ambos, suele producirse como consecuencia de otras lesiones previas como humedades, deformaciones o grietas.

3.3.3 LESIONES QUÍMICAS

Son las lesiones que se producen a partir de un procedimiento patológico de carácter químico. El origen de las lesiones químicas suele ser la presencia de sales, ácidos o álcalis que reaccionan provocando descomposición que afectan a la integridad el material y reducen su durabilidad. Las más representativas son:

- **Eflorescencias:** Se trata de un proceso que suele tener como causa directa la aparición de humedad. Los materiales contienen sales solubles y éstas son arrastradas por el agua hacia el exterior durante su evaporación y cristalizan en la superficie del material. Las más representativas son:
 - Sales cristalizadas que no proceden del material (exterior)
 - Sales cristalizadas bajo la superficie del material. Denominadas también Criptoflorescencia (interior).

- **Oxidaciones y corrosiones:** Son un conjunto de transformaciones moleculares que tienen como consecuencia la pérdida de material en la superficie de metales como el hierro y el acero. Las diferencia entre oxidación y corrosión son ligeramente diferentes y sus diferencias son:
 - *Oxidación:* Es la transformación de los metales en óxido al entrar en contacto con el oxígeno. La superficie del metal tiende a transformarse en óxido químicamente más estable, y de este modo protege al resto del metal de la acción del oxígeno.
 - *Corrosión:* Es la pérdida progresiva de partículas de la superficie del metal.

3.3.4 LESIONES BIÓTICAS

Tal como su nombre lo indica son daños generados por la presencia de vida ya sea de origen animal o vegetal. Las características principales de los dos grupos son:

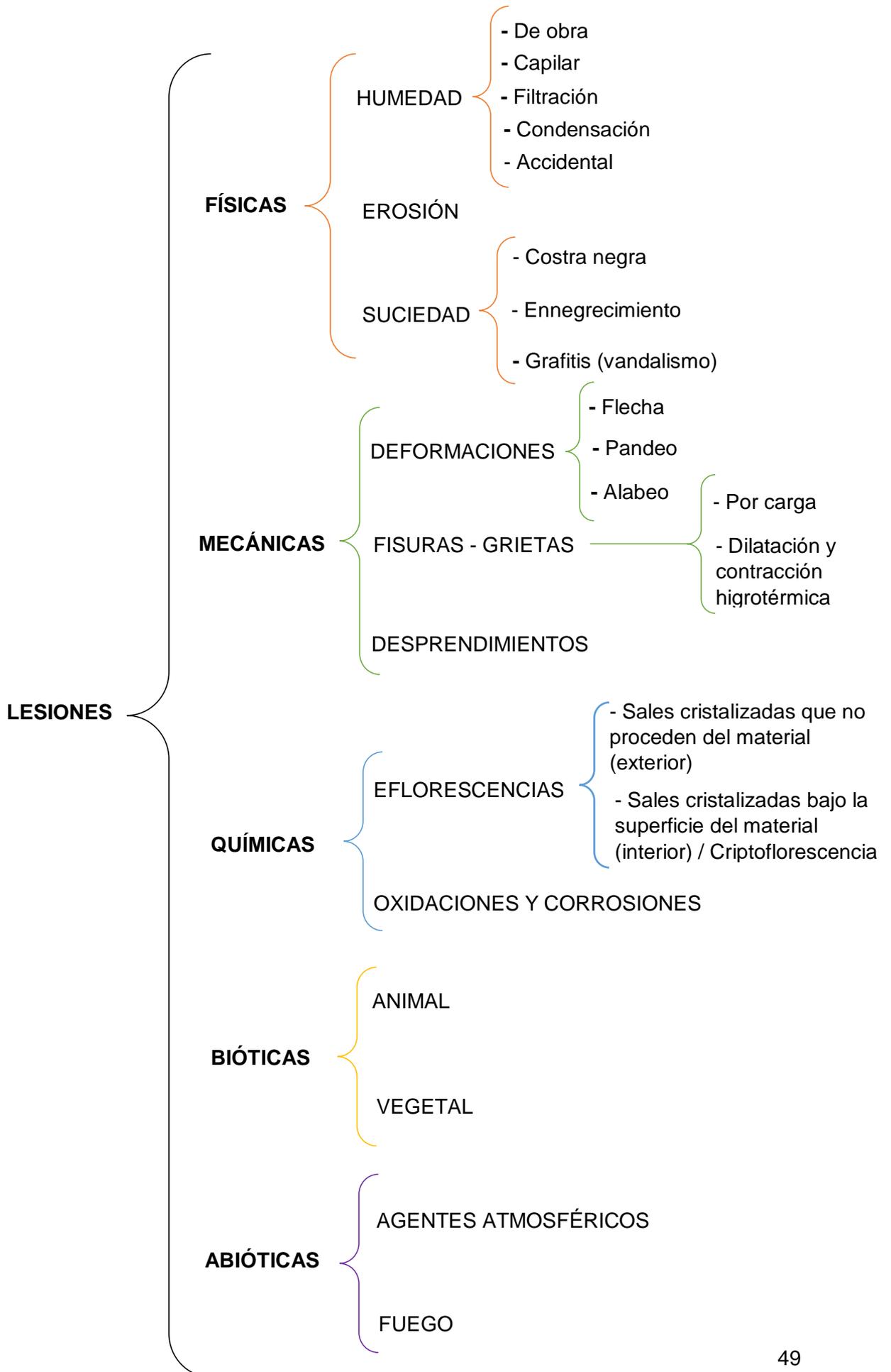
- *Animal:* Hace referencia a la acción llevada por las diferentes condiciones de desarrollo animal, es decir desde la presencia de roedores, aves hasta organismos uni y pluricelulares incluyendo insectos característicos que se presentan en la madera.
- *Vegetal:* Aunque existe una relación entre la vida animal y vegetal, también hay casos aislados de presencia vegetal que generan daños en los diferentes elementos constituyentes de una edificación

3.3.5 LESIONES ABIÓTICAS

Estas lesiones están relacionadas con factores que no albergan vida como los elementos meteorológicos o atmosféricos y el fuego.

- Atmosféricos
- Acciones por fuego

A continuación se presenta un diagrama resumen con todos los tipos de lesiones antes expuestos.



3.4 PATOLOGÍAS COMUNES EN SISTEMAS CONSTRUCTIVOS TRADICIONALES

Para la determinación de las patologías más comunes, se ha realizado la toma de datos mediante una evaluación preliminar en una vivienda, la cual presenta un sistema constructivo tradicional y ha estado expuesta a condiciones de deterioro propias del tiempo y de la falta de mantenimiento, los datos obtenidos de la vivienda antes mencionada han sido comparados con casos similares documentados en tesis profesionales. Esta comparativa tiene la intención de generar un registro patológico común en este tipo de inmuebles, cabe indicar que en un proceso real de rehabilitación y reforzamiento se deberá tener en cuenta las individualidades propias de cada caso y no generalizarlo.

3.4.1 METODOLOGÍA PARA LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

El proceso que se ha optado para la documentación, consiste en partir de un levantamiento general del inmueble, el cual permita identificar el sistema estructural, en este levantamiento a más de las longitudes quedará registrado las alturas y las diferentes secciones de cada elemento que conforma el sistema estructural, pudiendo ser estos, muros de carga, pórticos, estructura de cubierta y forjados en entrepiso.

3.4.1.1 PRIMERA FASE

Una vez definido los parámetros iniciales (dimensiones, alturas) e identificado los elementos estructurales, se procede a realizar una primera fase de inspección que consiste en el reconocimiento visual interior y exterior, esta fase permite generar un criterio para poder identificar las zonas en las cuales se procederá a la toma de datos mediante catas, y a su vez se podrá evaluar el estado de las fachadas, cubiertas y forjados. Con esta evaluación se podrá identificar las fuentes de humedad y la posible entrada de agua de lluvia al interior del inmueble.

3.4.1.2 SEGUNDA FASE

Luego de identificar las zonas a realizar catas se procede a un análisis más detallado de los puntos elegidos, para ello se realizó técnicas de exploración mediante equipos tradicionales, para ello se ha realizado un registro fotográfico de los puntos más críticos.

Los equipos utilizados para esta fase fueron algunos de los recomendados para inspección tradicional en el libro de Francisco Arriaga “*Intervención en estructuras de madera*” y son los siguientes:

- Xilohigrómetro (medición de humedad).
- Nivel laser.
- Martillo común.
- Punzón.
- Brochas.
- Material de registro y protección personal.

3.4.2 EVALUACIÓN PRELIMINAR PARA UN CASO REAL

Para poder determinar las patologías más comunes en los sistemas constructivos tradicionales, se eligió un inmueble el cual prestaba las facilidades de ingreso y además presentaba las características necesarias de deterioro para ser evaluado.

3.4.2.1 BREVE DESCRIPCIÓN



Imagen 3.1.- Vivienda evaluada – Casa Palacios
Fuente: Propia

El inmueble se encuentra ubicado dentro de una de las zonas que antiguamente era el ingreso a la ciudad de Cuenca, aproximadamente tiene unos 100 años de antigüedad, propiedad de la familia Palacios, actualmente se encuentra deshabitada. Tiene aproximadamente 615m².

Constructivamente se puede indicar que es de dos plantas y está conformada por muros de carga realizados en adobe, con una sección de 60cm de espesor, un sistema de pórticos en madera de eucalipto, alrededor de un patio central la sección de las piezas varían entre los 12cm a 16cm. en la planta baja el área social, cocina,

comedor y área destinada a acopio de granos (maíz, fréjol, etc.), en la segunda planta iba las habitaciones y generalmente existía una segunda zona con carácter social.

El piso de planta baja está dividido según las zonas, es decir la zona de cocina tiene un acabado en ladrillo artesanal y el área social en madera. Se pudo observar que en una de las zonas ha existido una intervención reciente ya que su piso es de cerámica. En las habitaciones destinadas a acopio, el piso es en tierra natural compactada.

El forjado de entrepiso es en madera, con el sistema viga-duela.

El cielo raso está conformado por carrizo y barro, puertas y ventanas son de madera.

La cubierta es de estructura de madera, carrizo y barro, recubierta de teja artesanal.

Generalmente estas viviendas no tenían baño al interior del inmueble y se destinaba una zona al exterior en el patio posterior. Actualmente hay un baño al interior de una intervención reciente.

3.4.2.2 MODELO ESTRUCTURAL Y PLANOS REFERENCIALES

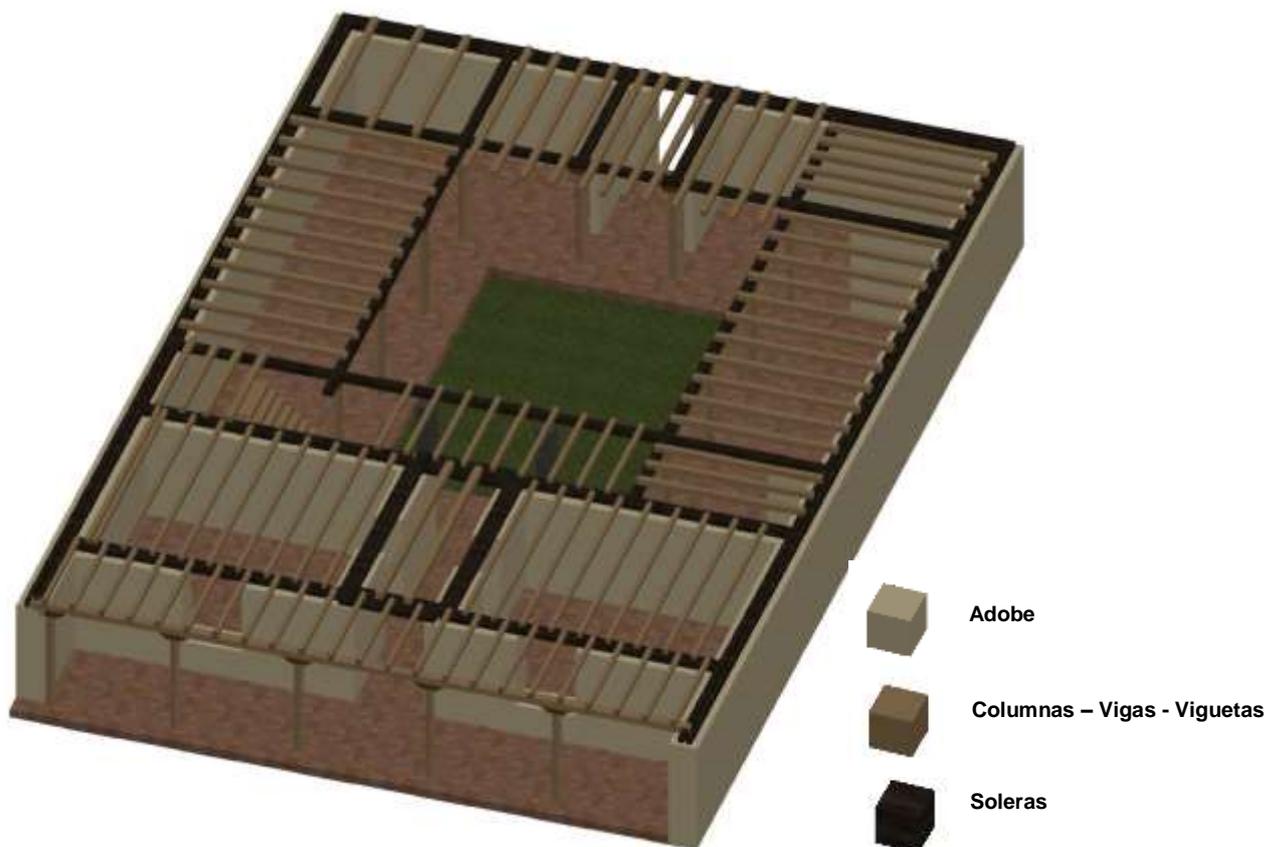


Imagen 3.2.- Modelo estructural planta baja
Fuente: Propia

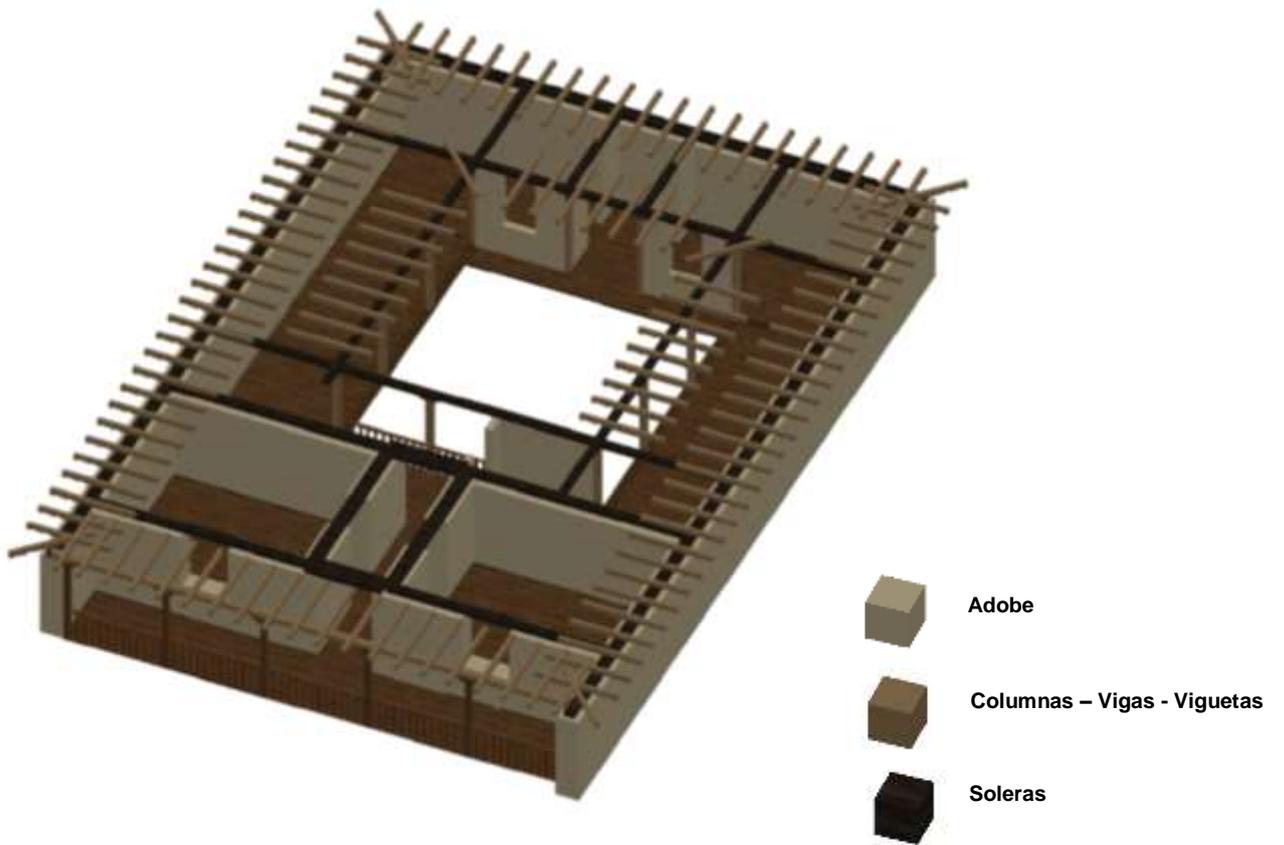


Imagen 3.3.- Modelo estructural planta alta
Fuente: Propia

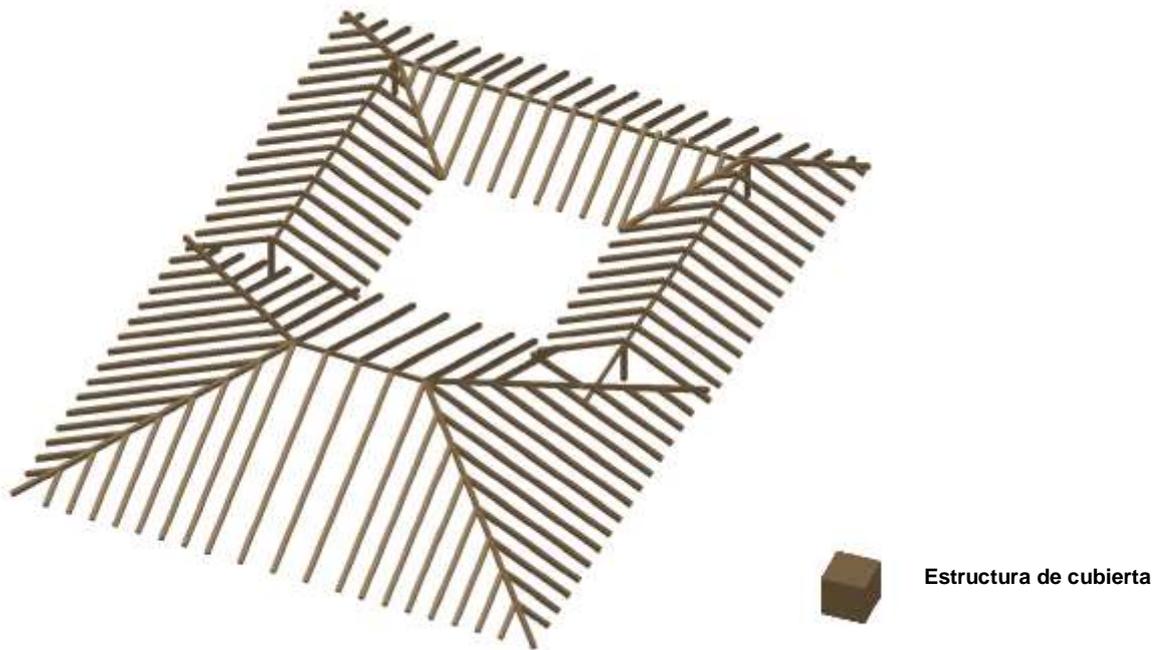
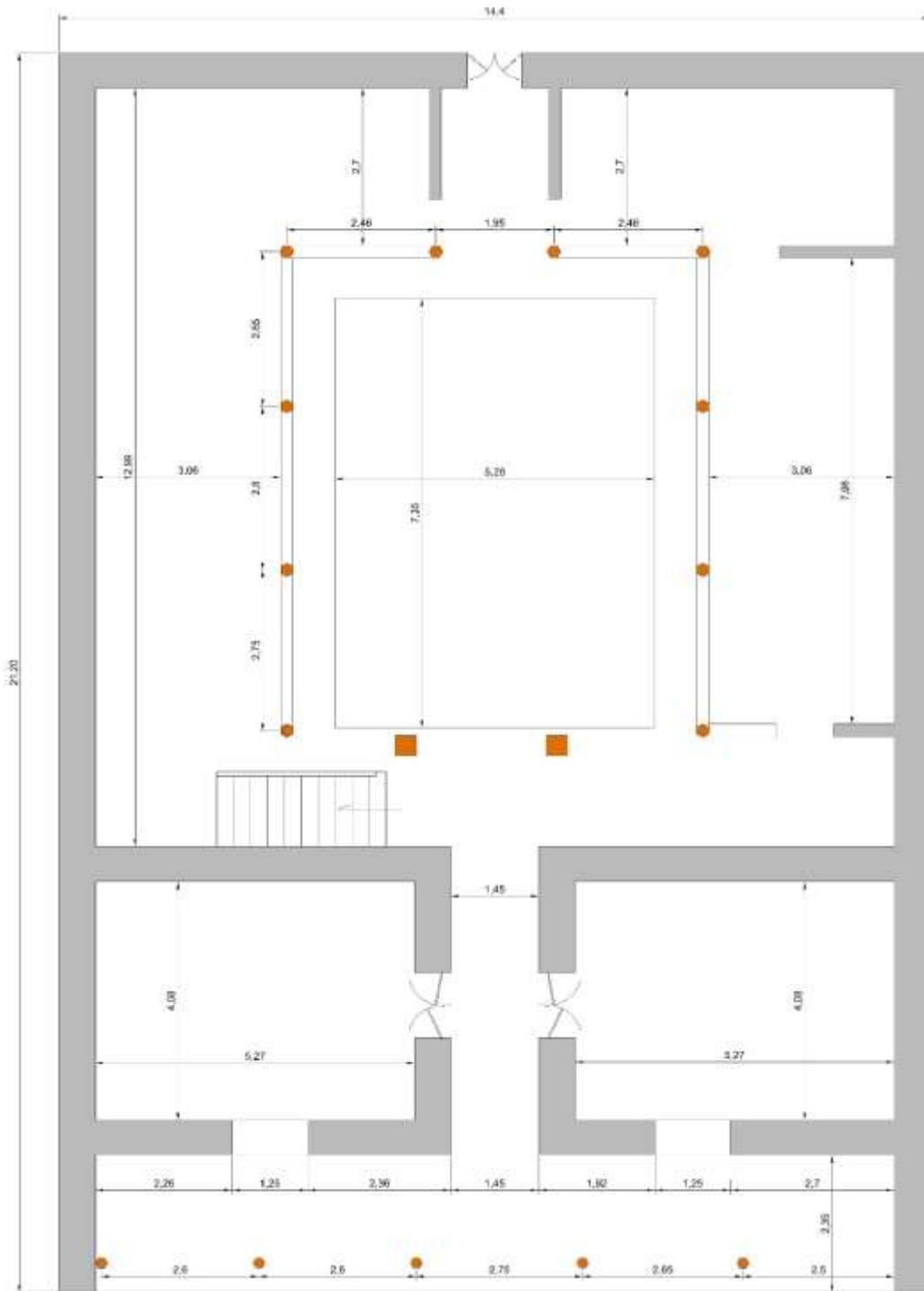


Imagen 3.4.- Modelo estructural cubierta
Fuente: Propia

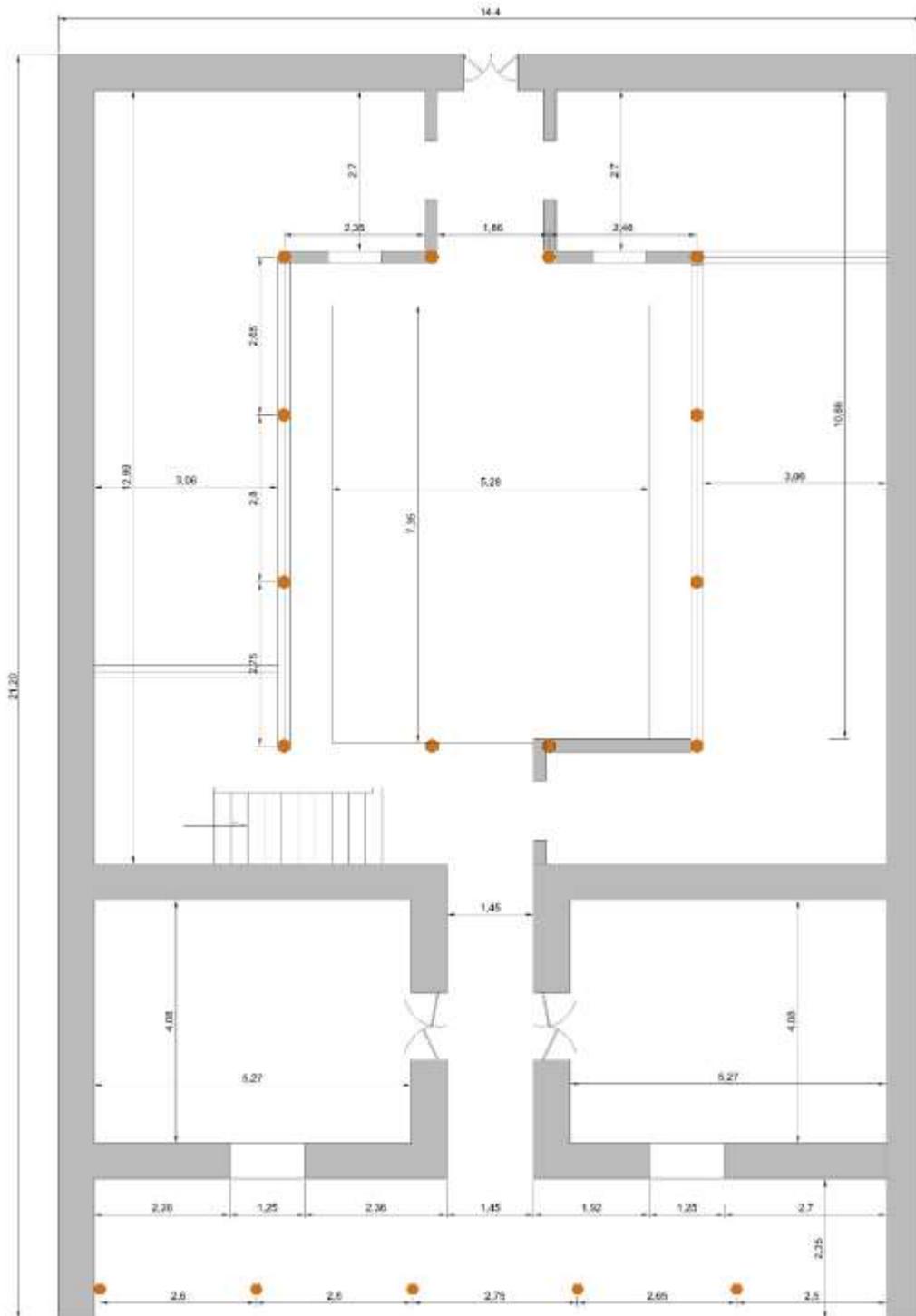
PLANTA BAJA



 **ESTRUCTURA DE MADERA**

 **ADOBE**

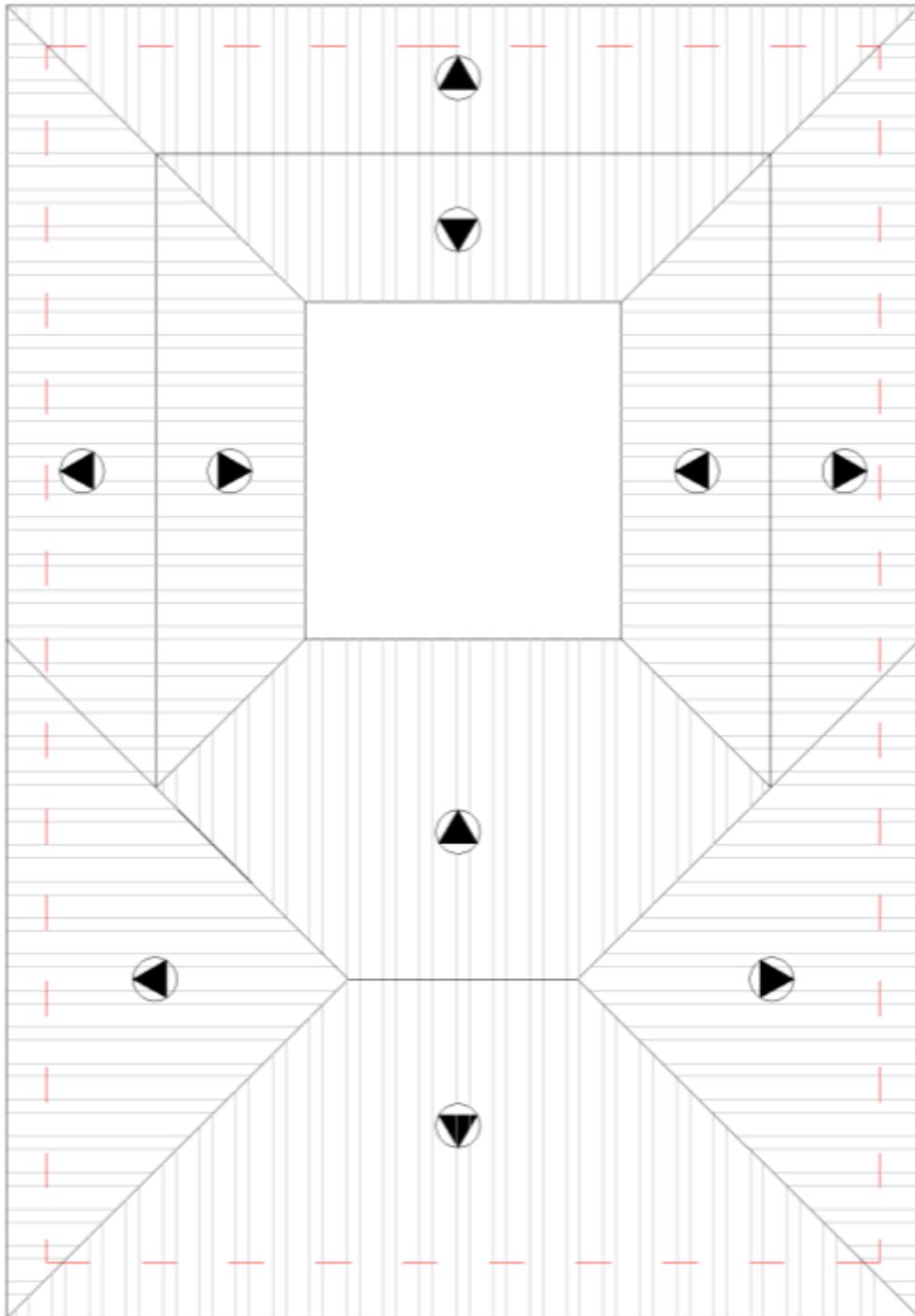
PRIMERA PLANTA ALTA



ESTRUCTURA DE MADERA

ADOBE

PLANTA DE CUBIERTAS



Para el registro de la información levantada se realizó una ficha en la que constarán los datos promedio de la zona evaluada, en ella se indicará datos como el tipo de lesión, origen de la lesión, importancia, efectos secundarios, contenido de humedad, datos ambientales del día en que fue realizado la evaluación, y una fotografía del elemento o elementos más representativos.

3.4.2.3 EVALUACIÓN DE DAÑOS EN ELEMENTOS VERTICALES DE MADERA

La evaluación para la estructura vertical de madera se realizó en dos zonas, la primera en el porche de entrada que consta de 5 columnas y la segunda en el grupo de columnas que se encuentran alrededor del patio central.

- **Zona 1 – Porche de entrada**



Imagen 3.5.- Vista porche de entrada
Fuente: Propia

En el diagnóstico realizado solo se encontraron lesiones de origen abiótico ubicado en la base de las columnas siendo de mayor incidencia las de influencia de radiación solar, generalmente estas lesiones están combinadas con la presencia de daños por humedad a causa de lluvia, a pesar que se realizaron varias mediciones el contenido de humedad en los pilares se encontraba dentro del equilibrio higrotérmico recomendado para exteriores.

Con respecto a lesiones por origen biótico el porcentaje de daño es despreciable.

Existen fendas propias del secado y de la especie (eucalipto)

No hay presencia de lesiones químicas ni físicas.

FICHA DE DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO						
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN				UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA 		Nro.
				1/6		
REFERENCIACIÓN						
ZONA:	Porche	ELEMENTO:	Columnas	SECCION:	20 X 20 cm	
DIAGNÓSTICO						
LESIÓN			ORIGEN			
FÍSICA	-----		Debido a la orientación con respecto al sol, existen caras de las columnas que están mayormente expuestas.			
QUÍMICA	-----					
MECÁNICA	Fendas por secado					
BIÓTICAS	2% - Poco representativo					
ABIÓTICAS	Daños por alta exposición solar					
IMPORTANCIA			EFECTOS SECUNDARIOS			
BAJA	MEDIA	ALTA	Al incidir el agua lluvia, las celulas externas pueden recubirse lentamente de mohos que viven de la humedad y productos de la fotodegradación, deteriorando aun mas el elemento.			
Su importancia es baja pero se debe procurar proteger de los efectos de la humedad.						
FOTOGRAFÍA			CONTENIDO DE HUMEDAD			
			12.20%			
						
			DATOS AMBIENTALES			
Humedad relativa		Temperatura				
65%		19°C				

- **Zona 2 – Patio Central**



Imagen 3.6.- Vista patio central
Fuente: Propia

Los datos obtenidos en las columnas del patio central (10 columnas) se ha podido observar un alto contenido de humedad en las bases, debido a que han sido tapadas con un mortero lo que ha ocasionado que la humedad que no puede ser evaporada afecte en un alto porcentaje, llegando a ocasionar altos niveles de pudrición en dos de ellas, e inicio de pudrición en el resto. Por la muestra tomada y según la norma *UNE 41805-8:2009 Estudio patológico de la estructura del edificio. Estructuras de madera*, la lesión producida es por **hongos de pudrición** que como característica tiene la afección a las propiedades mecánicas del elemento, pérdida de material, pérdida de resistencia en zonas afectadas. Este tipo de pudrición suele presentarse en elementos que superan el 20% en su contenido de humedad.

Además de las lesiones indicadas se pudo observar y registrar la presencia de insectos de ciclo larvario, según la muestra tomada y los datos sobre los orificios y el insecto, este corresponde a los **Anóbidos (carcoma)** según la norma antes indicada la característica de esta lesión está dada por orificios de 1.5 a 2mm y un insecto de 3mm a 5mm, los daños ocasionados por este insecto no representa riesgo estructural ya que su ataque es siempre perimetral.

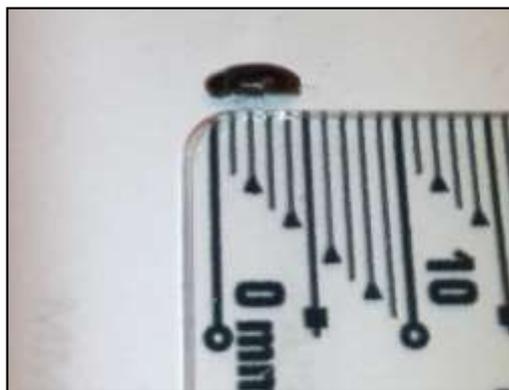
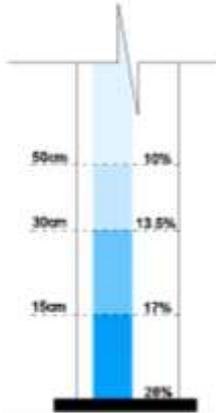


Imagen 3.7.- Insecto Anóbido - Carcoma
Fuente: Propia

FICHA DE DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO						
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN				UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA 		Nro.
				2/6		
REFERENCIACIÓN						
ZONA:	Patio central	ELEMENTO:	Columnas	SECCION:	20 X 20 cm	
DIAGNÓSTICO						
LESIÓN			ORIGEN			
FÍSICA	Humedad capilar		Las columnas han sido cubiertas con mortero por lo que el agua de lluvia y de escorrentía no pudo ser evaporada de manera normal, ocasionando el aumento del grado de humedad.			
QUÍMICA	-----					
MECÁNICA	Fendas por secado					
BIÓTICAS	Hongos de pudrición					
ABIÓTICAS	-----					
IMPORTANCIA			EFECTOS SECUNDARIOS			
BAJA	MEDIA	ALTA	Al contener un elevado nivel de humedad a generado el crecimiento de plantas y que la humedad se expanda a zonas aledañas.			
Su importancia es media alta, ya que existe algunas columnas que presentan un alto contenido de humedad y una avanzada pudrición en sus bases.						
FOTOGRAFÍA			CONTENIDO DE HUMEDAD			
						
			DATOS AMBIENTALES			
			Humedad relativa		Temperatura	
65%		19°C				

En estas columnas se realizó varias mediciones del contenido de humedad, la primera en la base, luego a 15cm de la misma, después a 20cm y 50cm respectivamente, esto con la finalidad de deducir a que altura el elemento alcanza el equilibrio higroscópico, llegando a identificar que aproximadamente esta alrededor los 50cm.

3.4.2.4 EVALUACIÓN DE DAÑOS EN MUROS DE CARGA (ADOBE)

Para la evaluación de los muros de carga, se realizó la inspección visual de todo el inmueble, y de la misma manera que los elementos verticales de madera, se realizó una ficha patológica de la lesión más representativa considerando que dicha lesión pueda repercutir de alguna manera en las características estructurales.

Además de la ficha, se presenta algunas lesiones con menor incidencia, pero, que de no ser consideradas o tratadas a tiempo podría generar un impacto mayor en la parte estructural y de estabilidad del inmueble.

- ***Daño en revoque de muro***



Imagen 3.8.- Daño en revoque
Fuente: Propia

Los daños ocasionados en revoques generalmente ocurren por acción del agua lluvia que incide directamente en el muro, esto combinado con la acción del sol, ocasiona la aparición de fisuras que ayudarán al ingreso de agua por filtración ocasionando una mayor zona de desprendimientos.

El tratamiento a seguir será el retirar y almacenar todo el material suelto, para luego ser mezclado con una nueva tierra ya mejorada para preparar un nuevo revoque el cual deberá ser impermeabilizado.

Durante el proceso de evaluación de la vivienda se encontraron dos puntos más que presentan lesiones semejantes, todas ellas están ubicadas en paredes del patio central, estas paredes durante los días de lluvia reciben mayor cantidad de agua comparando con las otras exteriores.



Imagen 3.9.- Daño en revoque
Fuente: Propia

- ***Daños en la base del muro – Abombamiento***



Imagen 3.10.- Daño en la base del muro
Fuente: Propia

En lo que respecta a daños en las zonas interiores del inmueble se pudo observar un abombamiento a nivel de la base del muro, claramente en esta zona se puede percibir presencia de humedad.

Al tratarse de un punto húmedo es notorio que por esta razón la base del muro o cimentación en caso de existir una, ha sufrido un asentamiento que como consecuencia ha derivado en la formación de un arco de descarga y un abombamiento en la zona afectada.

Debido a la dificultad y a la no de autorización por parte de los dueños, no se pudo realizar una inspección a nivel de soleras ni la posibilidad de levantar el piso para tener un panorama mucho más claro de lo sucedido.

- **Fisuras - Grietas verticales**

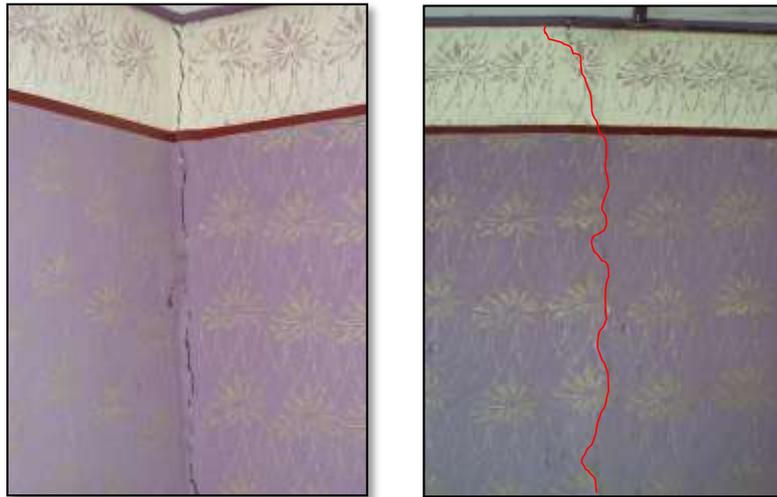


Imagen 3.11.- Fisuras verticales
Fuente: Propia

En el proceso de evaluación se encontró en algunas zonas la presencia de grietas y fisuras verticales, como se indica en las fotografías la primera grieta está ubicada en el encuentro tipo T de los dos muros, y la segunda se encuentra ubicada en la parte central considerando la longitud total de la habitación.

Como criterio general las fisuras o grietas en sentido vertical son ocasionadas por esfuerzos horizontales paralelos al plano horizontal del muro los cuales generan tracciones en su interior provocando la aparición inicialmente de fisuras y en caso de ser una falla activa pueden aumentar su espesor formándose grietas.

En lo que respecta a la lesión en el encuentro de los dos muros suele estar asociada al desplome de uno de ellos o también a la falta de llaves durante el proceso constructivo, otra de las posibles causas es la falta de conexión entre los muros tal como se indica en las imágenes siguientes:

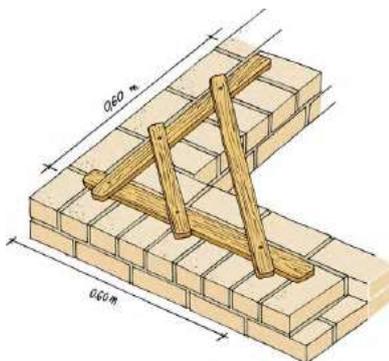


Imagen 3.12.- Refuerzos para esquinas (llaves)

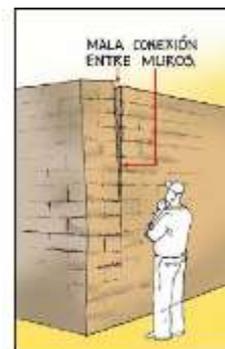


Imagen 3.13.- Mala conexión entre muros

Fuente: ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada.* Documento PDF

En el caso de la fisura en la mitad de la pared, la causa más probable es por pandeo y su origen puede ser por la falta de arriostramiento en función de su longitud. Según la norma peruana E 080 para el adobe en su apartado 6.2 Muros dice que la longitud máxima entre riostras verticales para evitar pandeos debe ser 12 veces el espesor del muro

Para este caso en particular, considerando que el muro tiene un espesor de 60cm, significa que la longitud máxima entre riostras verticales debe ser 7.2m y la longitud real es de 13m.

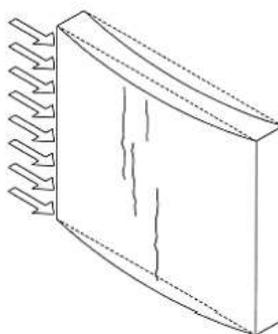


Imagen 3.14.- Fisuras verticales por esfuerzos horizontales
Fuente: construmatica.com

Para poder determinar con exactitud la causa real de la lesión sería importante mantener un seguimiento a las fisuras durante un tiempo, con la finalidad de poder determinar si la fisura es activa y con ello indagar hasta llegar al origen real de la causa.

En este tipo de construcciones es muy normal que el origen de las lesiones se deba al deterioro de la cubierta y de los elementos estructurales de madera, también puede ser ocasionado por humedades de infiltración que afectaría directamente a la cimentación y a la base de los muros por capilaridad.



Imagen 3.15.- Daños en cielo raso por deterioro de cubierta
Fuente: Propia

FICHA DE DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO						
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN				UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA 		Nro. 3/6
REFERENCIACIÓN						
ZONA:	Planta baja	ELEMENTO:	Muro de carga	SECCION:	60cm	
DIAGNÓSTICO						
LESIÓN			ORIGEN			
FÍSICA	-----		El origen posiblemente obedece a un asentamiento a nivel de la base del muro, generando la grieta principal y posteriormente perdida de sección transversal por desprendimientos parciales de adobe.			
QUÍMICA	-----					
MECÁNICA	Pandeo - fisuras por carga					
BIÓTICAS	-----					
ABIÓTICAS	-----					
IMPORTANCIA			EFECTOS SECUNDARIOS			
BAJA	MEDIA	ALTA	El tratarse de alguna falla activa puede incurrir en la inestabilidad del muro y a su vez la deformación de los elementos estructurales horizontales			
Su importancia es media considerando que es una lesión que puede progresar e involucrar a mas elementos del inmueble. Se debería evaluar si la falla sigue activa o fue por humedad accidental						
FOTOGRAFÍA			CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD			
			15.33%			
						
			DATOS AMBIENTALES			
			Humedad relativa		Temperatura	
61%		14°C				

3.4.2.5 EVALUACIÓN DE DAÑOS EN ELEMENTOS HORIZONTALES DE MADERA

Los elementos estructurales horizontales que se consideraron para la evaluación son los que conforman el entrepiso, para ello se realizó una inspección visual de cada uno de los elementos y se optó por analizar con mayor énfasis los que presentaban mayor daño, debido a las limitaciones de ingreso no se pudo evaluar el sistema estructural horizontal a nivel de cubierta.

Los análisis realizados tenían como objetivo la obtención de datos sobre el estado de conservación de la madera, para ello se realizó lecturas del contenido de humedad en piezas seleccionadas por un muestreo, además, se realizó una limpieza y cepillada para poder observar si las vigas y viguetas presentaban algún daño de tipo biótico, y en las piezas que permitían ser evaluadas se tomó datos de las cabezas de las vigas.



Imagen 3.16.- Proceso de limpieza y toma de datos
Fuente: Propia

De igual manera que en las evaluaciones anteriores se realizó fichas patológicas correspondientes a vigas y otra a viguetas, los datos registrados son los que la mayoría de elementos mantenía en común. Y de manera individual se revisará detalles sobre algunos elementos en particular.

- ***Vigas y Viguetas***

Las vigas y viguetas son de madera de eucalipto y su sección varía entre 14cm y 16cm x 18cm de canto; 10cm y 12cm x 12cm de canto respectivamente, la mayoría de elementos presentan lesiones por carcoma, fendas por secado característico del tipo de madera y suciedad en las zonas mayormente expuestas a la intemperie, son muy pocos los elementos que presentan daños por humedad de filtración proveniente de los fallos de cubierta.

FICHA DE DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO						
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN				UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA 		Nro.
				4/6		
REFERENCIACIÓN						
ZONA:	Entrepiso	ELEMENTO:	Vigas	SECCION:	18x16	
DIAGNÓSTICO						
LESIÓN			ORIGEN			
FÍSICA	Suciedad		El origen del ataque de anóbidos suele presentarse el elementos con un contenido de humedad algo elevado. Tambien suele presentarse en maderas que no han sido secadas correctamente			
QUÍMICA	-----					
MECÁNICA	Fendas por secado					
BIÓTICAS	Presencia de carcoma - 30% aprox.					
ABIÓTICAS	-----					
IMPORTANCIA			EFECTOS SECUNDARIOS			
BAJA	MEDIA	ALTA	Es frecuente que el ataque de carcoma esté ligado a pudriciones previas, ya que la acción del hongo facilita la digestión de la madera.			
Su importancia es baja ya que la madera no presenta lesiones de mayor interes.						
FOTOGRAFÍA			CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD			
			12.75%			
						
			DATOS AMBIENTALES			
Humedad relativa		Temperatura				
61%		14°C				

Adicional a lo expuesto en la ficha patológica se evaluó las cabezas de las vigas y viguetas, considerando que el plano de corte trasversal a la dirección de las fibras,

presenta mayor porosidad y capacidad de absorción de agua. La mayor retención de humedad facilita el desarrollo de los hongos de pudrición, por tal motivo la degradación de la pieza suele iniciarse o agravarse en las testas.



Imagen 3.17.- Cabeza de viga
Fuente: Propia

Como se puede observar la cabeza de la viga no presenta un nivel alto de deterioro y el contenido de humedad en la mayoría de las piezas evaluadas promedia el 12.7%, el porcentaje de contenido de humedad bajo se debe a que las piezas en la una cabeza de viga tiene una buena ventilación al no estar empotradas en los muros y además está protegida de la acción directa de la lluvia.

Las cabezas que están empotradas en los muros tienen un porcentaje del contenido de humedad ligeramente más alto promediado en un 13.2%, debido a que en las habitaciones donde inciden estos elementos no cuenta con una correcta ventilación, y en estos casos el nivel de deterioro por carcoma es más evidente, tal como se aprecia en la siguiente fotografía.



Imagen 3.18.- Viga con mayor humedad y presencia de carcoma
Fuente: Propia

En otra de las viviendas visitadas, la cual está en un proceso de restauración y adaptación a nuevo uso, se pudo observar que el nivel de daño en las cabezas de las vigas es mucho mayor, en este nuevo caso en particular se debe a que la estructura de cubierta de la vivienda había fracasado en su totalidad, dejando expuestos los muros a la acción de la lluvia, generando así un nivel alto de deterioro tal como se indica en la imagen a continuación.



Imagen 3.19.- Pudrición en cabeza de viga.
Fuente: Propia – Casa del arco

En este caso se puede observar una combinación de lesiones, que a continuación se detallan:

- Hongos de pudrición.
- Mohos.
- Carcoma.

Todas estas lesiones son consecuencia del alto contenido de humedad, y como características principales es la disminución de las propiedades mecánicas en las zonas afectadas, alteraciones morfológicas, cambio de coloración en la madera, pérdida de material.

Las causas para este procesos como se indicó anteriormente se debe al alto contenido de humedad (mayor al 20%), descomposición bioquímica de la madera producida por la pérdida de lignina en unos casos y celulosa en otros.

La pudrición de la pieza empieza por la capa exterior (capa blanda – albura) avanzando hacia toda la sección dependiendo de las condiciones ambientales a las que esté expuesta.

FICHA DE DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO						
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN				UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Nro. 5/6
						
REFERENCIACIÓN						
ZONA:	Entrepiso	ELEMENTO:	Viguetas	SECCION:	12x10	
DIAGNÓSTICO						
LESIÓN			ORIGEN			
FÍSICA	Suciedad - Humedad de filtración		El origen del ataque de anóbidos suele presentarse el elementos con un contenido de humedad algo elevado. Tambien suele presentarse en maderas que no han sido secadas correctamente			
QUÍMICA	-----					
MECÁNICA	Fendas por secado					
BIÓTICAS	Presencia de carcoma - 45% aprox.					
ABIÓTICAS	-----					
IMPORTANCIA			EFECTOS SECUNDARIOS			
BAJA	MEDIA	ALTA	Es frecuente que el ataque de carcoma esté ligado a pudriciones previas, ya que la acción del hongo facilita la digestión de la madera.			
Su importancia es baja ya que la madera no presenta lesiones de mayor interes.						
FOTOGRAFÍA			CONTENIDO PROMEDIO DE HUMEDAD			
			11.30%			
						
			DATOS AMBIENTALES			
Humedad relativa		Temperatura				
61%		14°C				

3.4.2.6 EVALUACIÓN DE DAÑOS EN CUBIERTA

En las cubiertas, las diferentes lesiones acaban deteriorando el material de cobertura y provocando humedades de filtración, que es la lesión más frecuente y, a su vez, una de las causas de otras lesiones como pudriciones, o la presencia de animales (aves), microorganismos y vegetación.

Además en las cubiertas por ser el elemento donde más incide el agua, es fácil la presencia continuada de humedad en períodos de lluvias, lo que facilita el desarrollo de organismos y de vegetación especialmente si el mantenimiento de la cubierta es deficiente.

En la siguiente imagen se puede observar que debido a la existencia previa de grietas y humedades los elementos de revestimiento están desprendidos considerando que el material ligante es una capa de barro, el cual ha perdido toda capacidad adherente con el pasar del tiempo.



Imagen 3.20.- Elementos de cobertura sueltos.
Fuente: Propia

Como consecuencia de los daños en la cubierta, la afección y lesiones a otros elementos es consecuente de lo primero, tal como se observa en la imagen a continuación se puede indicar que el elemento estructural ha flejado.



Imagen 3.21.- Deformación en elemento estructural.
Fuente: Propia

La parte más afectada como consecuencia de las lesiones de cubierta es el cielo raso, además que en este caso en particular hay dos tipos de terminado, el uno con un sistema de madera conocido como tabla y tapajunta, y el otro es un sistema mucho mas antiguo que consiste en una primera capa de carrizo con un revoque de barro.

En el segundo tipo de terminado es mas notorio el daño ya que la absorcion de agua del barro es mucho mayor que de la madera y por ello al no poder evaporarse el agua con rapidez genera que el peso aumente provocando deformaciones y posteriormente el proceso de pudrición del carrizo y de las fibras vegetales usadas para el amarre.



Imagen 3.22.- Tabla y tapajunta. – daños por humedad
Fuente: Propia



Imagen 3.23.- Carrizo con revoque de barro – daños por humedad.
Fuente: Propia

En la siguiente ficha patológica se ha registrado de manera resumida las lesiones antes expuestas, siendo importante aclarar que el ingreso a la cubierta fue muy restrictivo debido a la inestabilidad de su estructura.

FICHA DE DIAGNÓSTICO PATOLÓGICO					
 ESQUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIERÍA DE EDIFICACIÓN				UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	
				Nro.	
				6/6	
REFERENCIACIÓN					
ZONA:	Cubierta	ELEMENTO:	General	SECCION:	Varios
DIAGNÓSTICO					
LESIÓN			ORIGEN		
FÍSICA	Humedad de filtración		La falta de mantenimiento y la vida util de los elementos ligantes (barro)		
QUÍMICA	-----				
MECÁNICA	Deformaciones (flecha)				
BIÓTICAS	Vegetal, carcoma, excremento				
ABIÓTICAS	-----				
IMPORTANCIA			EFECTOS SECUNDARIOS		
BAJA	MEDIA	ALTA	Al estar en pésimo estado la cubierta, el ingreso de agua lluvia afecta seriamente los muros y los elementos estructurales, poniendo así en riesgo la estabilidad del inmueble		
Se considera alta debido a que el estado de conservación es muy crítico tomando en cuenta las lesiones en muros por agua de infiltración y el deterioro de los elementos estructurales internos					
FOTOGRAFÍA			LESIONES INTERNAS POR CUBIERTA		
			Cielo raso y muros		
					
			DATOS AMBIENTALES		
			Humedad relativa		Temperatura
61%		14°C			

3.4.3 RESUMEN DE PATOLOGIAS MAS COMUNES

Luego de evaluar un caso real, y de comparar con documentación existente de casos similares, realizado por diferentes autores en viviendas con características semejantes, se ha procedido a realizar una recopilación de las lesiones mas comunes que suelen encontrarse en las construcciones tradicionales de la ciudad, esto con la finalidad de generar un pequeño muestreo que sirva para definir los procesos mas adecuados de diagnóstico e intervención.

A continuación se resume en forma de tablas, tanto los procesos patológicos, causas y síntomas, como los datos constructivos que es recomendable obtener además de los ensayos que se podrían realizar para un correcto diagnóstico de cada una de las lesiones indicadas.

Para establecer las tablas antes indicadas se ha optado por manejar el formato utilizado en la norma UNE 41805 en sus diferentes capítulos, y para una mejor clasificación se ha considerado tres elementos estructurales:

- Muros de carga (adobe).
- Estructura de madera horizontal y vertical.

3.4.3.1 MUROS DE CARGA

En los procesos patológicos que ocurren en muros de carga o fábricas la Norma UNE 41805-5 ha clasificado en dos apartados y de los cuales se ha citado los que corresponden al caso en estudio:

- Lesiones de la propia estructura.
 - Movimiento y deformación en muros.
 - Grietas en muros.
 - Humedades.

DEFORMACIONES EN MUROS				
LESION	SINTOMAS	LOCALIZACIÓN	CAUSA	TOMA DE DATOS
Desplome	Inclinación del muro.	Cualquier tipo y parte del muro.	-Fallo o insuficiencia de la cimentación. -Empujes laterales excesivos. -Falta de traba.	-Estudio geotécnico. -Determinación del nivel freático. -Modificaciones en la estructura. -Análisis de elementos de arriostramiento. -Medición del desplome.
Abombamiento	Formación de curvatura en una o las dos caras del muro, en horizontal o vertical.	En los muros entre los elementos de la estructura horizontal.	-Inexistencia o insuficiencia en el arriostramiento. -Insuficiente resistencia a flexión. -Pandeo por excesiva esbeltez.	-Datos relativos al muros: anchura, altura, esbeltez. -Posibles focos de humedad. -Traba entre las capas y materiales. -Comprobar el estado de la estructura de atirantado.
Alabeo	Alabeo en muros.	Generalmente parte de la zona superior, de remate del muro.	-Empujes verticales. -Deformaciones del muro fuera de su plano.	-Material soporte y características resistentes. -Acciones que deben soportar los elementos resistentes. -Medición de flechas.

GRIETAS EN MUROS				
LESION	SINTOMAS	LOCALIZACIÓN	CAUSA	TOMA DE DATOS
Grietas en muros	Grietas verticales	En la coronación y encuentro entre dos muros.	Desplome de uno de los muros.	-Mapa de grietas.
		En el muro.	Pandeo de una zona del muro. En general se producen cerca de los huecos.	-Instrumentación y seguimiento. -Medición del desplome. -Comprobación del pandeo del muro.
		Próximas a un borde libre del paramento.	Dilatación o contracción por calor, o expansión o retracción por humedad, que provoca tracciones que la fábrica no es capaz de soportar.	-Humedad en el muro. -Expansión por humedad y dilatación por temperatura.
	Grietas horizontales	Zonas entre la estructura horizontal.	Abombamiento del muro.	-Mapa de grietas. -Instrumentación y seguimiento. -Resistencia de los materiales.
	Grietas inclinadas	-En la zona de arranque del muro. -Partiendo de esquinas de huecos o ventanas.	-Asientos diferenciales. -Deformaciones de la estructura.	-Mapa de grietas. -Instrumentación y seguimiento. -Analizar si ha descendido la cimentación. -Estudio geotécnico. -Existencia de redes de agua o saneamiento. -Nivel freático.
	Grietas en arco de descarga	Zona de muro sobre la cimentación o sobre huecos o apoyados sobre estructuras horizontales.	-Asientos diferenciales. -Flechas en los elementos sustentantes.	-Mapa de grietas. -Instrumentación y seguimiento. -Estudio geotécnico. -Determinación del nivel freático. -Existencia de redes de agua o saneamiento. -Deformación de vigas o fallos en elementos sustentantes inferiores.

HUMEDAD				
LESION	SINTOMAS	LOCALIZACIÓN	CAUSA	TOMA DE DATOS
Humedad capilar	-Manchas. -Disgregación. -Desprendimientos. -Eflorescencias.	Arranque de fábricas.	-Ascenso de agua por succión capilar. -Agua procedente del terreno o saneamiento. -Influencia de la estructura porosa del material.	-Coeficiente de absorción de los materiales. -Contenido de sales higroscópicas en los materiales y acabados exteriores. -Determinación del nivel freático.
Humedad de filtración	-Manchas. -Disgregación. -Desprendimientos. -Eflorescencias. -Mohos, líquenes y musgos.	- Paramentos - Cubiertas. - Huecos de ventanas: vierteaguas, jambas, dintel.	- Filtración: absorción de agua or gravedad o por la presión del viento y succión capilar. - El agua procede de la lluvia. - En la filtración influye: la estructura porosa, las juntas constructivas, y las grietas y fisuras.	- Coeficiente de absorción de vapor de agua de los materiales (higroscopicidad), - Contenido en sales higroscópicas. - Características de la lluvia: intensidad y frecuencia. - Sistemas de estanqueidad de la cubierta: tejados, soporte de la cobertura.
Humedad de condensación	-Manchas. -Desprendimientos. -Eflorescencias. -Mohos.	Cara exterior: en zonas con eflorescencias. Cara interior: en zonas de puente térmico.	Absorción de vapor de agua y condensación en la estructura porosa del material La humedad procede del ambiente interior debido a presión de vapor elevada, ventilación escasa.	- Coeficiente de absorción de vapor de agua de los materiales (higroscopicidad), - Contenido en sales higroscópicas. - Contenido en humedad en el ambiente: registro mediante sensores termohigrométricos. - Imágenes termográficas de la zona.
Humedad accidental.	-Manchas. -Disgregación. -Desprendimientos. -Eflorescencias.	Tuberías a presión: manchas en nube. Bajantes de cubierta y desagües: manchas lineales.	Rotura de tuberías en zonas húmedas. Rotura de tuberías y mal funcionamiento de canalones en cubiertas.	- Coeficiente de absorción de los materiales. - Adecuación y estado de los sistemas de evacuación de la humedad.

3.4.3.2 ESTRUCTURA DE MADERA HORIZONTAL Y VERTICAL.

En los procesos patológicos que ocurren en elementos de madera la Norma UNE 41805-8 ha clasificado en tres apartados, de los cuales se ha citado los que mayor relevancia presentan para la estructura y los que corresponden al caso en estudio:

- Procesos físicos.
 - Ataque biótico.
- Procesos mecánicos. Patología de origen estructural.
 - Deformaciones.
 - Roturas.
 - Capacidad mecánica residual insuficiente.
- Lesiones en las uniones.
 - Lesiones mecánicas.
 - Lesiones por degradación del material.

PROCESOS FÍSICOS

ATAQUE BIÓTICO				
LESION	SINTOMAS	LOCALIZACIÓN	CAUSA	TOMA DE DATOS
Hongos de pudrición: Afecta las propiedades mecánicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Cambio de coloración. - Alteraciones morfológicas. - Pérdida de material. - Pérdida de resistencia en las zonas afectadas. 	<p>En zonas próximas a focos de humedad como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Arranques de pies derechos. - Cabezas de vigas y viguetas. - Cuartos húmedos. - Cubiertas. - Instalación de suministro y evacuación de aguas. <p>Es un daño localizado en que la humedad de la madera supera el 22%. Estos ataques no se extienden.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Se producen en condiciones de humedad mayor al 22% y con poca presencia de oxígeno. - Descomposición bioquímica (pudrición) de la madera producida por la pérdida de lignina y/o celulosa. - La pudrición comienza por la capa exterior y avanza hacia toda la sección dependiendo de las condiciones ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Localización visual. - Evaluación del alcance de la lesión (extensión e intensidad). - Existencia de focos de humedad próximos. - Condiciones higrotérmicas. - Evaluación de la capacidad mecánica residual por técnicas convenciales o END.
Insectos de ciclo larvario: Anóbidos (carcoma).	<ul style="list-style-type: none"> - Orificios de salida de forma circular, de 1.5 a 2mm de diámetro. - Larva: Hasta 5mm de longitud. - Insecto: adulto de 3mm a 5mm de longitud. - Es frecuente que el ataque esté ligado a pudriciones previas, ya que la acción del hongo facilita la digestión de la madera para el anóbido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Por lo general, el ataque afecta a la albura, y preferentemente con cierto grado de humedad. - En piezas estructurales aparecen con frecuencia en los apoyos con pudrición previa, y se extienden aproximadamente hasta un metro de distancia del apoyo. - Suele extenderse a zonas del edificio donde el contenido de humedad es elevado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Los daños originados no suelen ser de mucha gravedad para la estructura, debido a que las galerías son de pequeño diámetro (2mm a 4mm). - Si existe pudrición asociada, la acción puede extenderse también al duramen. 	<ul style="list-style-type: none"> - Localización visual. - Caracterización biológica. - Condiciones de humedad y temperatura. - Evaluación de la capacidad mecánica residual por técnicas convenciales o END. - Evaluación de la profundidad del ataque mediante punzón.

PROCESOS MECÁNICOS. PATOLOGÍA DE ORIGEN ESTRUCTURAL.

DEFORMACIONES				
LESION	SINTOMAS	LOCALIZACIÓN	CAUSA	TOMA DE DATOS
Descensos	<ul style="list-style-type: none"> - Grietas y fisuras en cerramientos colindantes. - Desniveles en estructura horizontal. - Desplome en estructura vertical. - Humedades de capilaridad en las partes bajas de la edificación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Partes bajas de los muros. - Partes bajas de los pies derechos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Asiento de la cimentación. - Erosión de los elementos de madera. - Pudrición del arranque del pie derecho. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobar el estado de las partes bajas de la edificación mediante calas. - Detección de movilidad de las lesiones. - Evaluar las condiciones de estabilidad y equilibrio. - Comprobar la reordenación de cargas en los elementos colindantes para comprobar su resistencia actual.
Desplomes	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de la verticalidad - Grietas en las obras de fábrica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Superficies verticales. - Elementos lineales verticales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Asientos previos. - Erosiones de los elementos de madera. - Pérdida de cohesión de atado entre piezas. - Fallo en anclajes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alcance y causa de la erosión de la madera. - Comprobación de las condiciones de estabilidad. - Equilibrio de fuerzas. - Estado de las uniones.
Alabeos y pandeos	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdida de la verticalidad - Grietas en tabiques y muros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Elementos verticales (pies derechos). - Elementos superficiales verticales (muros). 	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de dimensionado. - Aumento de cargas. - Erosión de la madera. - Dimensionado insuficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alcance y causa de la erosión de la madera. - Comprobación de las condiciones de estabilidad. - Equilibrio de fuerzas.
Flechas y desniveles	<ul style="list-style-type: none"> - Deformación de solados, con desnivel en los mismos. - Deformación de las piezas de madera, verticalmente o lateralmente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pares y correas de cubierta. - Forjados. - Elementos lineales horizontales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Dimensionado insuficiente. - Aumento de la sobrecarga. - Aumento de cargas permanentes. - Fluencia de la estructura y cambios higrotérmicos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evaluación de la deformación. - Control de la movilidad. - Comprobación de la rigidez residual de la estructura. - Comprobación de la resistencia residual de la estructura. - Comprobación de los niveles de temperatura y humedad relativa del ambiente.

ROTURAS				
LESION	SINTOMAS	LOCALIZACIÓN	CAUSA	TOMA DE DATOS
Grietas	<ul style="list-style-type: none"> - Se manifiesta a través de grietas y fisuras en elementos regulares. - En muchos casos la rotura inicial de la madera se materializa en micro roturas de la fibra en la zona de tracción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Generalmente en uniones empotradas y zonas de vano donde los esfuerzos de flexión son mayores. - En madera maciza pueden producirse grietas por desgarro (acción de los pernos en uniones). 	<ul style="list-style-type: none"> - Deformación excesiva de la pieza hasta su rotura por carga - Acciones mecánicas excesivas que llevan a los límites de capacidad de las piezas. - Entrada en carga de piezas tras la pérdida de la capacidad resistente gradual o no de las piezas colindantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las grietas pueden comenzar en fendas, pero no se deben confundir. - Comprobar el estado de los nudos si es visible pues en esas zonas se suelen acumular las tensiones y la grieta puede rodearlos. - Inspeccionar cerramientos y revestimientos de las zonas afectadas. - Comprobar la deformación y la movilidad.

CAPACIDAD MECÁNICA RESIDUAL INSUFICIENTE				
LESION	SINTOMAS	LOCALIZACIÓN	CAUSA	TOMA DE DATOS
Sección insuficiente	<ul style="list-style-type: none"> - Deformación excesiva (flecha) de la pieza de madera. - Grietas. - Arcos de descarga característicos en los tabiques y particiones colocados por encima. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fundamentalmente en vigas (elementos horizontales, forjados) - En estructuras de cubierta. - En pilares y soportes exentos. 	<ul style="list-style-type: none"> - Deficiente dimensionado de la pieza para las cargas actuantes, o como consecuencia de un aumento de las mismas respecto de las condiciones iniciales de la estructura. - Deformación excesiva, incluso hasta su rotura por exceso de carga. - Los fallos suelen manifestarse poco después de la construcción, tras las primeras cargas debidas al uso. - Ataque de organismos que reducen la sección de la pieza 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobar la capacidad mecánica residual de la sección. - Empleo de técnicas no destructivas para evaluar la existencia de agentes degradantes de la madera.

LESIONES EN LAS UNIONES

LESIONES EN LAS UNIONES				
LESION	SINTOMAS	LOCALIZACIÓN	CAUSA	TOMA DE DATOS
Aplastamientos	Pérdida de la geometría de la estructura, descuadras, etc.	Uniones localizadas en puntos críticos de concentración de cargas.	<ul style="list-style-type: none"> - Pudrición, ataque biótico, efectos del agua. - Superación de la capacidad mecánica de la madera según su colocación y la dirección de las tensiones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobación de la estabilidad de las piezas unidas, posibles flechas, influencia en elementos contiguos como muros. Grietas a 60° por cargas puntuales. - Detección del tipo de aplastamiento con relación a la dirección de la fibra.
Desplazamientos	<ul style="list-style-type: none"> - Holgura y desajustes en las uniones. - Deformación añadida de la estructura (elementos lineales colindantes con las uniones) 	<ul style="list-style-type: none"> - En las uniones. - En los elementos lineales colindantes con las uniones. 	Holguras o desajustes importantes en las uniones, normalmente por degradaciones puntuales de la zona de unión, como pudriciones o aplastamiento en la zona de ensamble.	<ul style="list-style-type: none"> - Comprobación de la estabilidad de las piezas unidas. - Comprobación de las uniones si tiene elementos metálicos, deformaciones y corrosión.
Roturas en las zonas de ensamble de las piezas	Aparición de grietas en las piezas, micro roturas de las fibras y roturas de paquetes completos de fibras en las zonas de superación de capacidad de la madera.	<ul style="list-style-type: none"> - En las uniones de carpintería. - En las zonas de los cogotes de los tirantes, o las superficies de cizalladura en los empalmes de rayo de Júpiter, pueden producirse roturas por cortante. 	Falta de dimensionamiento adecuado de los ensambles. Deficiente colocación de la madera respecto a su funcionamiento tensional respecto a la dirección de las fibras.	Comprobación de la estabilidad de las piezas unidas, posibles flechas, influencia en elementos contiguos como tabiques o muros.

4.EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL INMUEBLE

4.1 INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las intervenciones que se realizan en las construcciones tradicionales se empieza con plantear el cambio de uso, siendo lo más común la adaptación para hoteles y/u oficinas.

Muchas de las intervenciones realizadas no han partido de una valoración de la capacidad resistente de la estructura, siendo el primer planteamiento la construcción de un nuevo sistema estructural adosado a la edificación, el cual es incompatible con el sistema tradicional debido a los materiales empleados, si bien es cierto esta solución en muchos de los casos es muy favorable, pero también encarece considerablemente los trabajos a realizarse, y peor aun dejando obsoleto un sistema estructural existente que con una adecuada valoración y reforzamiento podría seguir en servicio dependiendo las condiciones de uso.

Es por ello que en este capítulo se ha realizado la valoración del sistema estructural de la vivienda indicada en el capítulo anterior, por lo que luego del análisis patológico se ha procedido a evaluar las vigas de entrepiso con las condiciones actuales de carga, para luego hacer una comparativa con la evaluación de nuevas cargas considerando un nuevo uso.

4.2 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS Y ELEMENTOS A EVALUAR

Luego de la evaluación preliminar y toma de datos se han identificado dos zonas que presentan características diferentes debido a la sección de los elementos horizontales y las longitudes de los mismos.

El criterio usado para definir las diferentes zonas a más de lo antes indicado se ha considerado las posibles áreas de mayor carga en base al cambio de uso, esto sería las zonas destinadas a habitaciones o en su defecto a oficinas, dejando libre el área correspondiente a pasillos.

Al tratarse de algo tan subjetivo lo que se pretende demostrar es la capacidad resistente real de la estructura existente, y en caso de requerirse, realizar el planteamiento de refuerzos por las cargas aplicadas debido al nuevo uso.

El diagrama definido es el siguiente:



Imagen 4.1.- Identificación de zonas a evaluar.

Fuente: Propia

- Zona A

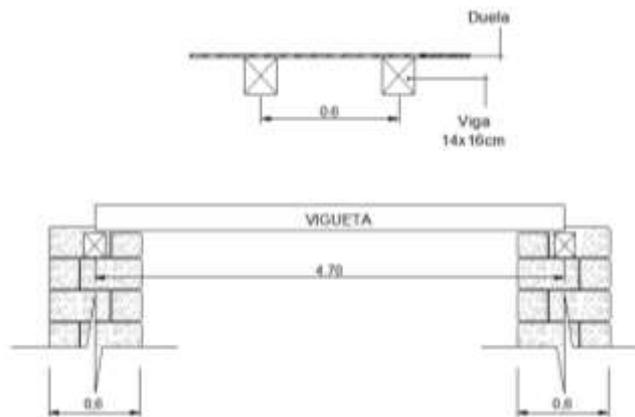


Imagen 4.2.- Detalle vigueta. Zona A.

Fuente: Propia

- Zona B

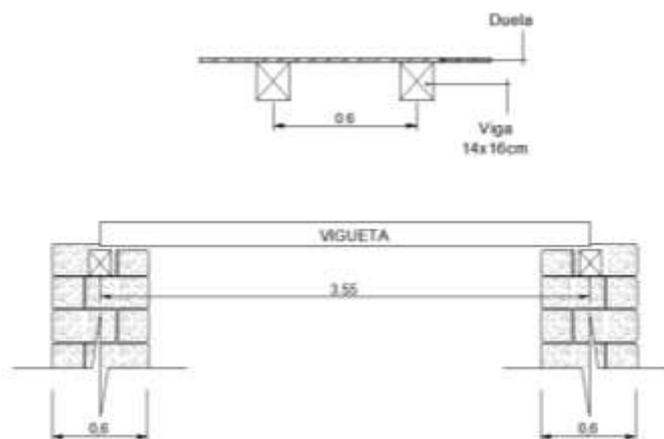


Imagen 4.3.- Detalle vigueta. Zona B.

Fuente: Propia

4.3 DETERMINACION DE LAS ACCIONES.

Para la determinación de las acciones actuantes en cada uno de las dos zonas se ha definido de la siguiente manera:

4.3.1 ACCIONES PERMANENTES

Para definir las acciones permanentes (peso propio) que según el Documento Básico SE-AE determina que el peso propio a tener en cuenta es el de los elementos estructurales, los cerramientos y elementos separadores, la tabiquería, todo tipo de

carpinterías, revestimientos (como pavimentos, guarnecidos, enlucidos, falsos techos), rellenos (como los de tierra) y equipo fijo.

En el mismo documento se indica también que el valor característico del peso propio de los elementos constructivos, se determinará, en general, como su valor medio obtenido de las dimensiones nominales y de los pesos específicos medios.

Según la información levantada de las características del forjado, los datos indicados para el efecto en el capítulo II son los siguientes:

- Para evaluación de la situación actual

FORJADOS DE ENTREPISO				
TIPO	ELEMENTO	VOLUMEN POR M2	PESO ESPECIFICO	TOTAL CARGA
			KN/m3	KN/m2
Sin atirantado	Viga 14x16cm	0.045	7.82	0.35
	Duela e=1.5cm	0.015		0.12
			TOTAL	0.47

Tabla 4.1.- Cargas permanentes en forjados. Zona A.

Fuente: Propia

FORJADOS DE ENTREPISO				
TIPO	ELEMENTO	VOLUMEN POR M2	PESO ESPECIFICO	TOTAL CARGA
			KN/m3	KN/m2
Sin atirantado	Viga 10x12cm	0.012	7.82	0.09
	Duela e=1.5cm	0.015		0.12
			TOTAL	0.21

Tabla 4.1.- Cargas permanentes en forjados. Zona B.

Fuente: Propia

4.3.2 ACCIONES VARIABLES.

Según el mismo documento antes indicado DB SE-AE determina como acciones variables la sobrecarga de uso que es el peso de todo lo que puede gravitar sobre el edificio por razón de uso.

Para la determinación de los valores de sobrecarga de uso se han optado por los indicados en la Tabla 3.1 del documento antes mencionado. Dichos valores incluyen tanto los efectos derivados del uso normal, personas, mobiliario, enseres, mercancías habituales, así como las derivadas de la utilización poco habitual, como acumulación de personas, o de mobiliario.

Tabla 3.1. Valores característicos de las sobrecargas de uso

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles, salas de exposición en museos, etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁶⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 4.2.- Valores característicos de las sobrecargas de uso. Tabla 3.1

Fuente: Documento Básico SE-AE.

Según la tabla antes indicada los valores considerados para la evaluación de la estructura son los siguientes:

- Para evaluación de la situación actual

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2

- Para evaluación por cambio de uso (hotel)

C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles, salas de exposición en museos, etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4

A pesar que para el caso de un hotel se recomienda el uso de 5KN/m² exceptuando las superficies indicadas en la categoría A, se podría optar por una carga de 3KN/m² como previsión de un posible aumento en las cargas por consecuencia de una variación en lo planificado.

Cabe indicar que con una carga de 2KN/m² como le recomienda para las zonas de habitaciones, se podría justificar también en el supuesto caso de que se plantee un uso como zonas administrativas.

En la evaluación realizada no se ha considerado las acciones de viento, térmicas, nieve (no hay en la zona), ni acciones de orden accidental como sismo, incendio e impacto. Estas acciones no dejan de ser importantes y en una evaluación completa se debería poner mayor énfasis en las acciones de tipo sísmica considerando la ubicación geográfica del Ecuador que es de alto riesgo (cinturón de fuego del Pacífico).

4.3.3 COEFICIENTES PARCIALES DE SEGURIDAD

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 4.3.- Coeficientes parciales de seguridad para las acciones. Tabla 4.1

Fuente: Documento Básico SE

Debido a que las viguetas presentaban ataque de carcoma, se planteó de manera inicial la reducción de su sección en 5mm por lado como medida de seguridad. A pesar que las viguetas presentan esta patología, el ataque de carcoma no representa una pérdida considerable en su capacidad resistente, pero con la utilización de estos coeficientes se ha buscado dar un cierto grado de seguridad por lo que se ha optado por mantener la sección original.

4.4 EVALUACIÓN ESTRUCTURAL.

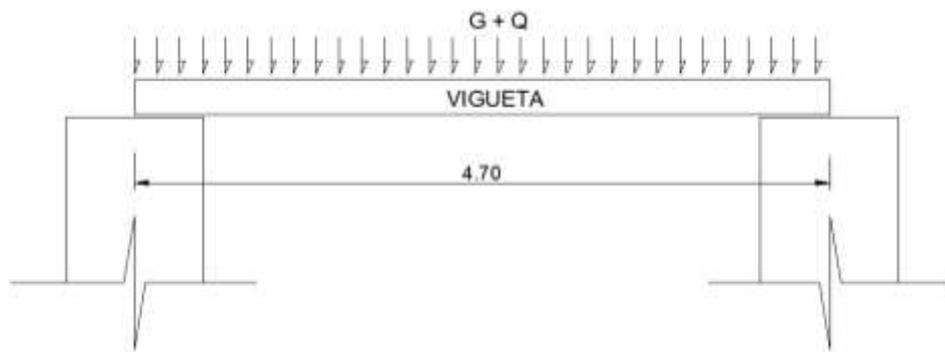
Para la evaluación de la estructura se han realizado otras consideraciones como la adaptación de las propiedades resistentes de la madera aserrada de eucalipto al formato establecido en el Documento Básico SE-M. Según los datos obtenidos e indicados en el capítulo II, la resistencia característica a flexión promedio del eucalipto es:

$$f_{m,k}=28 \text{ N/mm}^2$$

Y la clase de servicio asignada en función de las condiciones ambientales es la C1, que indica lo siguiente:

Clase de servicio 1: Se caracteriza por un contenido de humedad en la madera correspondiente a una temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ y una humedad relativa del aire que sólo exceda el 65% unas pocas semanas al año.

4.4.1 EVALUACIÓN DE LA VIGUETA ZONA A (CONDICIÓN ACTUAL)



- Sección 14x16cm
- Longitud entre ejes: 0.60m
- Longitud vigueta: 4.70m
- Clase de servicio: C1
- Clase resistente E28

Cargas

	KN/m ²	KN/m
Forjado	-	-
Solado	0.47	0.30
Tabiquería	-	-
Uso	2	1.2

Mayoración de cargas

$$Qd = 1.35(0.30) + 1.50(1.2)$$

$$Qd = 2.215 \text{ KN/m}$$

Momento de cálculo

$$Md = \frac{Q \times L^2}{8} = \frac{2.21 \times 4.70^2}{8}$$

$$Md = 6.10 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Inercia de la vigueta

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{14 \times 16^3}{12}$$

$$I = 4778.67 \text{ cm}^4$$

Módulo resistente

$$\omega = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{14 \times 16^2}{6}$$

$$\omega = 597.33 \text{ mm}^3$$

Tensión de trabajo

$$fd = \frac{Md}{W} = \frac{6.10 \times 10^6}{597.33 \times 10^3}$$

$$fd = 10.21 \text{ N/mm}^2$$

Para madera E28

$$K_{mod} = 0.6 \text{ (duracion de carga permanente)}$$

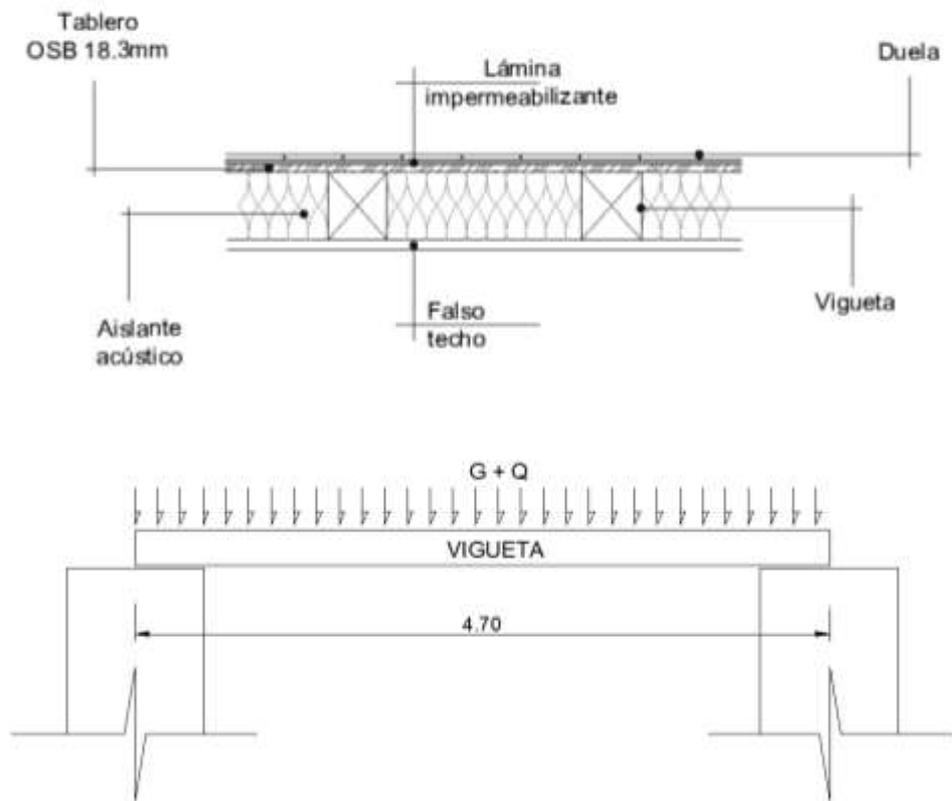
$$\gamma = 1.3 \text{ (Coeficiente de seguridad – madera maciza)}$$

$$fr = 0.6 \times \frac{28}{1.3} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

Si: $fd < fr \rightarrow$ si cumple

$$10.21 < 12.92 \rightarrow \text{si cumple}$$

4.4.2 EVALUACIÓN DE LA VIGUETA ZONA A (NUEVO USO)



Cargas

	KN/m ²	KN/m
Forjado	0.50	0.30
Solado	0.10	0.06
Tabiquería	1	0.60
Uso	2	1.2

- Sección 14x16cm
- Longitud entre ejes: 0.60m
- Longitud vigüeta: 4.70m
- Clase de servicio: C1
- Clase resistente E28

Mayoración de cargas

$$Q_d = 1.35(0.3 + 0.06 + 0.6) + 1.50(1.20)$$

$$Q_d = 3.09 \text{ KN/m}$$

Momento de cálculo

$$Md = \frac{Q \times L^2}{8} = \frac{3.09 \times 4.70^2}{8}$$

$$Md = 8.53 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Inercia de la vigueta

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{14 \times 16^3}{12}$$

$$I = 4778.67 \text{ cm}^4$$

Módulo resistente

$$\omega = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{14 \times 16^2}{6}$$

$$\omega = 597.33 \text{ mm}^3$$

Tensión de trabajo

$$fd = \frac{Md}{W} = \frac{8.53 \times 10^6}{597.33 \times 10^3}$$

$$fd = 14.28 \text{ N/mm}^2$$

Para madera E28

$K_{mod} = 0.6$ (duración de carga permanente)

$\gamma = 1.3$ (Coeficiente de seguridad – madera maciza)

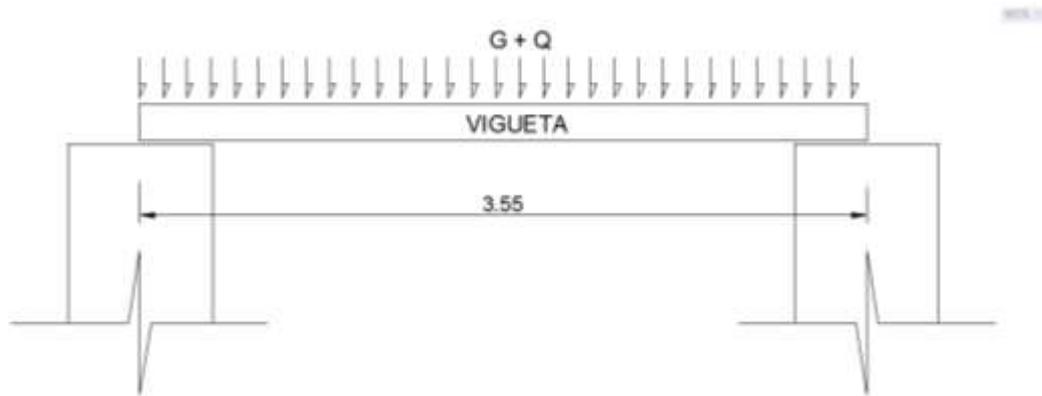
$$fr = 0.6 \times \frac{28}{1.3} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

Si: $fd < fr \rightarrow$ si cumple

$14.28 > 12.92 \rightarrow$ NO cumple

Se debe plantear refuerzo

4.4.3 EVALUACIÓN DE LA VIGUETA ZONA B (CONDICIÓN ACTUAL)



- Sección 12x10cm
- Longitud entre ejes 0.60m
- Longitud vigueta 3.55m
- Clase de servicio: C1
- Clase resistente E28

Cargas

	KN/m ²	KN/m
Forjado	-	-
Solado	0.47	0.30
Tabiquería	-	-
Uso	2	1.2

Mayoración de cargas

$$Qd = 1.35(0.30) + 1.50(1.2)$$

$$Qd = 2.21 \text{ KN/m}$$

Momento de cálculo

$$Md = \frac{Q \times L^2}{8} = \frac{2.21 \times 3.55^2}{8}$$

$$Md = 3.48 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Inercia de la vigueta

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{10 \times 12^3}{12}$$
$$I = 1440 \text{ cm}^4$$

Módulo resistente

$$\omega = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{10 \times 12^2}{6}$$
$$\omega = 240 \text{ mm}^3$$

Tensión de trabajo

$$fd = \frac{Md}{W} = \frac{3.48 \times 10^6}{240 \times 10^3}$$
$$fd = 14.5 \text{ N/mm}^2$$

Para madera E28

$$K_{mod} = 0.6 \text{ (duracion de carga permanente)}$$

$$\gamma = 1.3 \text{ (Coeficiente de seguridad – madera maciza)}$$

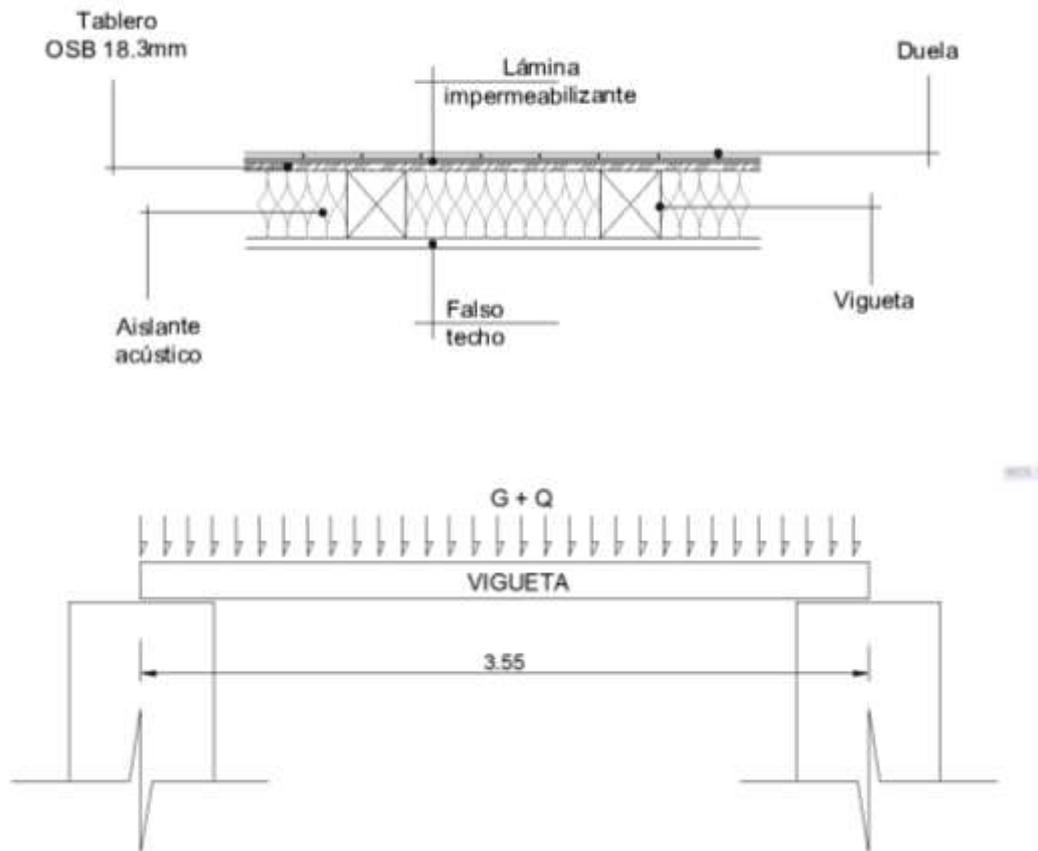
$$fr = 0.6 \times \frac{28}{1.3} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Si: } fd < fr \rightarrow \text{si cumple}$$

$$14.5 > 12.92 \rightarrow \text{NO cumple}$$

Luego de evaluar la vigueta en la condición actual los resultados indican que es necesario reforzar, pero es importante acotar que el estado de conservación y seguridad aparente de la zona evaluada está en buenas condiciones por lo que se puede deducir que la capacidad resistente de la madera es mayor a la usada o que en su defecto los coeficientes de seguridad podrían ser menores.

4.4.4 EVALUACIÓN DE LA VIGUETA ZONA B (NUEVO USO)



Cargas

	KN/m ²	KN/m
Forjado	0.50	0.30
Solado	0.10	0.06
Tabiquería	1	0.60
Uso	2	1.2

- Sección 12x10cm
- Longitud entre ejes 0.60m
- Longitud vigueta 3.55m
- Clase de servicio: C1
- Clase resistente E28

Mayoración de cargas

$$Qd = 1.35(0.30 + 0.06 + 0.6) + 1.50(1.2)$$

$$Qd = 3.09 \text{ KN/m}$$

Momento de cálculo

$$Md = \frac{Q \times L^2}{8} = \frac{3.09 \times 3.55^2}{8}$$

$$Md = 4.86 \text{ KN} \cdot \text{m}$$

Inercia de la vigueta

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{10 \times 12^3}{12}$$

$$I = 1440 \text{ cm}^4$$

Módulo resistente

$$\omega = \frac{b \times h^2}{6} = \frac{10 \times 12^2}{6}$$

$$\omega = 240 \text{ mm}^3$$

Tensión de trabajo

$$fd = \frac{Md}{W} = \frac{4.86 \times 10^6}{240 \times 10^3}$$

$$fd = 20.25 \text{ N/mm}^2$$

Para madera E28

$K_{mod} = 0.6$ (duración de carga permanente)

$\gamma = 1.3$ (Coeficiente de seguridad – madera maciza)

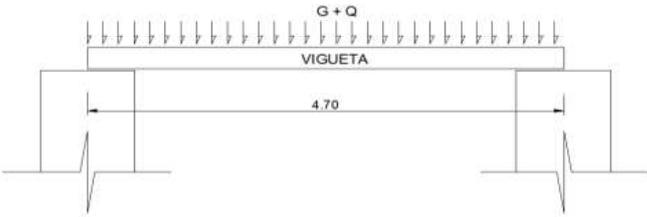
$$fr = 0.6 \times \frac{28}{1.3} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

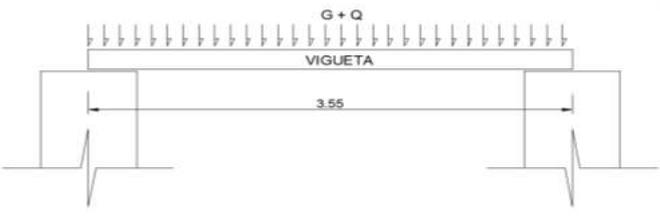
Si: $fd < fr \rightarrow$ si cumple

$20.25 > 12.92 \rightarrow$ NO cumple

Se debe plantear refuerzo

4.5 RESUMEN DE EVALUACIONES

ZONA A		
		
Tensión de trabajo		
Admisible	Condic. actual	Nuevo uso
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
12.92	10.21	14.28

ZONA B		
		
Tensión de trabajo		
Admisible	Condic. actual	Nuevo uso
N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
12.92	14.5	20.25

5 PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DE LA CAPACIDAD MECÁNICA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

5.1 INTRODUCCIÓN

Como resultado de la evaluación estructural surgen los primeros criterios sobre las medidas a adoptar para recuperar la seguridad y estabilidad de la construcción.

Normalmente el tipo de problemas de orden estructural está relacionado con las exigencias de la normativa actual de cálculo que requiere cargas de uso elevadas y que estén ligadas a la seguridad, estas cargas nuevas normalmente son a causa del cambio de uso.

A partir de los resultados producto del análisis, se deberá escoger la mejor opción que puede ser la sustitución de las piezas cuyo estado sea irrecuperable, o el planteamiento más idóneo con el cual se pueda solventar el aumento de la capacidad de carga.

Dentro de las posibles soluciones técnicas se puede implementar el uso de materiales como madera, acero, hormigón y sistemas epoxi, sea la técnica que se utilice se deberá respetar los diferentes métodos de cálculo y las propiedades mecánicas de cada material.

Para este capítulo y considerando las características del inmueble en estudio se han planteado para las viguetas un reforzamiento con elementos de acero, que si bien estéticamente no son un aporte, el sistema de trabajo lo hace efectivo y rápido al momento de la intervención.

5.2 REFORZAMIENTO EN ELEMENTOS A FLEXIÓN

El problema principal que presentan las piezas que trabajan a flexión, como es el caso de los forjados está relacionado con la degradación biótica de los apoyos, sin embargo, hay ocasiones en las que el problema tiene que ver en toda la longitud de la pieza.

Por lo general esta situación está relacionada con una sección insuficiente para soportar las nuevas cargas bajo una tensión o deformación admisible.

A veces, el problema se presenta como consecuencia de un ataque biótico en el vano de la pieza, o existen roturas debidas a defectos de la madera de una importancia excesiva en una sección concreta.

Las actuaciones que a continuación se detallan están orientadas a un aumento o refuerzo de la capacidad portante del conjunto, tal como se indica en el libro de Francisco Arriaga "*Intervención en estructuras de madera.*"

5.2.1 SOLUCIONES CON APORTE DE MADERA

En forjados en los que su capacidad resistente no es suficiente, una de las primeras y más sencillas soluciones que no debe dejar de plantearse es la adición de nuevas piezas adosadas o intercaladas a las originales. Para su ejecución se recomienda que el apoyo de las viguetas se pueda realizar sobre otra pieza sin necesidad de hacer nuevos cajeados en el muro. En este caso los problemas que pueden presentarse se encuentran en las piezas originales ya que estas tienen una deformación remanente mientras que las nuevas son rectas.

Otra solución de ejecución relativamente sencilla es la colocación de vigas que dividan la luz del forjado en dos o más vanos. El resultado de este proceso genera un aumento del canto en algunas zonas del forjado que pueden ser ocultadas con el falso techo.

El problema que se presenta en este caso, es que, al no existir una regularidad en la dimensión de los elementos, la viga parteluz puede requerir el empleo de calzos y cuñas.

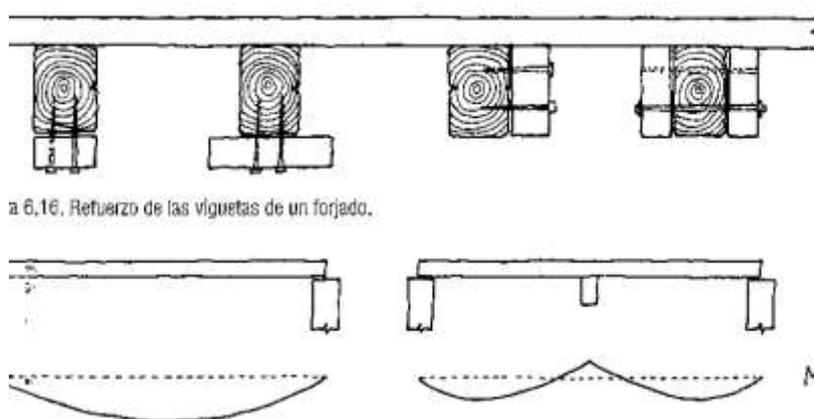


Imagen 5.1.- Soluciones con aporte de madera

Fuente: ARRIAGA FRANCISCO, (2002). *Intervención en estructuras de madera*. Madrid. AITIM

5.2.2 APLICACIÓN RESINAS EPOXI

Es frecuente encontrar el caso de forjados en los que alguna de sus viguetas ha sufrido una rotura en el vano. Generalmente, está relacionada con un defecto local, como un nudo, que tenga un tamaño demasiado grande. La consecuencia de un fallo en una de las viguetas es que cede y deja de soportar su carga correspondiente por lo que sobrecarga a las adyacentes. Para recuperar la continuidad pueden emplearse los sistemas que a continuación se indican:

- Consolidación con placas de refuerzo internas.
- Consolidación con barras de refuerzo.
- Refuerzo con barras inclinadas.
- Refuerzo con celosía interna.

- Reconstrucción de la parte superior de la sección de la viga mediante mortero epoxi.

5.2.3 SOLUCIONES DE SUSTITUCION CON HORMIGON

El empleo del hormigón en la consolidación o reparación de forjados de madera sólo tiene sentido en las soluciones mixtas, en las que colabora de forma solidaria con la madera, o como hormigón aligerado.

Una tendencia en la práctica de reforzar el forjado de madera con una capa gruesa de hormigón armado con un mallazo. La confianza en estas soluciones se basa en que las cargas se reparten transversalmente y en caso de que exista alguna pieza débil o dañada quedaría relevada por las contiguas. Sin embargo, el peso propio aumenta de manera desproporcionada para la ganancia que se obtiene, además del peligro que existe si no se ha comprobado realmente el estado de las piezas dañadas y de los apoyos.

5.2.4 SOLUCIONES MIXTAS DE MADERA Y TABLERO

De manera análoga al refuerzo de un forjado con una capa de hormigón puede plantearse el empleo como material de refuerzo una o dos capas de tableros derivados de la madera. Este procedimiento ha sido utilizado en la construcción con madera a través de los paneles de caras en tensión (viguetas de madera con dos paramentos de tablero) y en paneles con tableros en la cara superior, al menos en obra nueva. Sin embargo, no es muy empleado en el refuerzo de estructuras existentes, tal vez por las dificultades que entraña para conseguir una planitud adecuada para lograr una correcta conexión entre las viguetas y el tablero.

Además, los tableros derivados de la madera tienen un módulo de elasticidad por lo general inferior al de la madera maciza; el tablero de virutas orientadas (OSB) tiene un módulo de elasticidad variable entre 4930 y 6780 N/mm², dependiendo del espesor y el tipo de tablero.

Por tanto, la mejora de rigidez en el conjunto es menor que la que se obtiene con una capa de hormigón, aparte de la dificultad del encuentro cuando las vigas se encuentran deformadas y con superficies irregulares. No obstante, tienen la ventaja de conseguir soluciones con poco incremento de peso.

5.2.5 SOLUCIONES CON ACERO

El acero ha sido utilizado para la reparación de piezas a flexión con soluciones de diferente eficacia. Las de mejor eficacia son las que pretenden una reparación puntual de un fallo de las piezas. La solución resulta poco estética al quedar visto el acero y con inconveniente de limitar su estabilidad al fuego.

5.2.5.1 REFUEZO MEDIANTE PERFILES METÁLICOS

La utilización de perfiles metálicos y pletinas para la reparación de roturas de vigas es uno de los recursos más inmediatos que aparecen en la consolidación puntual de obras antiguas. Este proceso consiste en la recuperación de la continuidad de la viga mediante perfiles o pletinas adosadas que se unen a la madera mediante elementos de fijación mecánicos (pernos y tirafondos). El inconveniente que se presenta es que la entrada en carga del refuerzo exige cierta deformación de la unión, lo que conduce a una eficacia muy pobre del mismo; la sección gira y apenas admite carga.

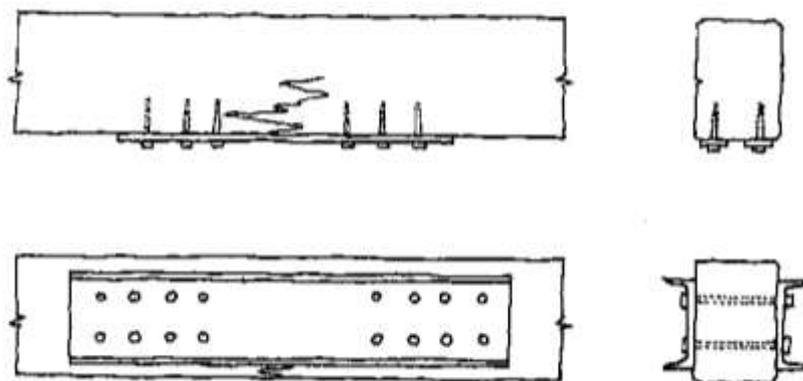


Imagen 5.2.- Reparación puntual de rotura mediante pletinas.

Fuente: ARRIAGA FRANCISCO, (2002). *Intervención en estructuras de madera*. Madrid. AITIM

5.2.5.2 RFUERZO CON ATIRANTADO METÁLICO Y ENANOS COMPRIMIDOS

La disposición de tirantes de acero en la parte inferior de la viga permite aumentar la inercia de la pieza, quedando el tirante traccionado y la viga comprimida. El tirante se apoya y se distancia de la viga a través de enanos metálicos que quedan comprimidos. Presenta el inconveniente de las dificultades de anclaje del tirante en los extremos de la pieza, que en algún caso exigen desmontar la viga.

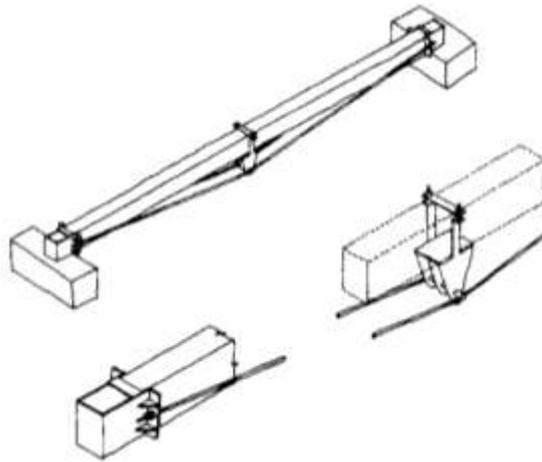


Imagen 5.3.- Refuerzo de viga mediante la disposición de un tirante inferior.
Fuente: ARRIAGA FRANCISCO, (2002). *Intervención en estructuras de madera*. Madrid. AITIM

5.2.5.3 SUSTITUCION ESTRUCTURAL DE LA MADERA CON PERFILES METÁLICOS

Uno de los sistemas de refuerzo de forjados consiste en la disposición de un perfil de tipo IPE que lleva otro perfil en U soldado al ala superior. EL hueco del perfil U se rellena parcialmente con mortero de cemento de alta resistencia. El apoyo en los muros extremos se realiza mediante una base metálica con anclajes mecánicos o químicos según las características del muro. Este herraje de apoyo permite un tensado o apriete para alcanzar la entrada en carga del refuerzo; el mortero rebosará del perfil.

Otras opciones emplean perfiles U o en V que abrazan por completo a la vigueta y tienen por tanto menor cuelgue. Los perfiles de refuerzo están fabricados con acero inoxidable para aumentar su durabilidad. El hormigón de relleno puede ser colaborante con el fin de reducir el canto. Los dispositivos de apoyo permiten, también, una precarga y se suelen emplear perfiles deslizantes para alcanzar la longitud exacta de la vigueta, evitando tener que fabricarlos a medida.

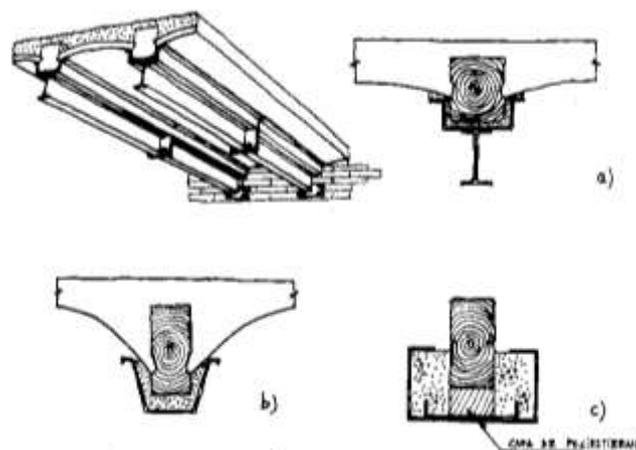


Imagen 5.3.- Perfiles metálicos para asumir la función de la vigueta de madera.
Fuente: ARRIAGA FRANCISCO, (2002). *Intervención en estructuras de madera*. Madrid. AITIM

5.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA UTILIZADO

El uso del acero para el reforzamiento estructural en piezas a flexión ha sido propuesto como alternativa al método común que generalmente consistía en la sustitución casi total de los elementos de madera o la implementación de una nueva estructura adosada a la construcción existente.

En este caso se pretende demostrar que con una pletina de acero colocada ya sea en la base o en la parte superior de la vigueta se consigue mejorar en gran porcentaje la capacidad de carga de los elementos.

El principio de trabajo es similar al que se conseguiría con la madera, pero con la ventaja de que el peralte de la viga no aumenta en gran medida debido a las características mecánicas del acero.

Al tratarse de un elemento metálico la reacción frente al fuego se convierte en un factor a considerarse por lo que en este mismo apartado se calculará la protección al mismo.

Para esta solución se parte de un pre dimensionamiento en función del espesor de la pletina, considerando que el ancho deberá ser el mismo que el de la vigueta a reforzar, para la fijación de esta unión se recomienda la nivelación de la cara donde va apoyada la pletina con la finalidad de que exista un área regular de contacto madera – acero. En caso que por las condiciones del elemento estructural no puedan ser trabajadas para su nivelación, los espacios entre la pletina y la vigueta podrán ser rellenados con calzas de madera o sistemas epoxi. Los elementos de fijación de igual manera deberán ser calculados considerando el cortante que se produce, con la obtención de ese valor se dispondrá la separación a lo largo del elemento.

A continuación se detalla mediante un esquema el sistema aplicado para el reforzamiento.

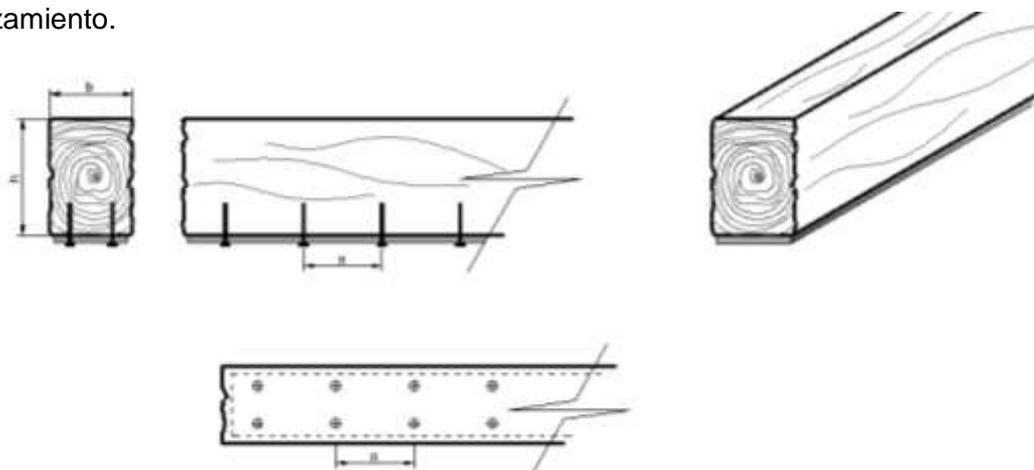
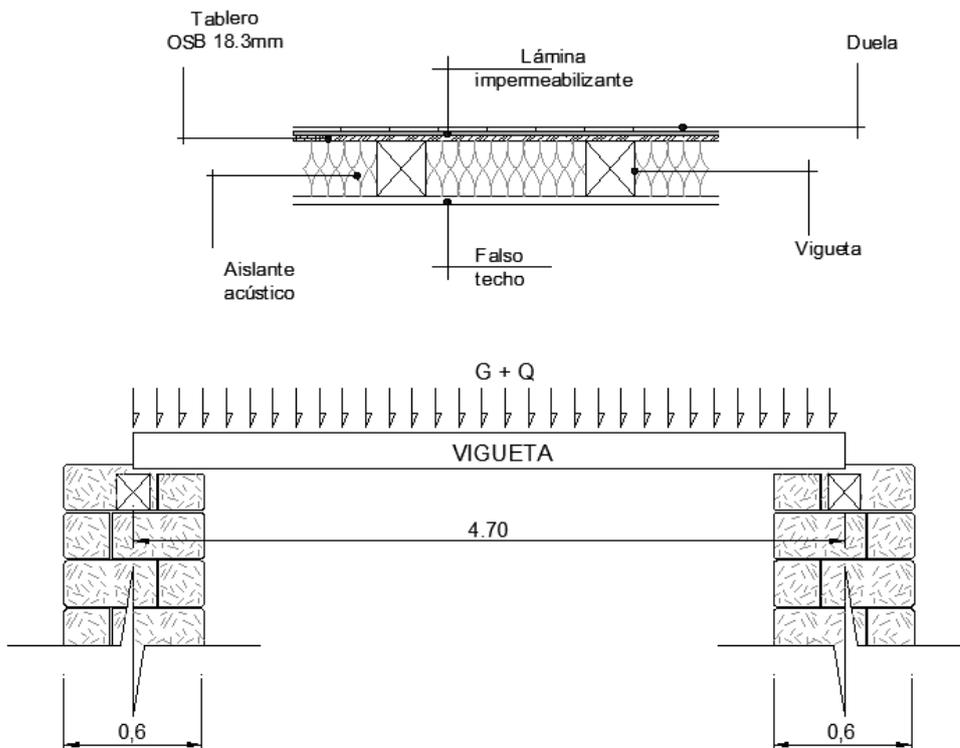


Imagen 5.2.- Esquema de reforzamiento
Fuente: Propia

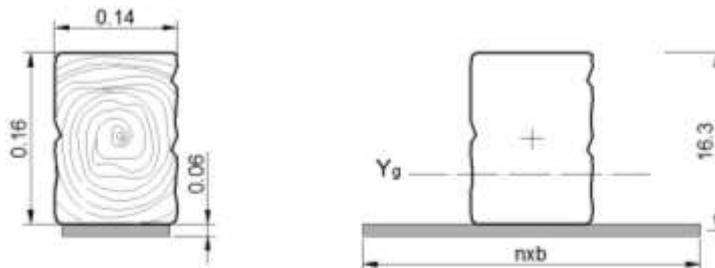
5.4 METODO DE CÁLCULO – REFUERZO CON PLETINA METÁLICA

En el capítulo anterior mediante el proceso de evaluación estructural de las dos viguetas identificadas, se ha podido determinar que es necesario plantear un refuerzo para el cambio de uso propuesto por lo que a continuación se procederá a calcular el mismo.

5.4.1 Vigueta zona A (nuevo uso)



Inercia de la sección compuesta



$$\eta = \frac{E_{\text{acero}}}{E_{\text{madera}}} = \frac{2100000}{11000} = 19 \quad \text{Relación módulos de deformación}$$

$$A_1 = 16 \times 14 = 224 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 19 \times 14 \times 0.6 = 159.6 \text{ cm}^2$$

$$Y_g = \frac{(224 \times 8) + (159.6 \times 16.3)}{383.6}$$

$$Y_g = 11.45 \text{ cm}$$

Inercia pletina

$$I = \frac{\eta \times b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{19 \times 14 \times 0.6^3}{12}$$

$$I = 4.78 \text{ cm}^4$$

Inercia madera

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = 4778.67 \text{ cm}^4$$

Inercia sección compuesta

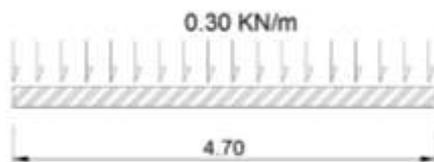
$$I = 4778.67 + 224 \times 3.45^2 + 4.78 + 159.6 \times 4.85^2$$

$$I = 11203.80 \text{ cm}^4$$

CALCULO EN 3 FASES

1. Peso del forjado con la inercia de la vigueta sin reforzar. $K_{mod}=0.6$ (permanente)
2. Peso solado más tabiquería con vigueta reforzada. $K_{mod}=0.6$ (permanente)
3. Sobrecarga de uso con vigueta reforzada. $K_{mod}=0.8$ (medio)

1.



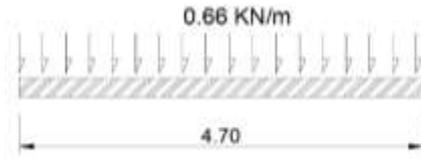
$$\bullet \quad Md_1 = \frac{0.30 \times 22.09}{8} \times 1$$

$$Md_1 = 0.83 \text{ m} \cdot \text{KN}$$

$$\bullet \quad fd_1 = \frac{0.83 \times 10^6}{4778.67 \times 10^4} \times 100$$

$$fd_1 = 1.74 \text{ N/mm}^2$$

2.



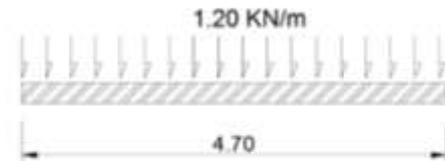
- $Md_2 = \frac{0.66 \times 22.09}{8} \times 1.35$

$$Md_2 = 1.82 \text{ m} \cdot \text{KN}$$

- $fd_2 = \frac{1.82 \times 10^6}{11203.80 \times 10^4} \times 114.5$

$$fd_2 = 1.86 \text{ N/mm}^2$$

3.



- $Md_1 = \frac{1.20 \times 22.09}{8} \times 1.50$

$$Md_1 = 4.97 \text{ m} \cdot \text{KN}$$

- $fd_1 = \frac{4.97 \times 10^6}{11203.80 \times 10^4} \times 114.5$

$$fd_1 = 5.08 \text{ N/mm}^2$$

Para la madera E28, se obtiene

Resistencia a flexión

$$f_{mf} = 28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_c = k_{mod} \times \frac{f_{mf}}{1.3}$$

$$f_{c1} = 0.6 \times \frac{28}{1.3} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c3} = 0.8 \times \frac{28}{1.3} = 17.23 \text{ N/mm}^2$$

Comprobación

$$\frac{f_{d1}}{f_{c1}} + \frac{f_{d2}}{f_{c2}} + \frac{f_{d3}}{f_{c3}} = \frac{1.74}{12.92} + \frac{1.86}{12.92} + \frac{5.08}{17.23} = \mathbf{0.57}$$

Lo que indica que la vigueta está a un 57% del agotamiento en flexión

CALCULO DE FLECHA

$$f = \frac{5qL^4}{384EI}$$

- $f_2 = \frac{5 \times 0.66 \times 4700^4}{384 \times 11000 \times 11203.80 \times 10^4}$

$$f_2 = 3.40 \text{ mm}$$

- $f_3 = \frac{5 \times 1.20 \times 4700^4}{384 \times 11000 \times 11203.80 \times 10^4}$

$$f_3 = 6.18 \text{ mm}$$

Flecha instantánea

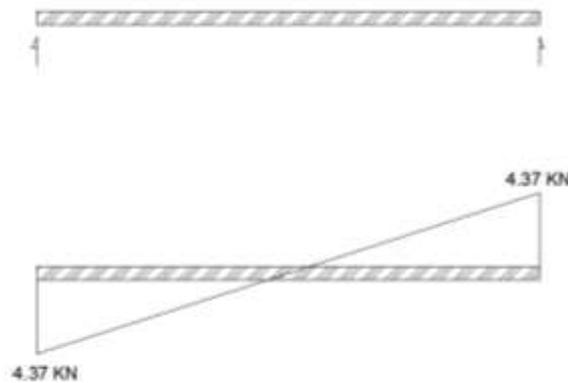
$$f_2 + f_3 = 3.40 + 6.18 = 9.58 \text{ mm}$$

CALCULO UNION PLETINA – MADERA

Cortante es fase 2 + fase 3

$$Q = 0.66 + 1.20$$

$$Q = 1.86 \text{ KN/m}$$



- $V_c = \frac{1.86 \times 4.70}{2} = 4.37 \text{ KN}$

- $S = A_2 \times 48.5 = 15960 \times 48.5 = 774060 \text{ mm}^3$

- $\tau = \frac{Vd \times S}{b \times I}$

$$\tau = \frac{4370 \times 774060}{140 \times 11203.80 \times 10^4} = 0.22 \text{ N/mm}^2$$

COLOCACION DE TIRAFONDOS ($\varnothing 5\text{mm}$)

- $f_{n,k} = 0.082 \times \rho_k \times 5^{-0.3}$
 - $\rho_k = 810.16 \text{ kg/m}^3$
 - $f_{n,k} = 40.99 \text{ N/mm}^2$
-
- $f_{nd} = 0.6 \times \frac{40.99}{1.3} = 18.92 \text{ N/mm}^2$

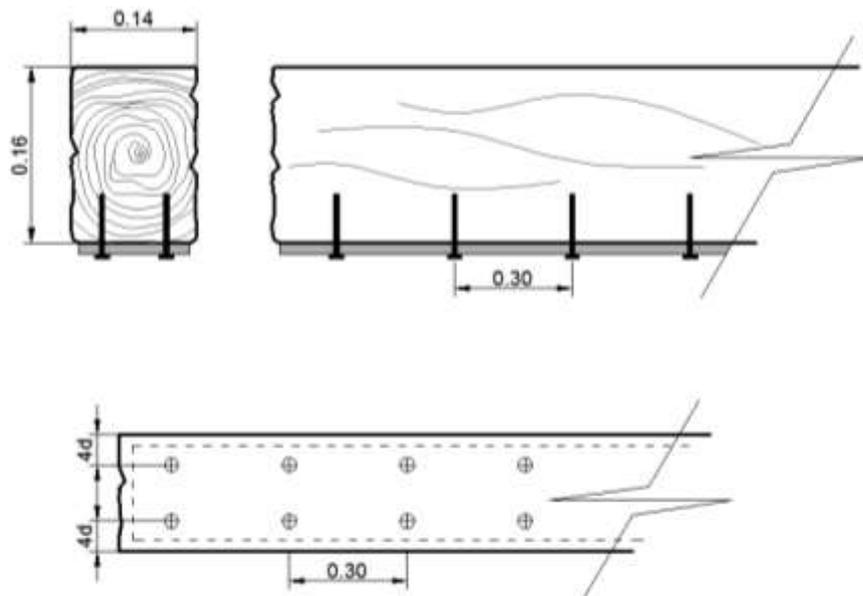
$$R_i = 10\varnothing^2 \times f_{nd}$$

$$R_i = 4730 \text{ N}$$

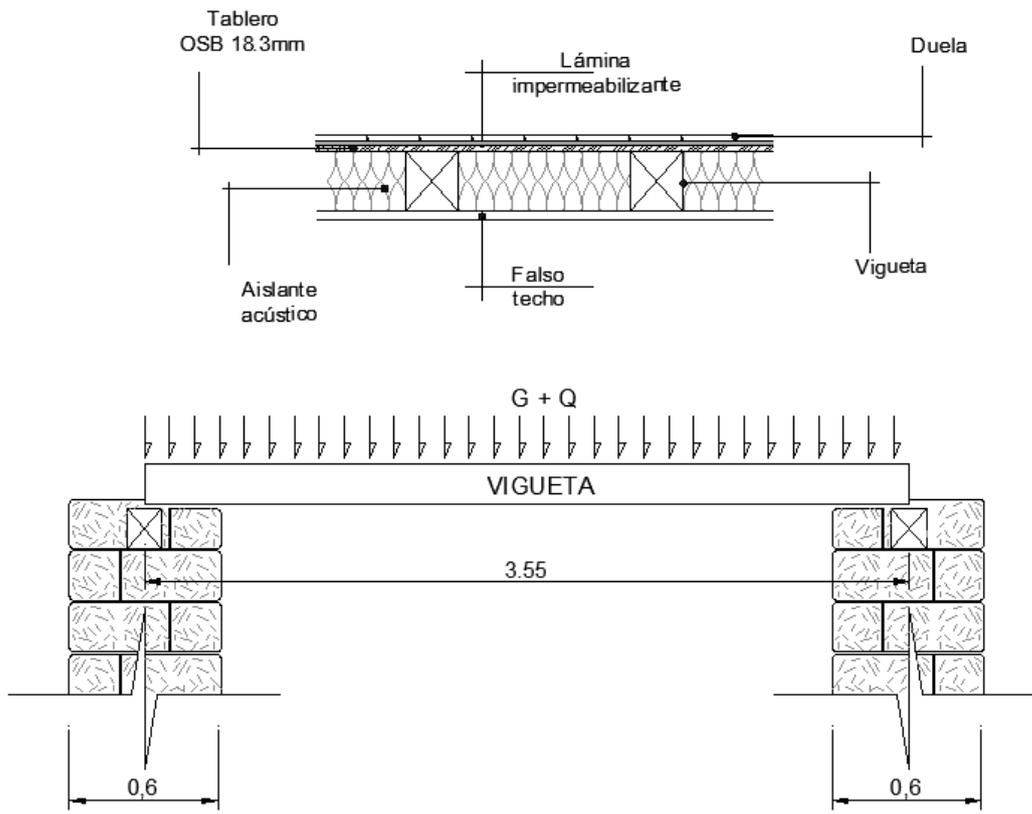
Si colocamos dos tirafondos alineados:

$$S = \frac{2R_t}{b \times \tau_r} = \frac{2 \times 4730}{140 \times 0.22} = 307.14 \text{ mm}$$

Disposición de tirafondos:



5.4.2 Vigueta zona B (nuevo uso)



Inercia de la sección compuesta

$$\eta = \frac{E_{\text{acero}}}{E_{\text{madera}}} = \frac{2100000}{11000} = 19 \quad \text{Relación módulos de deformación}$$

$$A_1 = 12 \times 10 = 120 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 19 \times 10 \times 0.6 = 152 \text{ cm}^2$$

$$Y_g = \frac{(120 \times 6) + (152 \times 12.3)}{272}$$

$$Y_g = 9.57 \text{ cm}$$

Inercia pletina

$$I = \frac{\eta \times b \times h^3}{12}$$

$$I = \frac{19 \times 10 \times 0.8^3}{12}$$

$$I = 8.11 \text{ cm}^4$$

Inercia madera

$$I = \frac{b \times h^3}{12} = \frac{10 \times 12^3}{12} = 1440 \text{ cm}^4$$

Inercia sección compuesta

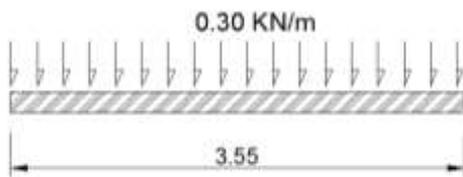
$$I = 1440 + 120 \times 3.57^2 + 8.11 + 152 \times 2.83^2$$

$$I = 4194.85 \text{ cm}^4$$

CALCULO EN 3 FASES

1. Peso del forjado con la inercia de la vigueta sin reforzar. $K_{mod}=0.6$ (permanente)
2. Peso solado más tabiquería con vigueta reforzada. $K_{mod}=0.6$ (permanente)
3. Sobrecarga de uso con vigueta reforzada. $K_{mod}=0.8$ (medio)

1.



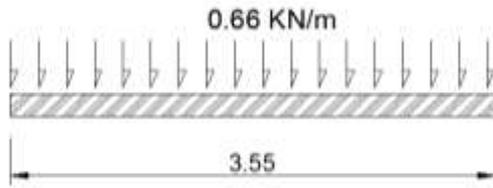
$$\bullet \quad Md_1 = \frac{0.30 \times 3.55^2}{8} \times 1$$

$$Md_1 = 0.47 \text{ m} \cdot \text{KN}$$

$$\bullet \quad fd_1 = \frac{0.47 \times 10^6}{4194.85 \times 10^4} \times 100$$

$$fd_1 = 1.20 \text{ N/mm}^2$$

2.



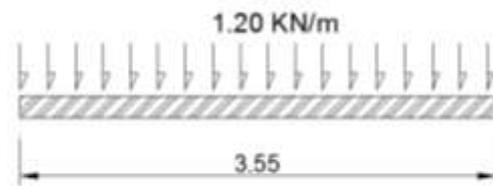
- $Md_2 = \frac{0.66 \times 3.55^2}{8} \times 1.35$

$$Md_2 = 1.40 \text{ m} \cdot \text{KN}$$

- $fd_2 = \frac{1.40 \times 10^6}{4194.85 \times 10^4} \times 90.6$

$$fd_2 = 3.02 \text{ N/mm}^2$$

3.



- $Md_1 = \frac{1.20 \times 3.55^2}{8} \times 1.50$

$$Md_1 = 2.84 \text{ m} \cdot \text{KN}$$

- $fd_1 = \frac{2.84 \times 10^6}{4194.85 \times 10^4} \times 90.6$

$$fd_1 = 6.13 \text{ N/mm}^2$$

Para la madera E28, se obtiene

Resistencia a flexión

$$f_{mf} = 28 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$f_c = k_{mod} \times \frac{f_{mf}}{1.3}$$

$$f_{c1} = 0.6 \times \frac{28}{1.3} = 12.92 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{c3} = 0.8 \times \frac{28}{1.3} = 17.23 \text{ N/mm}^2$$

Comprobación

$$\frac{fd_1}{f_{c1}} + \frac{fd_2}{f_{c2}} + \frac{fd_3}{f_{c3}} = \frac{1.20}{12.92} + \frac{3.02}{12.92} + \frac{6.13}{17.23} = 0.68$$

Lo que indica que la vigueta está a un 68% del agotamiento en flexión

CÁLCULO DE FLECHA

$$f = \frac{5qL^4}{384EI}$$

- $f_2 = \frac{5 \times 0.66 \times 3550^4}{384 \times 11000 \times 4194.85 \times 10^4}$

$$f_2 = 2.95 \text{ mm}$$

- $f_3 = \frac{5 \times 1.20 \times 3550^4}{384 \times 11000 \times 4194.85 \times 10^4}$

$$f_3 = 5.37 \text{ mm}$$

Flecha instantánea

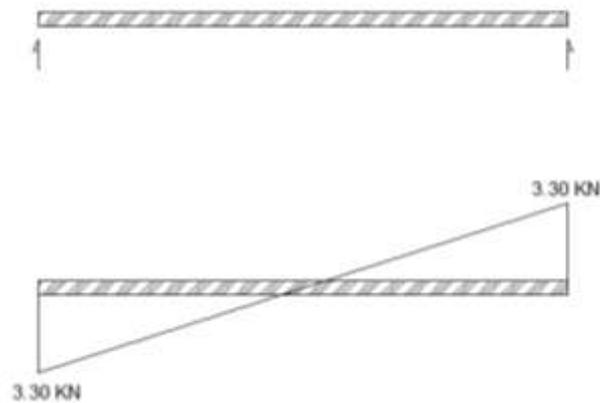
$$f_2 + f_3 = 2.95 + 5.37 = 8.32 \text{ mm}$$

CÁLCULO UNION PLETINA – MADERA

Constante es fase 2 + fase 3

$$Q = 0.66 + 1.20$$

$$Q = 1.86 \text{ KN/m}$$



- $V_c = \frac{1.86 \times 3.55}{2} = 3.30 \text{ KN}$

- $S = A_2 \times 27.8 = 15200 \times 27.8 = 422560 \text{ mm}^3$

- $\tau = \frac{Vd \times S}{b \times I}$

$$\tau = \frac{3300 \times 422560}{100 \times 4194.85 \times 10^4} = 0.33 \text{ N/mm}^2$$

COLOCACION DE TIRAFONDOS (5mm de Ø)

- $f_{n,k} = 0.082 \times \rho_k \times 5^{-0.3}$
- $\rho_k = 810.16 \text{ kg/m}^3$
- $f_{n,k} = 40.99 \text{ N/mm}^2$

- $f_{nd} = 0.6 \times \frac{40.99}{1.3} = 18.92 \text{ N/mm}^2$

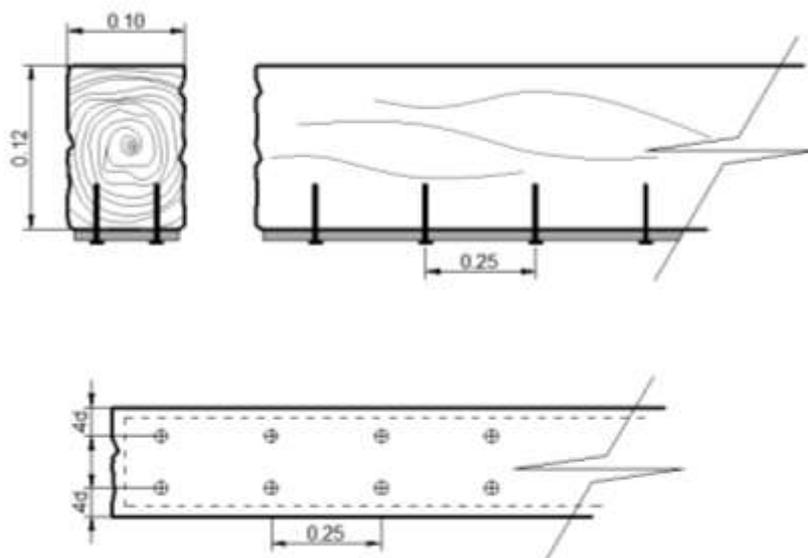
$$R_i = 10\phi^2 \times f_{nd}$$

$$R_i = 4730 \text{ N}$$

Si colocamos dos tirafondos alineados:

$$S = \frac{2R_t}{b \times \tau_r} = \frac{2 \times 4730}{100 \times 0.33} = 286.66 \text{ mm}$$

Disposición de tirafondos:



5.5 PROTECCIÓN CONTRA EL FUEGO

Este apartado tiene por objeto la comprobación de los elementos estructurales antes analizados en caso de incendio, conforme lo establece en el primer inciso del artículo 11 de la parte 1 del CTE el cual indica:

Artículo 11. Exigencias básicas de seguridad en caso de incendio (SI).

1. *El objeto del requisito básico “Seguridad en caso de incendio” consiste en reducir los límites aceptables el riesgo de que los usuarios de un edificio sufran daños derivados de un incendio de origen accidental, como consecuencia de las características de su proyecto, construcción, uso y mantenimiento.*

5.5.1 COMPORTAMIENTO DE LA MADERA

Cuando la madera se expone a un foco de calor, su contenido de humedad disminuye en la zona directamente afectada al alcanzarse el punto de ebullición del agua. Este hecho es detectable por la sudoración que aparece en su superficie. Si el aporte de calor se mantiene hasta llegar a una temperatura aproximada de 270°C, comienza el desprendimiento de vapores que, en caso de seguir aumentando la temperatura, son susceptibles de arder. Este proceso llamado pirolisis de la madera, produce su descomposición en gases según las temperaturas alcanzadas.

A pesar de su combustibilidad, si la madera no se somete a llama directa, ésta no comenzará a arder hasta que no alcance aproximadamente los 400°C.

Tras la combustión de la superficie de origina una capa exterior carbonizada, que protege a otra capa interior contigua en la que se produce la pirolisis. Por último, en el interior de la pieza, queda la madera sin afectar por el fuego.

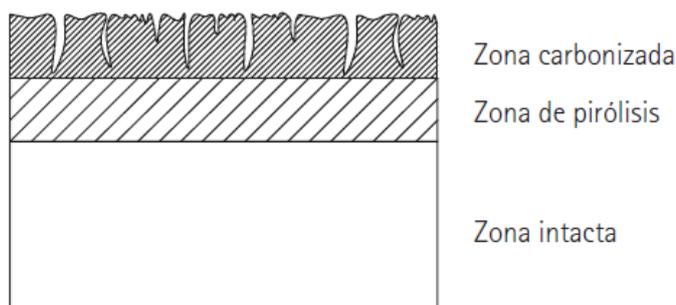


Imagen 5.4.- Cambios en la madera por acción del fuego.

Fuente: GUÍA DE CONSTRUIR CON MADERA, *Documento de aplicación del CTE*. Madrid. Edición CcM

El comportamiento de la madera en caso de incendio puede variar dependiendo de factores como los que se indican a continuación:

- Relación superficie – volumen
- Existencia de fendas.
- Densidad de la madera.
- Contenido de humedad.

5.6 RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA AL FUEGO

5.6.1 EXIGENCIA

La estructura portante mantendrá su resistencia al fuego durante el tiempo necesario para que puedan cumplirse las exigencias básicas del DB SI, para ello se determina el tiempo mínimo requerido según el tipo de uso.

Uso del sector de incendio considerado ⁽¹⁾	Plantas de sótano	Plantas sobre rasante altura de evacuación del edificio		
		≤15 m	≤28 m	>28 m
Vivienda unifamiliar ⁽²⁾	R 30	R 30	-	-
Residencial Vivienda, Residencial Público, Docente, Administrativo	R 120	R 60	R 90	R 120
Comercial, Pública Concurrencia, Hospitalario	R 120 ⁽³⁾	R 90	R 120	R 180
Aparcamiento (edificio de uso exclusivo o situado sobre otro uso)		R 90		
Aparcamiento (situado bajo un uso distinto)		R 120 ⁽⁴⁾		

⁽¹⁾ La resistencia al fuego suficiente R de los elementos estructurales de un suelo que separa sectores de incendio es función del uso del sector inferior. Los elementos estructurales de suelos que no delimitan un sector de incendios, sino que están contenidos en él, deben tener al menos la resistencia al fuego suficiente R que se exija para el uso de dicho sector

⁽²⁾ En viviendas unifamiliares agrupadas o adosadas, los elementos que formen parte de la estructura común tendrán la resistencia al fuego exigible a edificios de uso Residencial Vivienda.

⁽³⁾ R 180 si la altura de evacuación del edificio excede de 28 m.

⁽⁴⁾ R 180 cuando se trate de aparcamientos robotizados.

Tabla 5.1.- Tabla 3.1 Resistencia al fuego suficiente de los elementos estructurales
Fuente: DB SI – Sección SI 6. Resistencia al fuego de la estructura.

5.6.2 CAPACIDAD RESISTENTE

En caso de incendio, se considera que las características mecánicas de los materiales en la parte no carbonizada de la madera permanecen constantes durante un incendio. Además, tanto la resistencia como el módulo de elasticidad en caso de incendio es la resistencia característica multiplicada por coeficiente K_{fi} que se toma de la tabla a continuación:

Tipo de madera	Kfi
Madera maciza	1.25
Madera laminada encolada	1.15
Tablero derivados de la madera	1.15
Madera microlaminada	1.10
Uniones con elementos laterales de madera y tableros derivados de madera	1.15
Uniones con placas de acero externas	1.05

Tabla 5.2.- Valor de coeficiente K_{fi}

Fuente: DB SI – Anejo SI E Resistencia al fuego de las estructuras de madera.

5.6.3 COEFICIENTE DE SIMULTANEIDAD

Para la obtención de los valores representativos de una acción se obtienen multiplicando su valor característico por un factor llamado coeficiente de combinación o de simultaneidad (ψ).

	Ψ_0 COMBINACIÓN	Ψ_1 FRECUENTE	Ψ_2 CASI PERMANENTE
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F)	0,7	0,7	0,6
Cubiertas transitables (Categoría G)	Según el uso desde el que se accede		
Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
Para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
Para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

Tabla 5.3.- Coeficiente de simultaneidad

Fuente: DB SE – Coeficientes de simultaneidad.

5.7 EVALUACION DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES AL FUEGO (Cálculo de la capacidad resistente – Método sección reducida)

Para la evaluación de los siguientes elementos estructurales han sido considerados en su situación actual, ya que en la propuesta y evaluación de su capacidad portante incluye elementos como el mismo reforzamiento y el sistema de lana de roca como

aislante acústico, incluido el falso techo de placas de yeso, que en conjunto ya incrementan el grado de seguridad en caso de incendio.

5.7.1 Vigueta zona A

- Clase resistente: E28
- Madera de Eucalipto: $\rho_k = 810.16 \text{ kg/m}^3$ ó 7.94 KN/m^3
- Longitud entre ejes: 0.60m.
- Longitud viga: 4.70m
- Peso propio: $0.14 \times 0.16 \times \rho_k = 0.0177 \text{ KN/m}$
- Cargas:

	KN/m ²	KN/m
Forjado	0.50	0.30
Solado	0.10	0.06
Tabiquería	1	0.60
Uso	2	1.2

Momento solicitado en situación normal

- $G_k = 1.60 \times 0.60 + 0.177$

$$G_k = 1.137 \text{ KN/m}$$

- $Q_k = 2 \times 0.60$

$$Q_k = 1.20 \text{ KN/m}$$

- $q_{s,fi} = 1.137 + 0.5 \times 1.20$

$$q_{s,fi} = 1.73 \text{ KN/m}$$

- $M_{s,fi} = \frac{q_{s,fi} \times L^2}{8}$

$$M_{s,fi} = \frac{1.73 \times 4.70^2}{8}$$

$$M_{s,fi} = 4.80 \text{ m. Kn}$$

Cálculo de la capacidad resistente

- $\beta_n = 0.55 \text{ mm/min}$ (2 o mas caras)

- $d_{char} = \beta_n \times t$

$$d_{char} = 0.55 \times 60 = 33\text{mm}$$

- $d_{ef} = d_{char} + k_o \cdot d_o$

$$d_{ef} = 33 + 1 \times 7\text{m}$$

$$d_{ef} = 40\text{mm}$$

Respuesta de la estructura (método sección reducida)

Nueva sección de vigueta

$$b_f = b - 2 \times d_{ef} = 60\text{mm}$$

$$h_f = h - d_{ef} = 120\text{mm}$$

Con esta nueva geometría el modulo resistente es:

- $W_{fi} = \frac{b_f \times h_f^2}{6}$

$$W_{fi} = \frac{60 \times 120^2}{6} = 144000 \text{ mm}^3$$

El momento resistente

$$M_{R,fi} = W_{fi} \cdot f_{m,o,fi} = W_{fi} \cdot f_{m,o} \cdot k_{fi} / \gamma_m$$

$$M_{R,fi} = 144000 \times 28 \times 1.25 / 1$$

$$M_{R,fi} = 5.04 \text{ mKN}$$

Si: $M_{R,fi} > M_{S,fi} \rightarrow \text{cumple}$

$$5.04 > 4.80 \therefore \text{si cumple}$$

Este resultado indica que la vigueta cumple con lo solicitado

5.7.2 VIGUETA B

- Clase resistente E28
- Eucalipto $\rho_k = 810.16 \frac{kg}{m^3} \therefore 7.94 \frac{KN}{m^3}$
- Vigueta 12x10
- Longitud entre ejes 0.60m = 60cm
- Longitud viga 3.55m = 350cm
- Peso propio: $0.12 \times 0.10 \times \rho_k = 0.095 \frac{KN}{m}$
- Cargas

	KN/m ²	KN/m
Forjado	0.50	0.30
Solado	0.10	0.06
Tabiquería	1	0.60
Uso	2	1.2

Momento solicitado en situación normal

$$\gamma_q = 1 \quad \gamma_Q = 1 \quad \psi_i = 0.5 \quad k_{fi} = 1.25$$

- $G_k = 1.60 \times 0.60 + 0.095$

$$G_k = 1.055 \frac{KN}{m}$$

- $Q_k = 2 \times 0.60$

$$Q_k = 1.20 \frac{KN}{m}$$

- $q_{s,fi} = 1.055 + 0.5 \times 1.20$

$$q_{s,fi} = 1.66 \frac{KN}{m}$$

- $M_{s,fi} = \frac{q_{s,fi} \times L^2}{8}$

$$M_{s,fi} = \frac{1.66 \times 3.55^2}{8}$$

$$M_{s,fi} = 2.62 \text{ m} \cdot \text{KN}$$

Calculo de la capacidad resistente

- $\beta_n = 0.55 \text{ mm/min}$ (2 o mas caras)

- $d_{char} = \beta_n \times t$

$$d_{char} = 0.55 \times 60 = 33 \text{ mm}$$

- $d_{ef} = d_{char} + k_o \cdot d_o$

$$d_{ef} = 33 + 1 \times 7m$$

$$d_{ef} = 40mm$$

RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA (METODO SECCION REDUCIDA)

NUEVA SECCION DE VIGUETA

$$b_f = b - 2 \times d_{ef} = 20mm$$

$$h_f = h - d_{ef} = 80mm$$

Con esta nueva geometría el modulo resistente es:

$$W_{fi} = \frac{b_f \times h_f^2}{6}$$

$$W_{fi} = \frac{20 \times 80^2}{6} = 21333 \text{ mm}^3$$

El momento resistente

$$M_{R,fi} = W_{fi} \cdot f_{m,o,fi} = W_{fi} \cdot f_{m,o} \cdot k_{fi} / \gamma_m$$

$$M_{R,fi} = 21333 \times 28 \times 1.25 / 1$$

$$M_{R,fi} = 0.74 \text{ mKN}$$

Si: $M_{R,fi} > M_{S,fi} \rightarrow \text{cumple}$

$0.74 < 2.62 \therefore \text{no cumple}$

PROTECCION VIGETA – PANEL DE YESO

$$1F=12.5mm \quad hp=12.5mm \quad \beta_n = 0.8 \text{ mm/min}$$

- $t_{ch} = 2.8 \times hp - b = 2.8 \times 12.5 - 10$

$$t_{ch} = 25$$

- $t = \frac{25}{0.8} + 25$

$$t = 56.25 \approx 56$$

- $d_{ch} = 0.7 \times (4) + 25 = 27.8$

$$d_{ef} = 27.8 + 7 = 34.8$$

- $b_{fi} = b - 2 \times d_{ef}$

$$b_{fi} = 100 - 2 \times 34.8$$

$$b_{fi} = 30.4mm$$

- $h_{fi} = 120 - d_{ef} = 120 - 34.8$

$$h_{fi} = 95.2mm$$

Comprobación

$$M_{Ri} = 1.70 \text{ mKN}$$

Si: $M_{R,fi} > M_{S,fi} \rightarrow \text{cumple}$

$$1.70 > 2.62 \therefore \text{no cumple}$$

En este caso la protección planteada es insuficiente para cumplir con lo solicitado, pero hay que considerar que la vigueta en la situación planteada se encuentra protegida a los lados por lana de roca y en la parte inferior entre la vigueta y el panel de yeso se encuentra la pletina metálica. Por lo que a simple deducción se puede considerar que la vigueta cumpliría con lo solicitado.

6 CONCLUSIONES

Luego del desarrollo de este trabajo, en este apartado se recopilan algunas conclusiones obtenidas sobre las respectivas evaluaciones a los elementos estructurales y sobre el proceso de intervención en las edificaciones en la ciudad de Cuenca.

- Mediante la correcta evaluación de los diferentes elementos estructurales, se puede generar un panorama más claro sobre el estado de la madera en servicio, lo cual evitaría que durante los procesos de intervención, se tenga como punto de partida, la sustitución de la mayoría, y en algunos casos de la totalidad de los elementos de madera. Al realizar un proceso adecuado de la valoración estructural se puede generar un ahorro considerable sabiendo que el proceso de restauración por sí ya es costoso.
- Al conocer la capacidad portante real de los elementos estructurales, se evita la implementación de estructuras nuevas que, independientemente de ser un aporte o no, estas generan un daño en lo que a conservación del patrimonio edificado se refiere.
- Con este trabajo se ha podido conocer también que la madera de eucalipto utilizada comúnmente en los sistemas constructivos tradicionales, posee capacidades óptimas de trabajo en función de sus características mecánicas, ya que su resistencia a flexión y su densidad está por encima de muchas otras clases de madera del medio, sabiendo que el costo por metro de eucalipto es mucho más bajo que maderas de clase A.
- En lo que respecta a los muros de carga en adobe, en realidad no hay mucho por deducir, ya que se ha podido observar en diferentes construcciones su buen estado de conservación, lo que se podría traducir en que las condiciones de servicio siguen siendo óptimas. Lógicamente al tratarse de un elemento que con presencia de humedad reduce considerablemente todas sus características, este debería ser protegido con diferentes soluciones, ya sea de orden constructivo o mediante aplicación de aditivos impermeabilizantes. Otro factor a considerar, es que el adobe de forma individual tiene una capacidad resistente muy baja y por ello se debe mantener las secciones de los muros según las cargas que vaya a recibir, manteniendo el sistema de distribución horizontal de cargas (solera).

- Luego de la evaluación y valoración del sistema constructivo tradicional se debería replantear los procesos llevados a cabo durante las intervenciones y buscar nuevas técnicas que brinden la solución constructiva, y a su vez sea generosa con la parte estructural, ya que como se ha podido demostrar que el implementar sistemas livianos en forjados, son más efectivos que la utilización del concreto, es decir, al reducir las cargas permanentes ocasionadas por pesos propios (forjados, solados) se está aportando no solo con reducir el porcentaje y grado de reforzamiento en vigas y viguetas sino también la incidencia de estos sobre los muros de carga.
- En lo que respecta a la recuperación de la capacidad mecánica de los elementos estructurales, el sistema planteado ha demostrado ser lo suficientemente “colaborador” con lo solicitado y el impacto ocasionado en la parte histórica patrimonial es mínima en comparación con lo agresivo que pueden resultar otros métodos. Hay que considerar que no todos los casos pueden evaluarse e intervenir de la misma manera ni con el mismo criterio, cada uno obedecerá a su singularidad estructural, arquitectónica y de valor histórico.

Durante el desarrollo de este trabajo se han planteado muchas hipótesis que deberán ser analizadas con más detenimiento y detalle, pero como modelo general de un proceso de intervención, en el cual se pretende conocer y recuperar las capacidades mecánicas de los elementos estructurales mediante prótesis metálicas, ha sido satisfactoria, desde el punto de vista de generar propuestas alternativas de intervención, pero que sigan garantizando la estabilidad estructural de las edificaciones patrimoniales, independientemente de los nuevos usos que se planteen.

7 LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

En este capítulo se plantea algunas líneas de investigación que se puede desarrollar en función de lo expuesto en este trabajo, con la finalidad de profundizar en los procesos de evaluación en las estructuras de los sistemas constructivos tradicionales:

- Debido a la limitación de los estudios estructurales en las edificaciones con carácter patrimonial es importante evaluarlas mediante ensayos no destructivos, con lo que se puede garantizar la reutilización de un gran número de elementos estructurales.
- Algo que es muy importante hoy en día desarrollar a nivel local, es la clasificación de la madera estructural en el Ecuador, siendo un país con una gran variedad de maderas de todo tipo y calidad, es importante normar su uso y especificar las características de cada una, al igual que establecer los diferentes climas en los que puede ser aplicada y bajo qué condiciones ambientales se consigue su máximo aporte. Pero antes de llegar a gran escala se puede empezar por clasificar y normar el uso de la madera de eucalipto por ser la más usada dentro de las construcciones no solo en procesos de intervención sino en obra nueva.

Con la realización de convenios entre madereros, universidades y el Gobierno Local se puede obtener los recursos necesarios para el desarrollo de este fin, el cual garantizaría considerablemente la calidad de la construcción en la ciudad y parte del país, además de ser un aporte indispensable para la correcta ejecución en los procesos de restauración y adaptación a nuevos usos.

- Otra línea de investigación que se puede realizar es desarrollar sistemas de evaluación de la capacidad resistente del adobe mediante ensayos no destructivos, para esto se puede basar en los principios de transmisión de ondas y realizar ensayos que puedan relacionarse mediante modelos matemáticos con los resultados obtenidos en ensayos destructivos. Esto podría garantizar más aun la evaluación de los muros de carga en edificaciones tradicionales.

8 BIBLIOGRAFÍA

- ABAD RODAS, M., (2008). *Patologías y sus causas en muros en tierra cruda y cocida en las edificaciones patrimoniales*. Tesis Máster. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- ARRIAGA FRANCISCO, (2002). *Intervención en estructuras de madera*. Madrid. AITIM.
- ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. *Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada*.
- CABRERA RODRIGUEZ, T., PLAZA CANTOS, L. (2014). *Propuesta de rehabilitación estructural constructiva para la vivienda de la familia Plaza Aveldaño*. Tesis. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- CARANGUI, S., LASSO, V. (2010). *Estudio de los sistemas constructivos tradicionales en madera*. Tesis. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- CARAZAS AEDO, W. RIVERO OLMOS, A. (2002). *Bahareque. Guía de la construcción parasísmica*. CRATerre.
- CUVL, P. (2005). Dos cajas con semillas de eucalipto. *Revista Terra incógnita* Nro. 37. Quito.
- Documento Básico SE – Seguridad Estructural. (2006).
- Documento Básico SE-AE – Acciones en la edificación (2009).
- Documento Básico SE-M – Seguridad Estructural Madera (2009).
- Documento Básico SI – Seguridad en caso de incendio (2010).
- Enciclopedia Broto. Patologías de la edificación Estructuras de fábrica.
- GONZÁLEZ BRAVO, C., (2007). *Recuperación de la capacidad mecánica en piezas de madera solicitadas a flexión en estructuras tradicionales operando por*

- la cara superior mediante refuerzos y prótesis metálicas*. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- GUÍA DE CONSTRUIR CON MADERA, *Documento de aplicación del CTE*. Madrid. Edición CcM.
 - JUNAC (PADT-REFORT). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. (1982) Lima – Perú
 - LOPEZ, E., *Guía para los morteros con cal*. AIDICO – Instituto tecnológico de la construcción. PDF
 - MARTINEZ ESCOBAR, J., SIZA SIMBAÑA, J. (2009). *Propiedades físico – mecánicas del eucalipto y aplicación al diseño estructural en una vivienda parte de una granja integral, ubicada en el IASA I*. Tesis. Escuela Politécnica del Ejército. Quito.
 - MONTERO, R., PIEDRA, C., ZHUNIO, J. (1972) *Estudio de los sistemas Constructivos y Estructurales en Viviendas Unifamiliares de una y dos Plantas, en nuestro medio*. Tesis Profesional de Arquitectura. Cuenca. Universidad de Cuenca.
 - NAVARRO CAMPOS, N., PINO VELÁZQUEZ, A.J. (2011). *Patología, diagnóstico y Rehabilitación de Edificaciones*. Cuenca – Ecuador. Graficas “G.Q.”
 - Norma UNE 41805-3 IN – Estudios constructivos y patológicos.
 - Norma UNE 41805-5 IN – Estudio patológico de la estructura del edificio – Estructuras de fábrica.
 - Norma UNE 41805-8 IN – Estudio patológico de la estructura del edificio – Estructuras de madera.
 - Norma UNE 41805-9 IN – Estudio patológico de la estructura del edificio – Cubiertas.
 - PEZANTES, M, GONZALEZ, I. (2011). *Arquitectura tradicional en Azuay y Cañar*. Instituto Nacional de Patrimonio Cultural. Cuenca – Ecuador. PDF.

- Reforzamiento Estructural en las Edificaciones Patrimoniales. (2004). FONSAI. Quito. Trama.
- Sanmartin F., Tuba, M. (2014) *Análisis Y Determinación De Los Costos De La Explotación, Procesamiento, Acabado Y Comercialización De Ladrillo Y Teja De Los Diferentes Talleres De La Parroquia Rural De Sinincay, Cantón Cuenca*. Tesis de grado. Universidad de Cuenca.
- SIAVICHAY, D., NARVAEZ, J. (2010). *Adobe en la Construcción. Propuesta de mejoramiento*. Tesis. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- SIN AUTOR. "*Tratamientos curativos de la madera - intervención en edificios con estructura de madera*". PDF
- Técnicas Vernáculas en la Restauración del Patrimonio. (2004). FONSAI. Quito. Trama.
- VELEZ DAVILA, P. (2012). Comprobación de las correlaciones de la presión de expansión con las propiedades índices en suelos del sector Challuabamba, Cuenca, recomendaciones para la construcción de cimentaciones. Proyecto de graduación previo a la obtención del grado de Magíster en Geología Aplicada y Geotecnia. Universidad de Cuenca.
- ZEAS, S. PEDRO., FLORES, E. MARCO. (1982). *Hacia el conocimiento de la arquitectura rural andina: Caso alta montaña Cañar*. Tesis de pregrado. Universidad de Cuenca.