

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES**



**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA  
LA EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE  
MADERA EN MONUMENTOS  
HISTÓRICOS - CASO HOTEL EL  
COMERCIO**

Presentado por:

**Daniella Jennifer Vizcarra Salazar**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO FORESTAL

---

Lima - Perú  
2017

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. **DANIELLA JENNIFER VIZCARRA SALAZAR**, intitulado “**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA EVALUACIÓN DE ESTRUCTURAS DE MADERA EN MONUMENTOS HISTÓRICOS - CASO HOTEL EL COMERCIO** ”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de .....

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 9 de agosto de 2016

.....  
Mg. Sc. Moisés Acevedo Manrique  
Presidente

.....  
Ing. Neptalí Bustamante Guillén  
Miembro

.....  
Mg. Sc. Julio Canchucaya Rojas  
Miembro

.....  
Mg. Sc. José Carlos Cano Delgado  
Asesor

Mg. Sc. Daniel Torrealba Dávila  
Coasesor

## *DEDICATORIA*

*Con mucho cariño dedico este trabajo a mi familia, a mi madre por su amor y paciencia, a mi padre por su motivación y perseverancia y a mi hermana por su confianza y esa palabra de aliento. A ellos decirles que mis logros son los suyos y que el fin de este capítulo solo pudo lograrse con su apoyo incondicional.*

*A mi abuela, una mujer que dio todo de ella antes de irse enseñándome que la fuerza se forja en el alma. A mis abuelos y a esas personas que estuvieron junto a mí en este largo caminar.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradecer en primer lugar a Dios por sostener mi voluntad y mi fe, porque este trabajo no fue el único reto que tuve que afrontar en todo este tiempo.*

*A mis padres por apoyarme física y moralmente desde el principio hasta el fin de esta investigación. A mi madre que no dudo en treparse a un andamio para asegurarlo antes que subiera yo, por tu amor desmesurado. A mi papá que siempre tuvo un sí como respuesta cuando pedí su ayuda, por tu respaldo en mis momentos más difíciles y no dejarme flaquear.*

*A mi hermana por demostrarme que no hay vertical que limite la visual cuando se quiere ser buena, en realidad, muy buena. Gracias por enchularme no solo la presentación de tesis sino también la vida.*

*Un especial agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) por el interés que tuvieron en la realización de esta investigación representado por el Mg. Sc. Daniel Torrealba. Y un reconocimiento especial a la Ing. Erika Vicente por el apoyo y la confianza brindada desde un principio, tanto con el ingreso al recinto histórico como su disposición e interés en escuchar y responder mis comentarios e interrogantes. Gracias por su presencia en la sustentación de este trabajo.*

*Mi más profundo y afectuoso agradecimiento a mi asesor, Prof. José Carlos Cano por su esmero en involucrarme en este tema, convirtiéndose en mi guía en esta experiencia. Así mismo, al Prof. Luis Yoza por su invaluable disposición en ayudarme a alcanzar la altura necesaria para sacar adelante este estudio sin importar el tiempo y las dificultades que se presentaron reiteradas veces. Y por último pero no menos importante, al Prof. Moisés Acevedo principal responsable en que terminara involucrada en este fascinante tema y por su total apoyo en el desarrollo de este documento. Gracias a todos por compartir conmigo su tiempo y sabiduría.*

*A Marco Cavallini porque fuiste mi mano derecha y no escatimaste en ser desde albañil hasta fotógrafo a pesar de las desavenencias que la vida nos hizo pasar. Gracias por eso y más.*

*Y a todos los que me apoyaron de diferentes formas en este trabajo, a Vicente, a David, al Prof. Araujo, al Prof. Montenegro, a la Sra. Irene Campos, a Pepo, a Katicita, a Oscar.*

## *RESUMEN*

La siguiente investigación presenta una propuesta para la evaluación estructural de la madera de monumentos históricos, así como su posible estado de degradación en que se encuentran utilizando dos técnicas, la inspección visual y métodos no destructivos. En este último utiliza el equipo de ultrasonido, extractor de tornillos y resistógrafo; los cuales fueron fundamentales para los resultados cuantitativos de la evaluación de los elementos estructurales in situ. El estudio se realizó sobre un total de 13 elementos estructurales de madera procedentes de la primera planta del monumento histórico Hotel El Comercio, edificación del siglo XIX ubicado en el centro de la ciudad de Lima. La evaluación in situ de dichos elementos consistieron en cuatro vigas de sección 25 x 25 cm y longitud de 4 a 5 m, cinco viguetas de sección 9 x 15 cm y longitud de 2 m aproximadamente y cuatro columnas de 23 cm de diámetro y 4 m de longitud aproximadamente. Los elementos estructurales fueron identificados como *Entandrophragma sp.*, comúnmente llamada “Sapelli”. Los resultados de la inspección visual evaluarán la calidad de la madera, para lo cual se analizaron las normas NTP 251.104, UNE 56.544, NF B 52-001 y DIN 4074, esto en vista a que la normativa actual no considera las estructuras de madera de gran escuadría para la clasificación de su resistencia. Se concluye que la clase resistente actual de los elementos estructurales de madera disminuyó su resistencia en un 50% del Grupo Estructural que se consideró en un inicio, de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Los ataques bióticos se presentaron en todos los elementos inspeccionados, identificando como insecto perjudicial a la termina de madera seca.

Palabras clave: Hotel El Comercio, monumentos históricos, inspección visual, ultrasonido, extractor de tornillo, resistógrafo

# ÍNDICE GENERAL

Página

<b>I. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>II. Revisión de Literatura .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Hotel El Comercio .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Condiciones climáticas.....</b>	<b>5</b>
<b>3. La madera .....</b>	<b>6</b>
<b>4. Inspección visual de la madera de monumentos históricos .....</b>	<b>7</b>
<b>5. Inspección no destructiva en madera de monumentos históricos.....</b>	<b>10</b>
5.1. Técnica de ultrasonido.....	10
5.2. Técnica de extracción de tornillo.....	13
5.3. Técnica de resistógrafo.....	14
<b>6. Evaluación de la capacidad resistente de la madera .....</b>	<b>16</b>
<b>III. Materiales y Métodos .....</b>	<b>17</b>
<b>1. Localización del recinto histórico .....</b>	<b>17</b>
<b>2. Metodología .....</b>	<b>18</b>
2.1. Elección de la muestra de estudio.....	18
2.2. Inspección visual de la madera.....	20
2.3. Inspección no destructiva de la madera.....	22
2.4. Validación de las mediciones con equipos de ultrasonido y extractor de tornillo.....	25
2.4.1. Ultrasonido.....	25
2.4.2. Extractor de tornillos.....	26
2.5. Evaluación de la capacidad resistente de la madera .....	26
2.5.1. Métodos de clasificación visual .....	26
2.5.2. Métodos de ensayos no destructivos.....	27
<b>IV. Resultados y discusión .....</b>	<b>29</b>
<b>1. Validación de equipos de ultrasonido y extractor de tornillo.....</b>	<b>29</b>
1.1. De las determinaciones mediante ultrasonidos .....	29
1.2. De las terminaciones mediante extractor de tornillo .....	30
<b>2. De la inspección a los elementos estructurales .....</b>	<b>33</b>
2.1. Contenido de humedad.....	33
2.2. Elementos estructurales .....	33
2.2.1. Vigas.....	33
2.2.2. Viguetas.....	41
2.2.3. Columnas.....	46
<b>3. Evaluación de la capacidad resistente.....</b>	<b>51</b>
3.1. Vigas.....	51
3.2. Viguetas.....	54
3.3. Columnas.....	57
3.4. Propuesta para la clasificación de la calidad de la madera .....	59
<b>V. Conclusiones .....</b>	<b>61</b>
<b>VI. Recomendaciones .....</b>	<b>63</b>
<b>VII. Referencias bibliográficas .....</b>	<b>65</b>
<b>VIII. Anexos.....</b>	<b>68</b>

## *Índice de tablas*

	Página
Tabla 1:	Dimensiones y elementos seleccionados ..... 20
Tabla 2:	Normas utilizadas para la clasificación visual de las piezas tomando en cuenta solo los defectos de grietas y rajaduras ..... 27
Tabla 3:	MOE dinámico y MOE estático en probetas ..... 29
Tabla 4:	Valores estimados de MOR y densidad..... 31
Tabla 5:	Contenido de humedad de los elementos estructurales ..... 33
Tabla 6:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en las tres caras inspeccionadas de la viga 1 por intervalos ..... 35
Tabla 7:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en las tres caras inspeccionadas de la viga 2 por intervalos ..... 37
Tabla 8:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en las tres caras inspeccionadas de la viga 3 por intervalos ..... 39
Tabla 9:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en las tres caras inspeccionadas de la viga 3 por intervalos ..... 41
Tabla 10:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la vigueta 1 por secciones ..... 42
Tabla 11:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la vigueta 2 por secciones ..... 43
Tabla 12:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la vigueta 3 por secciones ..... 44
Tabla 13:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la vigueta 4 por secciones ..... 45
Tabla 14:	Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la vigueta 5 por secciones ..... 46
Tabla 15:	Valores de la velocidad a nivel superior, medio e inferior de la columna 1 47
Tabla 16:	Valores de la velocidad a nivel superior, medio e inferior de la columna 2 48
Tabla 17:	Valores de la velocidad a nivel superior, medio e inferior de la columna 3 49
Tabla 18:	Valores de la velocidad a nivel superior, medio e inferior de la columna 4 50
Tabla 19:	Resultados de la inspección en vigas..... 53
Tabla 20:	Resultado de la inspección en viguetas ..... 56
Tabla 21:	Resultados de la inspección en columnas..... 58
Tabla 22:	Clasificación según inspección visual e inspección no destructiva. .... 59

## Índice de figuras

	Página
Figura 1: Frente del Hotel El Comercio, Centro de Lima.....	4
Figura 2: Climograma de Lima, Perú .....	5
Figura 3: Registro de particularidades mediante sistema de ejes de referencia .....	8
Figura 4: Medición semidirecta cruzada .....	11
Figura 5: Medición indirecta.....	11
Figura 6: Medición directa perpendicular .....	12
Figura 7: Ejemplo del análisis de una columna de madera: comparación de mediciones a lo largo de la columna para detectar deterioro interno .....	12
Figura 8: Perfil resistográfico referencial .....	15
Figura 9: Ubicación y evolución del Hotel El Comercio.....	17
Figura 10: Vista de planta del primer piso del Hotel El Comercio, indicando los elementos estructurales de las maderas seleccionadas .....	19
Figura 11: Inspección superficial a lo largo de la superficie de la madera .....	21
Figura 12: Inspección superficial de los cabezales .....	22
Figura 13: Intervalos de evaluación de una viga.....	22
Figura 14: Medición por intervalos .....	24
Figura 15: Medición colocando los pines en caras opuestas a diferente altura.....	24
Figura 16: Medición en columnas .....	24
Figura 17: Medición en la cara lateral de la pieza.....	25
Figura 18: Coeficiente de determinación del MOE dinámico vs MOE estático.....	30
Figura 19: Coeficiente de determinación de la densidad estimada vs densidad calculada .....	32
Figura 20: Coeficiente de determinación del MOR estimado vs MOR experimental ...	32
Figura 21: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 1.....	34
Figura 22: Visualización frontal del cabezal de la viga 1. ....	35
Figura 23: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 2.....	36
Figura 24: Visualización frontal de los cabezales de la viga 2. ....	37
Figura 25: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 3.....	38
Figura 26: Visualización frontal de los cabezales de la viga 3. ....	39
Figura 27: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 4.....	40
Figura 28: Visualización frontal de los cabezales de la viga 4. ....	40



Figura 29:	Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 1.....	42
Figura 30:	Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 2.....	43
Figura 31:	Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 3.....	44
Figura 32:	Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 4.....	45
Figura 33:	Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 5.....	46
Figura 34:	Perfiles resistográficos de la columna 1. ....	47
Figura 35:	Perfiles resistográficos de la columna 2. ....	48
Figura 36:	Perfiles resistográficos de la columna 3. ....	49
Figura 37:	Perfiles resistográficos de la columna 4. ....	50

## *Índice de anexos*

	Página
Anexo 1 Dimensiones y características de las vigas inspeccionadas.....	68
Anexo 2 Dimensiones y características de las viguetas inspeccionadas.....	69
Anexo 3 Dimensiones y características de las columnas inspeccionadas.....	69
Anexo 4 Cartilla de inspección visual de las vigas.....	70
Anexo 5 Clasificación visual de vigas y viguetas NTP 251.104 y UNE 56.544.....	75
Anexo 6 Fotos.....	76

## I. INTRODUCCIÓN

La conservación del patrimonio cultural está considerada como un principio fundamental en la vida cultural de las sociedades modernas (Lombillo y Villegas 2006). Esta conservación implica estimar el estado actual del recinto, evaluando los elementos estructurales que la componen. Pese a la importancia que representan tales estructuras históricas, la falta de aplicación de políticas de conservación agudiza con el pasar del tiempo el deterioro de las mismas.

Instituciones como la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en convenio con el Instituto Getty de conservación (GCI) desarrollan proyectos para implementar metodologías que permitan evaluar estructuralmente sitios históricos en el Perú, entre los cuales se encuentra la restauración del monumento histórico Hotel El Comercio.

En este contexto, el presente estudio desarrolla una metodología evaluación visual-ensayos no destructivos para estimar la resistencia de los elementos estructurales y el estado biótico de la madera perteneciente al Hotel El Comercio en Lima, mediante una inspección visual de las estructuras y el uso de equipos no destructivos como herramienta complementaria para una evaluación objetiva. La finalidad es estimar la capacidad resistente de los elementos estructurales que permanecen en servicio, seleccionándose para ello la inspección y diagnóstico de cuatro vigas, cinco viguetas y cuatro columnas del recinto en mención.

La novedad de este trabajo es la aplicación de los equipos de ultrasonido, extractor de tornillo y resistógrafo en madera de vigas, viguetas y columnas in situ sin necesidad de desmontarlas.



## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **1. HOTEL EL COMERCIO**

El Antiguo Hotel El Comercio está conformado por materiales de adobe, quincha y un sistema de techos de madera que forman parte importante del Ambiente Urbano Monumental, siendo un legado irremplazable de la arquitectura republicana del siglo XIX, declarado intangible por su belleza y su valor histórico (INC 2007).

Cárdenas (2008) menciona que la estructura del mencionado recinto tiene un trazo muy particular, la forma más aproximada del área es de una L invertida, y tiene un área de 1500 m<sup>2</sup> aproximadamente, conformado por tres pisos, cada uno tiene un área techada de 1255 m<sup>2</sup>, 1180 m<sup>2</sup> y 1155 m<sup>2</sup>, con alturas de 5,25 m, 4,75 m y 3,55 m correspondiente al primero, segundo y tercer piso. Cuenta con un total de 132 habitaciones con dos patios y un zaguán o entrada de coches y estacionamiento. En el primer piso tiene 36 habitaciones, segundo piso 46 habitaciones y el tercero 50 habitaciones, además del Bar Cordano ubicado en el primer piso que ocupa seis ambientes, como se aprecia en la Figura 1.

El mismo autor además indica que al comienzo fue diseñada para cierto tipo de tiendas locales, que luego con el tiempo se convirtió en hotel, el cual tuvo mayor apogeo por estar al frente y costado de la Estación Ferroviaria Central de Desamparados. Después de ser ocupado como hotel tuvo otra ocupación por los militares donde se situó la mayoría de oficiales militares en el gobierno de Odría en la década del 50.



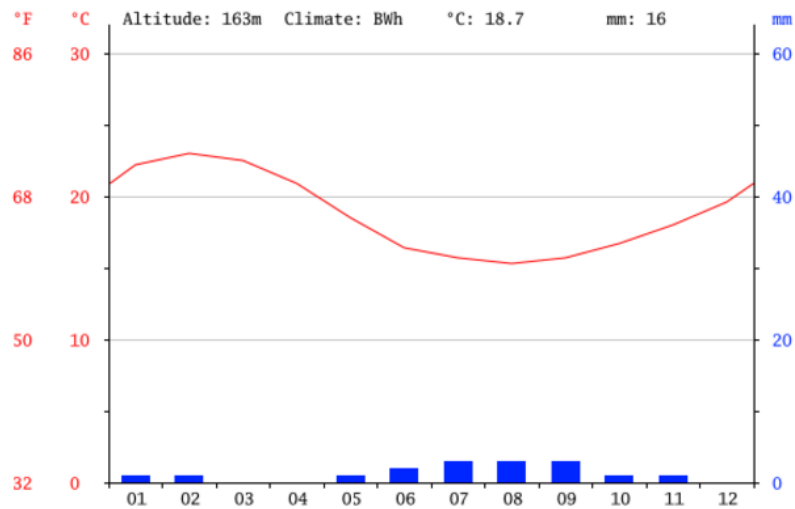
**Figura 1: Frente del Hotel El Comercio, Centro de Lima**

*Fuente: Marco Cavallini, 2015.*

## 2. CONDICIONES CLIMÁTICAS

Las condiciones de temperatura y humedad relativa son importantes para el contenido de humedad de equilibrio de la madera, así como para conocer si las condiciones son propicias para la presencia de daños como ataque de hongos, insectos, alabeos, etc.

El recinto histórico ubicado en Lima se encuentra expuesto a un clima considerado como desierto. A lo largo del año casi no hay lluvia. La temperatura media anual se encuentra a 18,7 °C y la precipitación está alrededor de 16 mm anual, como indica la Figura 2.



**Figura 2:** Climograma de Lima, Perú

*Fuente: Climate-data.org*

Con respecto a la humedad relativa media anual, según la publicación cuadernos de arquitectura de la PUCP, se encuentra alrededor del 83,4 por ciento.

### 3. LA MADERA

De acuerdo con AITIM (2007), el nombre botánico de la especie en estudio es *Entandrophragma sp.*, la cual se encuentra en el Oeste, Centro y Este de África. Sus masas forestales, su producción y su exportación son importantes en la actualidad. Señala que el color de la madera de albura varía del gris blanquecino a crema y el del duramen varía del rosa, recién cortado, al pardo rojizo-pardo violáceo, al ser expuesta a la luz. La madera de albura está claramente diferenciada y en la madera en rollo tiene un espesor de 4 a 8 cm. Los radios leñosos son finos, con forma ondulada y están distribuidos escalonadamente. La fibra es entrecruzada. El grano varía de fino a medio. Tiene un olor característico que recuerda al del cedro y que permanece bastante tiempo.

En relación a sus propiedades físicas y mecánicas, AITIM (2007) para madera libre de defectos señala que la densidad seca al aire varía entre 640-650-700 kg/m<sup>3</sup>, su módulo de ruptura (MOR) entre 85 - 142 N/mm<sup>2</sup>, módulo de elasticidad (MOE) 10 300 - 13 800 N/mm<sup>2</sup>, compresión perpendicular de 11,5 N/mm<sup>2</sup>, cizallamiento entre 7,5-14,0 N/mm<sup>2</sup> y tenacidad de 3,3 a 6,7 J/cm<sup>2</sup>.

El mismo autor, en relación de la durabilidad natural e impregnabilidad, la clasifica como medianamente durable frente a la acción de los hongos y de las termitas, no atacada por los líctidos y sensible a los xilófagos marinos. La madera de duramen es poco impregnable y la de albura es medianamente impregnable.

Chavesta *et al.* (2012) en madera perteneciente al monumento histórico en estudio determinó valores de densidad básica (0,40 g/cm<sup>3</sup>), Módulo de elasticidad en flexión (78,3 x 10<sup>3</sup> kg/cm<sup>2</sup>), Módulo de rotura (614,7 kg/cm<sup>2</sup>), valores que comparados con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) para la asignación de la clase resistente de la madera Sapelli, la clasifica en el Grupo estructural C.



#### **4. INSPECCIÓN VISUAL DE LA MADERA DE MONUMENTOS HISTÓRICOS**

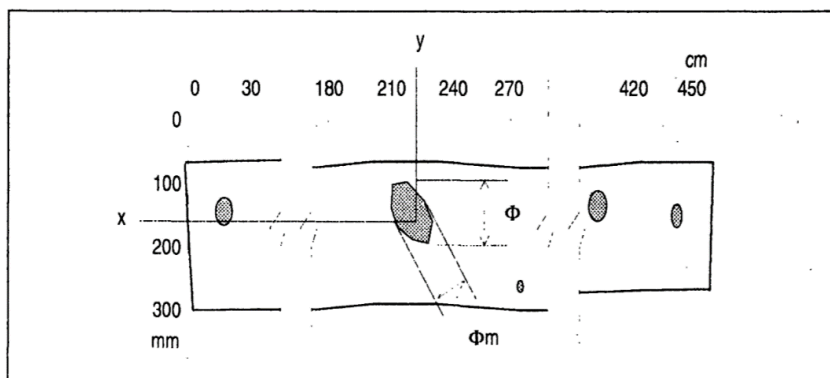
Esteban (2003) menciona que las normas de clasificación visual de la madera para uso estructural están basadas en investigaciones llevadas a cabo sobre piezas estructurales de madera de pequeña escuadría y de sección regular, en buen estado de conservación, de especie y procedencia conocidas y sometidas a ensayos en condiciones controladas de laboratorio. Estas condiciones de estudio se alejan bastante de las que aparecen en estructuras antiguas, empezando porque las piezas se encuentran colocadas en obra y no es posible desmontarlas para su estudio. La mayoría de las piezas son de escuadría superior e irregular y los daños diversos y ataques de insectos y hongos xilófagos aparecen con frecuencia. En definitiva, existe una gran complejidad e incertidumbre a los trabajos de peritación de las estructuras.

Íñiguez (2007) sostiene que la madera de gran escuadría posee ciertas particularidades que hacen diferente respecto a la de pequeña escuadría (habitualmente, secciones inferiores a 70 x 200 mm). En primer lugar, presentan una mayor cantidad de grietas y rajaduras a consecuencia del secado de gruesas secciones. Las aristas faltantes también están presentes con mayor incidencia que en la pequeña escuadría. En segundo lugar, en las piezas de gruesa escuadría casi siempre están presentes la médula y la albura, ya que suelen ser secciones enterizas. Por lo que, estas piezas suelen tener una alta variabilidad de forma y dimensiones de la sección transversal. Si se aplican los criterios recogidos en muchas normas de clasificación visual, es muy probable que la mayoría de las piezas quedarían rechazadas por estos defectos, sin que signifique una disminución significativa de las propiedades resistentes.

Del mismo modo, Esteban (2003) manifiesta que el aspecto más relevante que presentan las estructuras antiguas es la dificultad de aplicación de los métodos actuales de clasificación visual para su caracterización estructural. Puede que el acceso a la madera sea difícil, imposible o parcial, pudiendo sólo inspeccionar tramos de piezas o algunas de sus caras. Con frecuencia se trata de piezas mal escuadradas e irregulares, con defectos o daños difíciles de cuantificar. En definitiva, éstas sólo son algunas de las innumerables circunstancias que el técnico se puede encontrar en obra y que dificultan enormemente su trabajo.

Arriaga *et al.* (2005) propone el registro de todas las singularidades relacionadas con las reglas de clasificación, tales como el tamaño y la posición de los nudos, fendas, gemas y desviación de la fibra, de acuerdo con un sistema de ejes de referencia para cada cara, como se muestra

en la Figura 3. Menciona que el objetivo de este procedimiento era mantener toda la información posible para futuros análisis, incluso una vez que las piezas hayan desaparecido.



**Figura 3: Registro de particularidades mediante sistema de ejes de referencia**

*Fuente: Arriaga et al., 2005.*

En relación a los daños de origen biótico Arriaga *et al.* (2002) señala que la determinación de la gravedad de los daños producidos por los agentes bióticos en la madera se basa en el conocimiento del modo de vida de los organismos xilófagos que han causado el deterioro. Es preciso conocer la extensión y la intensidad propias del agente xilófago, así como el modo de ataque.

En relación al comportamiento estructural, Esteban (2003) indica que su evaluación se basa en la medición de ciertas particularidades presentes en las piezas para establecer un sistema de calidades a las que se asignan unas determinadas propiedades mecánicas, agregando que todas las normas se basan en los mismos o similares parámetros de clasificación aunque existen variaciones en la interpretación de algunos de ellos. Los parámetros más importantes están relacionados con los defectos o particularidades que forman parte natural de la madera (nudos, desviación de la fibra, fendas, etc.) o con defectos debidos a la primera transformación (defectos de aserrado, deformaciones, etc.). Sin embargo, casi todas las normas están desarrolladas para madera de pequeña escuadría y procedente directamente de los aserraderos (madera nueva) y pensadas para las escuadrías que pueden encontrarse en el mercado, abarcando secciones con espesores de 35 a 100 mm y con un ancho máximo de unos 300 mm. Si bien es cierto que algunas normas de clasificación incluyen o, al menos, no descartan las grandes escuadrías, no existe suficiente experiencia en la asignación a una clase resistente.

Una de ellas es el estudio realizado por Arriaga *et al.* (2005) “Evaluación de la capacidad portante de piezas de gruesa escuadría de madera de conífera en estructuras existentes” en la

cual propone una clase resistente F14/E9/D380, que significa resistencia característica a flexión igual a 14 N/mm<sup>2</sup>, módulo de elasticidad de 9 kN/mm<sup>2</sup> y densidad característica de 380 kg/m<sup>3</sup>.

En el presente estudio se tendrá en consideración para la evaluación de la que mejor se adapta a las condiciones de trabajo, las siguientes normas:

- NTP 251.104. “Madera aserrada para uso estructural. Clasificación visual y requisitos”. 1998 (Revisada el 2011).
- Norma UNE 56544. “Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: madera coníferas” (borrador de Enero 2001).
- Norma DIN 4074. “Clasificación de la madera aserrada para uso estructural” (1989).
- Norma NF B 52001. “Reglas de utilización de la madera en la construcción: Clasificación visual para su empleo en estructuras para las principales especies coníferas y frondosas” (1998).

## 5. INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA EN MADERA DE MONUMENTOS HISTÓRICOS

### 5.1. TÉCNICA DE ULTRASONIDO

Esteban (2003) afirma que la técnica de ultrasonido es menos subjetiva que la clasificación visual, aunque no queda exenta de ella, y se revela como una de las que mejor expectativa presenta para su aplicación en estructuras existentes. Describe que el procedimiento general consiste en la emisión de una onda de ultrasonidos mediante un emisor o palpador que transmite la onda al material, y en la recepción de la misma mediante un receptor. Se mide el tiempo que la onda ha necesitado para hacer el recorrido entre emisor y receptor, cuya distancia es conocida, y se determina la velocidad de propagación.

Las frecuencias utilizadas en el caso de la madera oscilan entre 20 y 220 kHz, obteniendo los mejores resultados para frecuencias ( $f$ ) entre 40 y 50 kHz. En el caso de la madera las velocidades de propagación longitudinal ( $v$ ) se encuentran alrededor de 4 500 m/s y en dirección transversal en torno a 1 500 m/s, lo que da lugar a longitudes de onda ( $\lambda$ ) del orden de 100 y 33 mm, respectivamente ( $\lambda = v / f$ ).

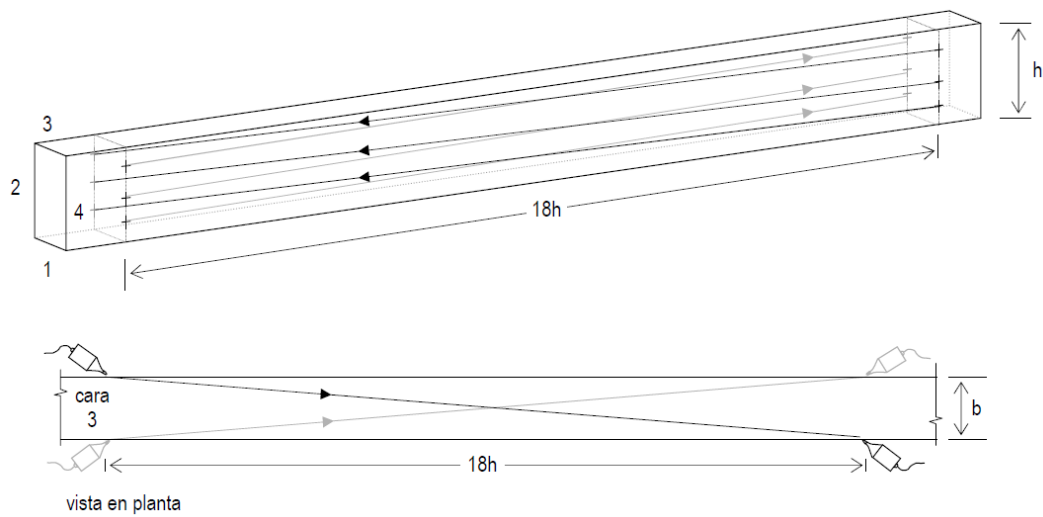
Arriaga *et al.* (2002) menciona que la técnica de ultrasonidos se ha empleado en la evaluación del estado de la madera, donde una discontinuidad en el material producto de una grieta, nudo o pudrición tiene por efecto un aumento del tiempo transcurrido de la onda hasta llegar al receptor. Pues el camino seguido es mayor al tener que sortear dichos obstáculos.

Diversos autores, entre ellos Arriaga *et al.* (2002) indican que el fundamento físico que existe entre la velocidad ( $v$ ) de propagación de onda con la densidad ( $p$ ) permite determinar el módulo de elasticidad ( $E$ ), precisando que este módulo de elasticidad dinámico tiene un valor ligeramente diferente al módulo de elasticidad estático obtenido por ensayos mecánicos. La ecuación se expresa de la forma siguiente:

$$E = v^2 \times p$$

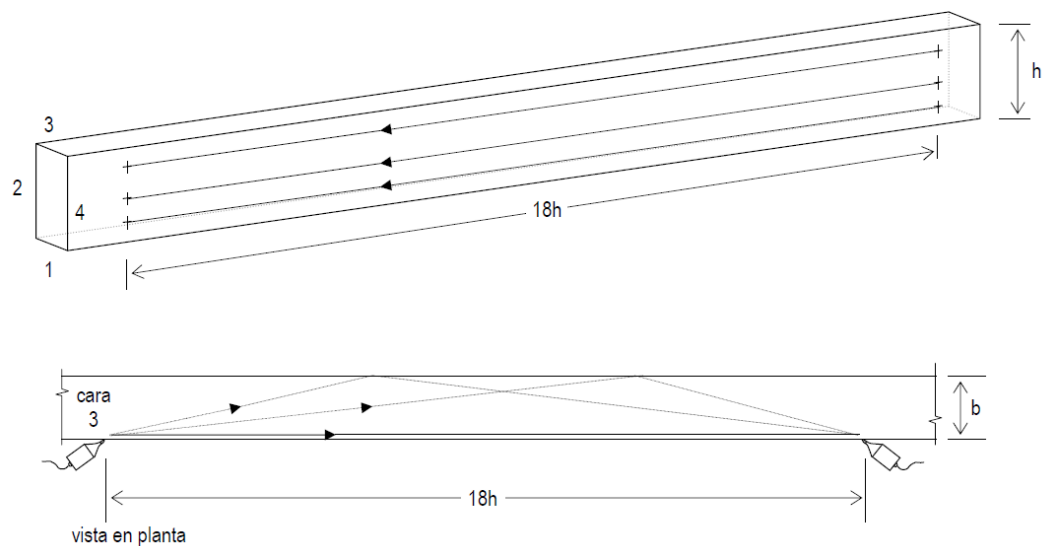
Esteban (2003), sugiere que dependiendo de las series de piezas estudiadas y de las posibilidades de los equipos empleados se realiza las mediciones que pueden caracterizar las propiedades de toda la viga o de parte de ella, ya sea en dirección paralela a la fibra, en dirección perpendicular u oblicua.

En dirección paralela realiza mediciones que se ilustran en las Figuras 4 y Figura 5. Mientras que en dirección perpendicular realiza las mostradas en la Figura 6.



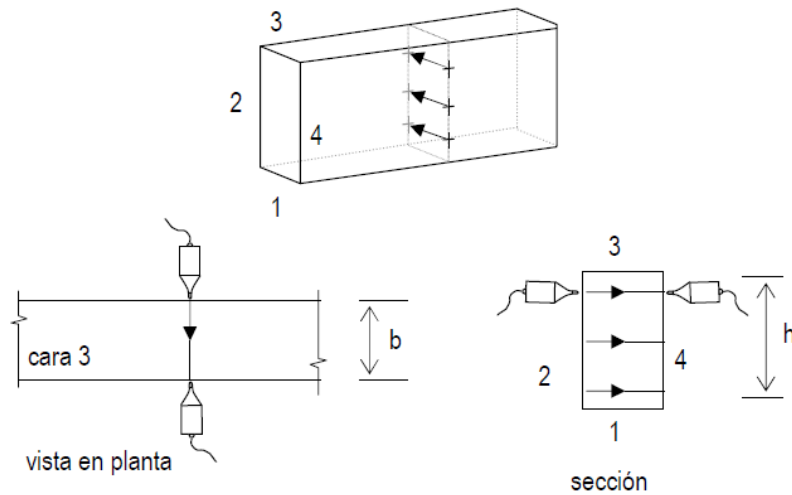
**Figura 4: Medición semidirecta cruzada**

*Fuente: Esteban, 2003.*



**Figura 5: Medición indirecta**

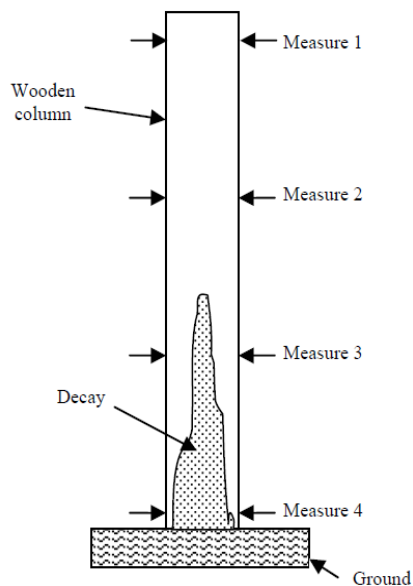
*Fuente: Esteban, 2003.*



**Figura 6: Medición directa perpendicular**

*Fuente: Esteban, 2003.*

Sandoz y Benoit (2006) mencionan que la medición transversal se utiliza principalmente para la detección de las singularidades locales, como se observa en la Figura 7. Se compara la medición realizada en una zona supuestamente sana con una zona degradada para evaluar la debilidad del material.



**Figura 7: Ejemplo del análisis de una columna de madera: comparación de mediciones a lo largo de la columna para detectar deterioro interno**

*Fuente: Sandoz y Benoit, 2006.*

Cano *et al.* (2015), al aplicar técnicas no destructivas en monumentos históricos encontró para la especie de madera *Entandropragma sp.*, aparentemente en buenas condiciones, valores referenciales de velocidad de propagación en dirección longitudinal de 4 300 m/s y en dirección transversal 1 450 m/s.

Benítez (2009) menciona que existen muchos estudios sobre la aplicación de la técnica de ultrasonido para determinar el estado y la calidad de la madera, y en la gran mayoría el coeficiente de determinación que existe entre los valores de MOE dinámico, obtenido con este método, y MOE estático, obtenido con ensayo a flexión, es elevado: mayor al 70 por ciento ( $R^2 = 0,68$  (Hermoso *et al.*, 2007);  $R^2 = 0,71$  (Conde *et al.*, 2007);  $R^2 = 0,72$  (Acuña (s/f));  $R^2 = 0,74$  (Iñiguez 2007);  $R^2 = 0,87$  (Kaiserlik 1978).

Se podría decir que es una de las técnicas de evaluación no destructivas más empleadas porque posee cuatro características determinantes: elevada fiabilidad, no requiere interpretación o recalculación de los resultados, facilidad de aplicación y posibilidad de utilizarlo in situ.

## 5.2. TÉCNICA DE EXTRACCIÓN DE TORNILLO

Esta técnica consiste en introducir un tornillo en la pieza que se desea estudiar para posteriormente arrancarlo y medir la máxima fuerza necesaria para lograrlo. Se trata de un método portátil y de fácil implantación en obra. Técnica conocida como método pseudo no destructivo.

Basterra *et al.* (2006) en el estudio “Técnicas de ensayo pseudo no destructivas en madera estructural mediante extracción de tornillos”, encontraron una relación estadísticamente significativa – con grado de confianza del 95 por ciento - entre la densidad media de las viguetas y la fuerza media de arranque obtenida en cada una de ellas. La ecuación del modelo ajustado, es la siguiente:

$$D = \frac{1}{0,93 + \frac{2,47}{F}}$$

Donde:

D = densidad en g/cm<sup>3</sup>

F = fuerza al arranque de tornillo en kN

Divos *et al.* 1999, citado por el mismo autor, en el estudio “Evaluation of the wooden structure of a Baroque palace in Papa, Hungary” utilizaron esta técnica con tornillos de 4mm de diámetro que se introducían en el material hasta 18mm y encontraron relaciones entre la fuerza de arranque y la velocidad de propagación de onda. La relación encontrada fue la siguiente:

$$MOR = 1,258 \times F \times V^2 + 36,9$$

Donde:

MOR = módulo de ruptura en MPa

F = fuerza al arranque de tornillo en kN

V = velocidad de propagación de la onda en m/s

Basterra *et al.* (2006) confirma que el extractor de tornillos también se puede utilizar con éxito como técnica de diagnóstico predictora de daños bióticos en la madera puesta en obra, ya que es capaz de detectar diferencias en la resistencia al arranque en función del estado de la madera, siempre que los estudios se realicen introduciendo el tornillo hasta la profundidad de 28 mm. Además señalan que esta aplicación es muy interesante, sobre todo en aquellos casos en los que la madera no presenta externamente indicios de degradación.

El mismo estudio menciona que el fabricante del extractor de tornillos (Fakopp Enterprise) asegura que la resistencia al arranque de tornillos es un parámetro local, pero seleccionando una posición representativa en la viga se convierte en una información útil para evaluar una estructura de madera.

### **5.3. TÉCNICA DE RESISTÓGRAFO**

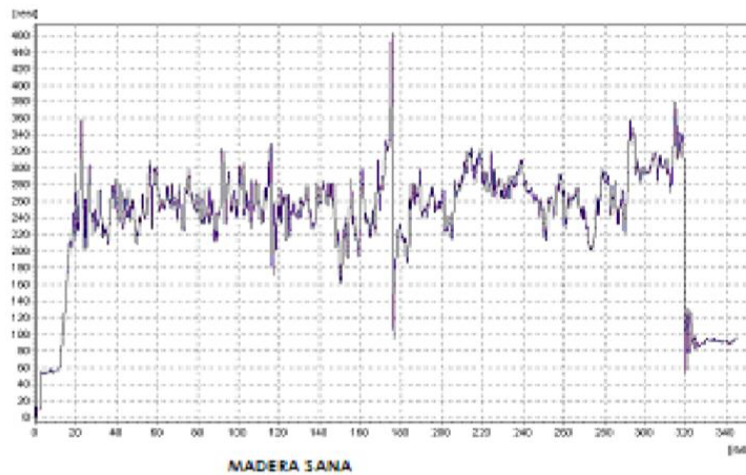
El resistógrafo consiste en un taladro mecánico que realiza una perforación de 3 mm de diámetro en la dirección radial de la sección de la pieza y que evalúa la resistencia que ofrece a la perforación (Arriaga *et al.*, 2002).

Álvarez *et al.* (2005) indica que cuando la madera presenta un ataque por hongos la resistencia a la penetración disminuye significativamente hasta un nivel constante y cuando presenta un ataque por insectos la resistencia disminuye puntualmente a medida que el resistógrafo atraviesa las galerías producidas por ellos o sus larvas. Se parte de la hipótesis de que dicha resistencia se puede relacionar con la densidad de la pieza, en el supuesto de que a mayor densidad, mayor será la oposición al paso de la aguja, o bien, y a igualdad de otras



condiciones, cuanto menor sea la resistencia al avance, mayor será el estado de degradación de la pieza. El equipo presenta la ventaja de ser portátil, presentándose así como una herramienta especialmente adecuada para la inspección de estructuras en servicio.

El estudio realizado por Acuña *et al.* (2010) sostiene que se debe tener presente que los ensayos realizados con el resistógrafo son “ensayos puntuales” y nunca deben servir para validar una pieza estructural en su conjunto. Sin embargo, el hecho de que en un resistograma se detecten fallos importantes (pequeños valores del valor medio, galerías internas, etc.) sí que supone una herramienta útil para la toma de decisiones. La Figura 8 ilustra un típico perfil resistográfico.



**Figura 8: Perfil resistográfico referencial**

*Fuente: Acuña et al., 2010.*

## **6. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DE LA MADERA**

Arriaga *et al.* (2002) menciona que la estimación de la capacidad portante no debería diferir del proceso por el que se define la resistencia de las piezas de madera. Conociendo la especie de madera y su calidad, es inmediata la asignación de una determinada clase resistente.

Sin embargo, en la práctica esta labor es más complicada debido al hecho de que la estructura ya está colocada y no siempre es fácil de inspeccionar. Resulta sencilla la identificación de la especie, pero dudosa la determinación de la calidad; las piezas suelen estar parcialmente ocultas lo que dificulta la inspección visual y además las normas de clasificación actuales están pensadas para escuadrías mucho más delgadas que las utilizadas habitualmente en edificios antiguos.

Normalmente el edificio a inspeccionar tiene una edad suficientemente elevada, como para que su historial de cargas, a lo largo de su vida, represente una prueba de carga de gran interés y fiabilidad. El tiempo depura todos los errores constructivos y estructurales que pudieran haber existido. La estructura evaluada presenta una garantía de su validez, sin entrar a considerar los posibles daños de origen biótico. Cuando se aplica la normativa actual de clasificación y las acciones a la estructura se constata que no son válida, en clara contradicción con la realidad.

Por otro lado, Sotomayor y Cruz (2004) indican en su estudio “Resistencia mecánica residual en madera estructural deteriorada” que el efecto directo en la pérdida de vitalidad de la madera es la disminución de la resistencia mecánica, consecuencia de la modificación química y el deterioro de la pared celular, provocando la destrucción del tejido leñoso y la disminución de sección resistente acompañada por fisuras, galerías y perforaciones. Un avenir promisorio de este tipo de estudios integral de una estructura de madera antigua es comparar los indicadores MOE residual y MOR residual a escala local en la geometría de las vigas u otros elementos estructurales de la edificación, con respecto a sus valores evaluados en probeta de dimensiones de empleo. Los resultados de este estudio confirman la hipótesis acerca de que la madera expuesta al ataque de agentes biológicos y a factores físicos como el intemperismo, disminuye su densidad y resistencia mecánica.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1. LOCALIZACIÓN DEL RECINTO HISTÓRICO

El Hotel El Comercio se ubica en la intersección del Jirón Ancash y Jirón Carabaya en el distrito de Lima. Por el Nor-oeste colinda con el Palacio de Gobierno y por Nor-este con la Estación Ferroviaria Central de Desamparados, como se observa en la Figura 9. También se aprecia la evolución de la construcción a lo largo de los años.



**Figura 9:** Ubicación y evolución del Hotel El Comercio

*Fuente: Ruiz, 2014.*

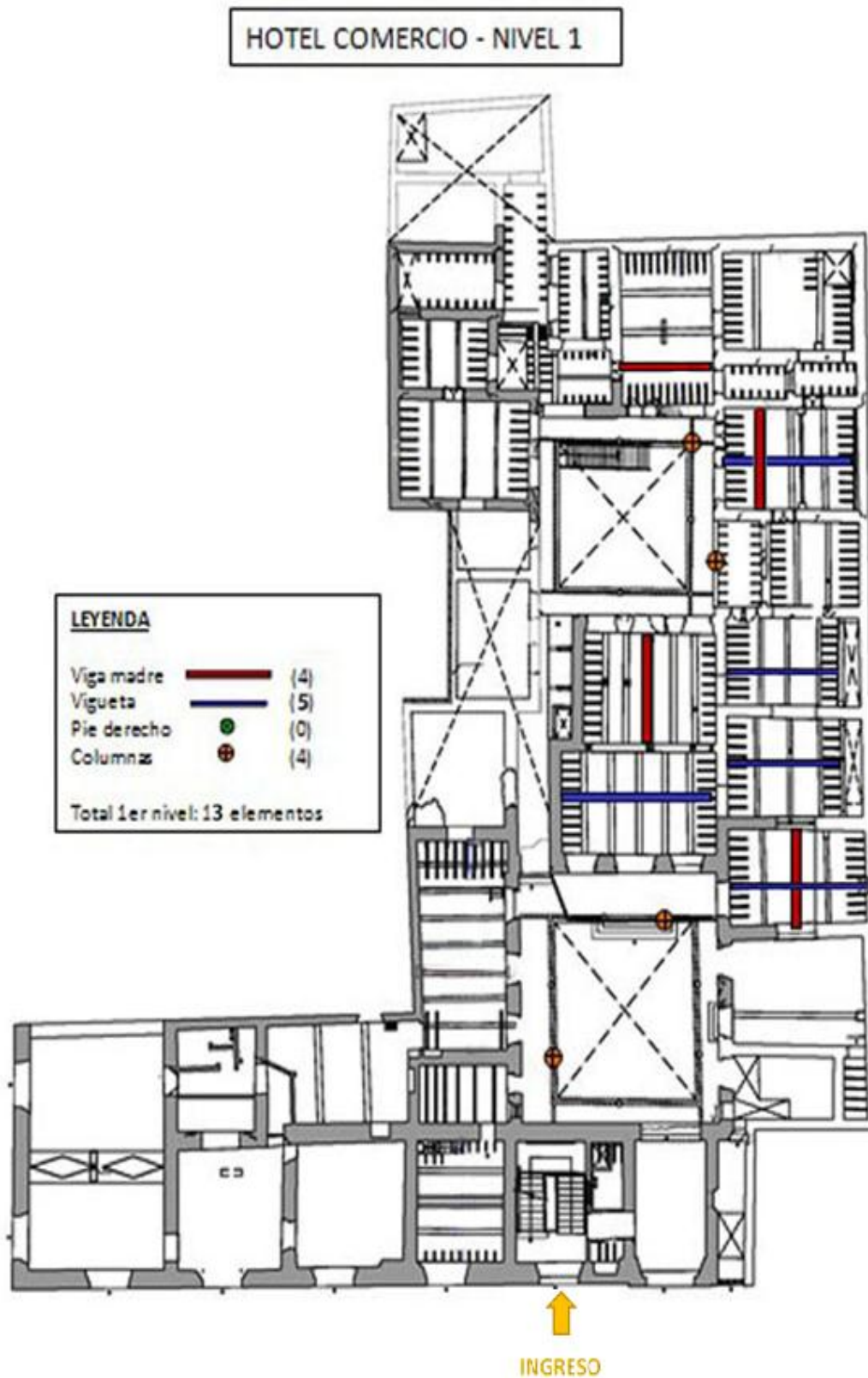
## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. ELECCIÓN DE LA MUESTRA DE ESTUDIO**

Se realizó una inspección visual preliminar dentro del recinto histórico para identificar qué ambientes se encontraban accesibles para la inspección de las piezas de madera, las cuales conformarán el material de ensayo.

La inspección se inició con la observación de los ambientes donde se encuentran las piezas de madera por seleccionar, anotando detalles relevantes como la ventilación del lugar o la existencia de sistemas de tuberías o zonas con humedad que pudiesen influenciar el estado actual de las piezas de madera. Otro detalle observado en el lugar debido a que no se encuentra habitado y con solo luz natural, es que las aves como las palomas hacen sus nidos cerca o sobre estos elementos, lo cual aumenta el deterioro de los mismos. También se tomó en cuenta que muchos de estos ambientes habían tenido intervenciones como restauración de muros, apuntalamientos y desmontaje de techos y vigas, lo que hace que muchas estructuras de madera no soporten de igual manera las cargas permanentes en relación a otras.

Los elementos de madera seleccionados, evaluados in situ, se eligieron de acuerdo al criterio de accesibilidad a la estructura y limpieza de la zona, los cuales se muestran en la Figura 10.



**Figura 10:** Vista de planta del primer piso del Hotel El Comercio, indicando los elementos estructurales de las maderas seleccionadas

*Fuente: Planos realizados por PUCP, 2013.*

Las dimensiones de estos elementos y de los ambientes en donde se encuentran, se presentan en la Tabla 1.

**Tabla 1: Dimensiones y elementos seleccionados**

AMBIENTES	DIMENSIONES (m)			# ELEMENTOS		ELEMENTOS SELECCIONADOS		
	ANCHO	LARGO	ALTURA	VIGAS	VIGUETAS	VIGAS	VIGUETAS	COLUMNAS
Ambiente 1	4,66	7,00	4,06	3	11	viga 1 (V1)	vigueta 1 (B1)	
Ambiente 2	8,22	4,87	4,13	5	11		vigueta 2 (B2)	
Ambiente 3	8,22	4,87	4,13	5	11	viga 2 (V2)		
Ambiente 4	4,83	6,65	4,00	4	11		vigueta 3 (B3)	
Ambiente 5	4,26	6,91	4,10	3	11		vigueta 4 (B4)	
Ambiente 6	4,83	6,90	4,17	3	12	viga 3 (V3)	vigueta 5 (B5)	
Ambiente 7	4,93	7,63	4,05	3	12	viga 4 (V4)		
Patio 1	9,80	10,50						Columna 1 (C1) Columna 2 (C2)
Patio 2	9,36	9,55						Columna 3 (C3) Columna 4 (C4)

*Fuente: Elaboración propia*

En relación a la identificación anatómica de los elementos de madera, estudios en la misma zona realizados por el Laboratorio de Anatomía de la Madera del Departamento Académico de Industrias Forestales de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina, corroboraron que las muestras corresponden a la especie *Entandrophragma sp.*, llamada comúnmente Caoba africana o Sapelli (Chavesta *et al.*, 2012).

## 2.2. INSPECCIÓN VISUAL DE LA MADERA

Previo a la inspección se midió el contenido de humedad con un detector eléctrico de resistencia, procediéndose luego a la inspección visual a lo largo de los elementos de madera, mediante la instalación de un andamio de un cuerpo con adaptaciones de tubos de fierro para alcanzar la altura necesaria para la evaluación de las vigas y viguetas. En el caso de las columnas, se utilizó una escalera alta. En ambos casos se utilizaron accesorios de seguridad (arneses, mascarillas, lentes, casco, etc.).

En cada elemento se ubicaron e identificaron las grietas y rajaduras y los ataques bióticos. Para ello se utilizaron punzón, espátula, martillo y formón, con las cuales se tanteaba si existía degradación bajo la superficie externa de la madera, como se aprecia en la Figura 11.



**Figura 11: Inspección superficial a lo largo de la superficie de la madera**

*Fuente: Marco Cavillini, 2015.*

El registro de los defectos encontrados en la inspección visual de las vigas y viguetas se realizó tomando como referencia la metodología propuesta por Arriaga *et al.* (2005), en este caso aplicado al registro de defectos bióticos y mecánicos observados en las caras del fondo (B) y las caras laterales, que se designaron según puntos cardinales. Consistió en establecer un eje de coordenadas colocando como (0;0) el extremo superior de cada cara del elemento para luego designar a cada defecto un código que describa la dimensión del mismo como la longitud, ancho y profundidad. Para ello se elaboró una cartilla de inspección para cada elemento como se muestra en el Anexo 4. Luego se procedió a representar gráficamente los defectos bióticos mediante un círculo u óvalo, y las grietas y rajaduras con líneas punteadas rojas.

Para la inspección visual de los cabezales de las vigas y viguetas empotrados en los muros de quincha, se realizó el destape de los cabezales accesibles y se registró la magnitud de los defectos solo en la cara frontal debido a que era riesgoso intervenir la pieza quitando material de soporte, lo cual podría producir un derrumbe. La Figura 12 ilustra el modo de inspección.



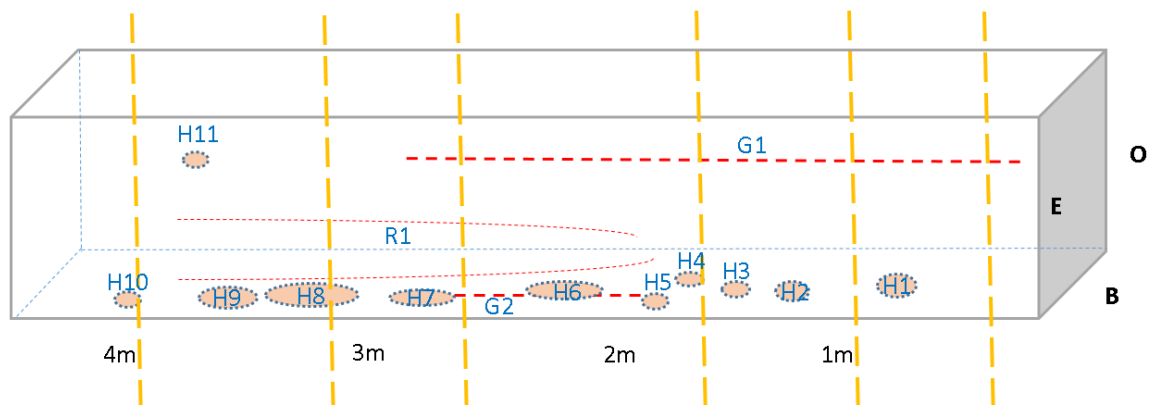
**Figura 12: Inspección superficial de los cabezales**

*Fuente: Marco Cavallini, 2015.*

Respecto a la inspección visual de las columnas, solo se identificaron las zonas más deterioradas.

### 2.3. INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA DE LA MADERA

La toma de datos con los equipos no destructivos en vigas se realizó en intervalos de un metro aproximadamente tal como se ilustra en la Figura 13. En el caso de las viguetas la evaluación se realizó en su totalidad.



**Figura 13: Intervalos de evaluación de una viga**

H = huecos, G = grietas y R = rajaduras

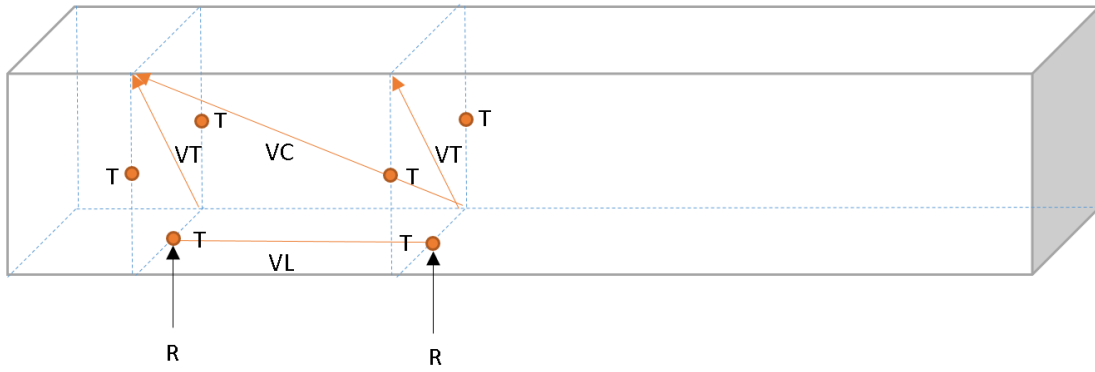
*Fuente: Elaboración propia.*



Para la inspección se utilizó un equipo de ultrasonido tipo Fakopp Microsecond Timer de 45 kHz de frecuencia, el equipo Fakopp Screw Withdrawal Force y resistógrafo IML F300. El primero mide el tiempo de recorrido de la onda. El segundo, la fuerza de extracción para estimar la densidad mediante la ecuación propuesta por Basterra *et al.* (2006); así mismo, la densidad calculada permite estimar el módulo de elasticidad (MOE) dinámico y módulo de rotura (MOR). Este último utilizando la ecuación propuesta por el mencionado autor.

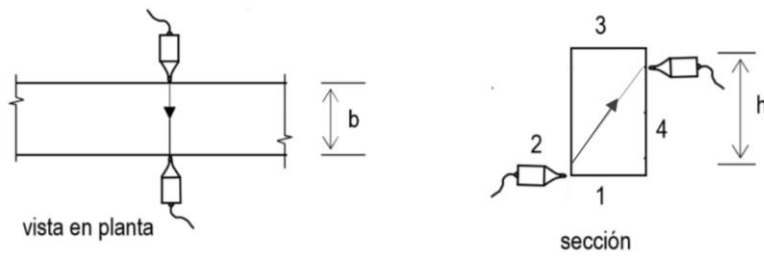
Para la inspección del estado biótico se utilizó el resistógrafo, que generó gráficas del perfil central de cada intervalo de inspección. El resistógrafo se introdujo en una sola dirección, de la cara inferior a la superior de las vigas y viguetas. En el caso de las columnas, la dirección de penetración del resistógrafo fue de Este a Oeste y en tres puntos a lo largo de la columna: parte superior, centro y base.

La información obtenida en vigas y viguetas utilizando el equipo Microtimer second se realizó aplicando la metodología propuesta por Esteban (2003), en medición cruzada e indirecta según los intervalos de inspección, como se ilustra en la Figura 14. Se codificó la medición de estas velocidades (VT = velocidad transversal, VC = velocidad cruzada, VL = velocidad longitudinal, T = extractor de tornillo y R = resistógrafo). En el caso de la medición perpendicular se hizo una variación como se ilustra en la Figura 15. Esta variación se hizo con la finalidad de recorrer mayor tramo de la sección evaluada. En la teoría, generalmente se realiza colocando a la misma altura los pines. En relación a las columnas, la toma de datos se realizó aplicando la metodología propuesta por Sandoz y Benoit (2006) agregando la medición cruzada. Se realizaron tres mediciones transversales, a 15 cm del tope, a la mitad de la columna y a 15 cm de la base. La medición cruzada se realizó en dos zonas, la mitad superior e inferior de la columna, como se aprecia en la Figura 16. Se codificó la medición de esta velocidad para esta estructura (VT=Velocidad transversal, VC=Velocidad cruzada).



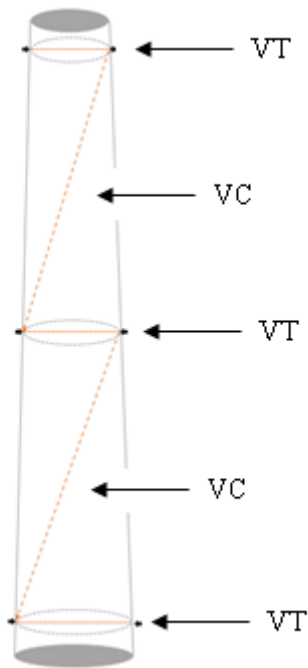
**Figura 14: Medición por intervalos**

*Fuente: Elaboración propia.*



**Figura 15: Medición colocando los pines en caras opuestas a diferente altura**

*Fuente: Esteban, 2003.*



**Figura 16: Medición en columnas**

*Fuente: Elaboración propia.*

La toma de datos con el Extractor de tornillos se realizó en las tres caras de la viga a la misma altura, como se aprecia en la Figura N° 18. Para las viguetas solo se hizo la medida en la cara inferior debido a que la distancia entre vigueta y vigueta era menor al tamaño del equipo, lo que no permitía su ingreso en el espacio entre ellas.



**Figura 17: Medición en la cara lateral de la pieza**

*Fuente: Elaboración propia.*

## **2.4. VALIDACIÓN DE LAS MEDICIONES CON EQUIPOS DE ULTRASONIDO Y EXTRACTOR DE TORNILLO**

### **2.4.1. ULTRASONIDO**

Se seleccionó un bloque de una viga de la especie en estudio de 25 x 25 x100 cm de las que se prepararon probetas de 2,5 x 2,5 x 41cm, seleccionándose al azar 24 unidades. Se determinó la velocidad de onda, humedad y procediéndose luego a realizar los ensayos destructivos en flexión estática según norma NTP 251.017.2004 “Madera: métodos para determinar la flexión”. Para la validación del MOE dinámico (no destructivo) y MOE estático (destructivo) se determinó  $R^2$ , utilizando la fórmula propuesta por diversos autores, entre ellos Arriaga *et al.* (2002) que se indica en la literatura.

#### **2.4.2. EXTRACTOR DE TORNILLOS**

Los valores estimados por las ecuaciones propuestas por Basterra *et al.* (2006) para la densidad y el MOR mediante la resistencia al arranque de tornillos (Fuerza), son contrastados con los valores obtenidos mediante ensayos destructivos y para su validación se determinó  $R^2$ .

#### **2.5. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE DE LA MADERA**

Esta evaluación se realizó basándonos en la clasificación visual y mediante la aplicación de técnicas no destructivas.

##### **2.5.1. MÉTODOS DE CLASIFICACIÓN VISUAL**

En la clasificación visual es fundamental la identificación de la especie y la calidad de la madera. Desde el punto de vista resistente se evaluó en función de la cantidad y tamaño de los defectos presentes en las piezas según normas.

Para el estudio se contrastaron las normas NTP 251.104 (2011) “Madera aserrada para uso estructural. Clasificación visual y requisitos”, UNE 56.544 (2001) “Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: madera de coníferas”, NF B 52-001 (1998) “Reglas de utilización de la madera en la construcción: Clasificación visual para su empleo en estructuras para las principales especies coníferas y frondosas”, y DIN 4074 (1989) “Clasificación de la madera aserrada para uso estructural”; que luego de homologarlas, se decidió considerar las Normas NTP 251.104 y UNE 56.544 para la clasificación visual, como se observa en la Tabla 2. Esto debido a que la Norma NF B 52-001 menciona que para las clases resistentes de frondosas no tiene en cuenta la presencia de grietas en la madera, no son relevantes para castigar la calidad de la madera. En el caso de los ataques bióticos, indica dos agentes bióticos puntuales los cuales no se desarrollan en nuestras maderas. Referente a la Norma DIN 4074 menciona que para el caso de grietas, solo se considera admisible en aquellas ocasionadas por el secado de la madera y no admite grietas por rayos, heladura y acebolladura.

**Tabla 2: Normas utilizadas para la clasificación visual de las piezas tomando en cuenta solo los defectos de grietas y rajaduras**

<b>DEFECTOS</b>	<b>NTP 251.104</b>		<b>UNE 56.544</b>	
Grietas	Superficiales	Ilimitado en cara y canto	Fendas no atraviesan la pieza	
	Profundas	Suma de long: Máx. 1/4 long. Pieza	Calidad ME-1	Long. < a 1/4 long. Pieza. Máx. 1000mm
		Ancho: Máx. 2mm	Calidad ME-2	Long. < a 1/2 long. Pieza. Máx. 1500mm
Rajaduras	En un solo extremo	Long.:Máx. 5% long. Pieza	Fendas atraviesan la pieza	
			Calidad ME-1	Long. < al ancho de la pieza. Solo se admite en la testa
			Calidad ME-2	Long. < 1/4 long. Pieza. Máx. 1000mm. En testa, long. < 2 ancho

*Fuente: Elaboración propia.*

No se pudo evaluar defectos tales como los originados por la constitución anatómica de la especie como la desviación de la fibra, nudos, entre otros, debido a que las piezas evaluadas estaban cubiertas por una gruesa capa de pintura que distorsionaban una adecuada inspección. En relación a este inconveniente, Arriaga *et al.* (2002) indica que tales defectos en una pieza de madera que ha soportado cargas durante tanto tiempo ya no son relevantes. Por ello, la evaluación se orientó a identificar grietas, rajaduras y zonas de ataque biológico, tanto termitas como hongos de pudrición.

Paralelamente se propone una clasificación visual tomando en consideración sólo los defectos por ataque biótico (termitas de madera seca y hongos de pudrición) a lo largo de las vigas, viguetas y columnas; y en el caso de las vigas se tomó en cuenta el estado de los cabezales destapados. Con ello se formuló el siguiente criterio de clasificación visual, según el área en cada cara del elemento: C1 (deterioro  $\leq 25\%$ ), C2 ( $25\% < \text{deterioro} < 50\%$ ) y C3 (deterioro  $\geq 50\%$ ).

### **2.5.2. MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS**

En relación a la aplicación de técnicas no destructivas, se tomó en cuenta para el análisis de los datos obtenidos de la aplicación de los equipos no destructivos en los elementos de madera in situ el estudio de Sotomayor y Cruz (2004) que sugieren el cálculo del MOE residual y el MOR residual como indicadores para la determinación de la disminución de densidad y resistencia mecánica de la madera en obra.

Por lo que, se calcularon los parámetros de resistencia MOE y MOR, para luego hacer el análisis residual de dichos valores tomando como referencia los datos obtenidos de madera libre de defectos.

La utilización del resistógrafo complementó la inspección visual de las estructuras, y se calculó el porcentaje de pérdida de resistencia a la penetración mediante la medición de los altos y bajos de cada gráfica.

Al igual que en la clasificación visual, se formuló el mismo criterio de clasificación aplicado al porcentaje residual de MOR y MOE para luego generar un diagnóstico: C1 = Bueno, C2 = Regular y C3 = Malo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

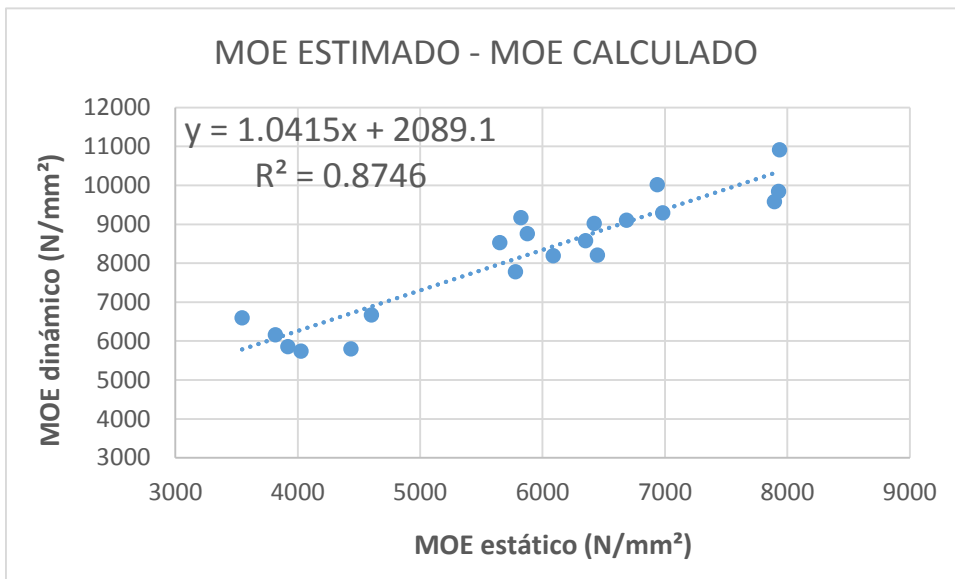
### 1. VALIDACIÓN DE EQUIPOS DE ULTRASONIDO Y EXTRACTOR DE TORNILLO

#### 1.1. DE LAS DETERMINACIONES MEDIANTE ULTRASONIDOS

En relación a los resultados de los MOE dinámico (no destructivo) longitudinal y MOE estático (destructivo) la Tabla 3 muestra los valores hallados, los cuales presentan un  $R^2$  de 0,55 aproximadamente, si bien es cierto que este valor es inferior a los mencionados por Benítez (2009), hay que tener en cuenta que en el estudio se han hecho ensayos con un número limitado de repeticiones; sin embargo se puede decir estas variables presentan un alto grado de asociación ( $r = 0,74$ ). La Figura 18 ilustra la condición de las probetas según ataque biótico.

Tabla 3: MOE dinámico y MOE estático en probetas

<i>PROBETA N°</i>	<i>DENSIDAD (g/cm<sup>3</sup>)</i>	<i>MOE destructivo (N/mm<sup>2</sup>)</i>	<i>MOE no destructivo (N/mm<sup>2</sup>)</i>
A7	0,44	6937,8	10013,4
A8	0,43	6687,7	9099,9
B7	0,42	7936,2	10913,9
B1	0,42	6421,4	9019,4
A5	0,41	7895,9	9578,0
A4	0,41	6352,1	8578,6
C2	0,41	1117,9	8228,1
B6	0,40	7929,6	9845,8
A6	0,40	6980,8	9291,9
A3	0,39	5824,7	9172,8
A1	0,38	6086,4	8189,7
B2	0,38	5876,2	8758,7
B4	0,37	5651,3	8529,9
C3	0,37	3545,0	6593,5
B8	0,36	6447,7	8208,2
A2	0,36	5779,8	7783,1
B3	0,34	4602,3	6671,4
C1	0,34	3919,1	5855,5
B5	0,32	4434,5	5798,0
C6	0,32	4027,8	5739,7
C7	0,32	3817,6	6155,6



**Figura 18: Coeficiente de determinación del MOE dinámico vs MOE estático**

### 1.2. DE LAS TERMINACIONES MEDIANTE EXTRACTOR DE TORNILLO

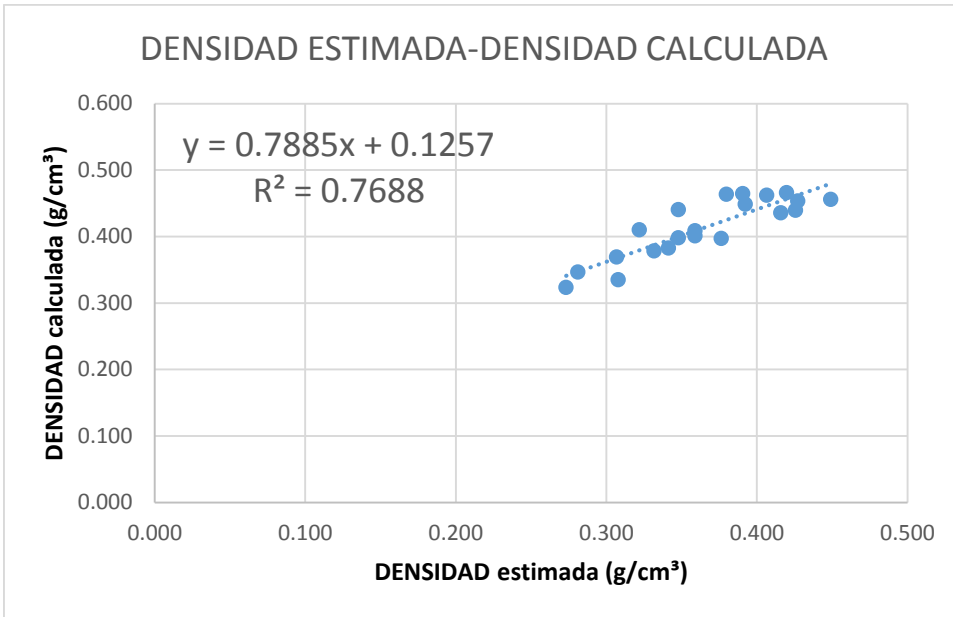
Los valores estimados por las ecuaciones propuestas por Basterra (2006) para la densidad y el MOR mediante la resistencia al arranque de tornillos (Fuerza); así como los valores experimentales, se presentan en el Tabla 4.



**Tabla 4: Valores estimados de MOR y densidad**

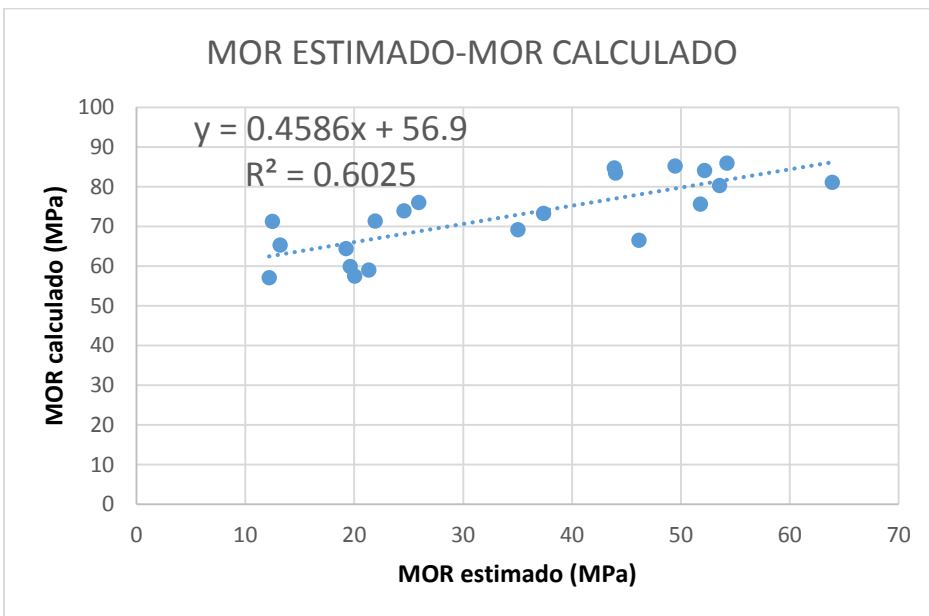
<b>PROBETA N°</b>	<b>NO DESTRUCTIVO</b>			<b>DESTRUCTIVO</b>	
	<b>Fuerza (kN)</b>	<b>DENSIDAD ESTIMADA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MOR (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>DENSIDAD EXPERIMENTAL (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>MOR (N/mm<sup>2</sup>)</b>
A8	1,70	0,420	80,3	0,466	53,5
B1	1,52	0,391	75,6	0,464	51,7
C2	1,45	0,380	71,3	0,464	12,4
A7	1,62	0,407	81,1	0,462	63,9
A4	1,91	0,449	84,1	0,456	52,1
A5	1,75	0,427	85,9	0,454	54,2
B7	1,53	0,392	84,7	0,448	43,8
B6	1,27	0,348	73,9	0,441	24,5
A6	1,74	0,426	85,2	0,440	49,4
A3	1,68	0,416	83,4	0,436	43,9
A1	1,14	0,322	66,5	0,410	46,1
B2	1,33	0,359	73,3	0,409	37,4
C3	1,33	0,359	65,3	0,401	13,1
B8	1,27	0,348	71,4	0,398	21,9
B4	1,43	0,376	76,0	0,397	25,9
A2	1,24	0,341	69,1	0,383	35,0
B3	1,19	0,332	64,4	0,378	19,2
C1	1,06	0,307	59,0	0,369	21,3
B5	0,94	0,281	57,1	0,347	12,1
C6	1,07	0,308	59,9	0,335	19,6
C7	0,91	0,273	57,4	0,324	20,0

En relación a la densidad estimada y experimental el valor de  $R^2 = 0,77$  (Figura 19) indican que la expresión propuesta por Basterra (2006) proporciona valores apropiados para este especie, sin embargo es conveniente hallar una relación específica para la madera en estudio.



**Figura 19: Coeficiente de determinación de la densidad estimada vs densidad calculada**

Respecto al MOR estimado por la expresión propuesta por Basterra (2006) y contrastados con los obtenidos mediante ensayos destructivos, se tiene que el coeficiente de determinación alcanza un de  $R^2 = 0,60$ , valor que puede considerarse apropiado, sin embargo es recomendable estimar la ecuación para la especie en estudio.



**Figura 20: Coeficiente de determinación del MOR estimado vs MOR experimental**

## 2. DE LA INSPECCIÓN A LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

### 2.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad promedio de los elementos estructurales inspeccionados in situ es de 13,5 por ciento. En la tabla 5 se detalla la humedad de cada elemento. Dichos valores están en concordancia con las condiciones meteorológicas del lugar.

**Tabla 5: Contenido de humedad de los elementos estructurales**

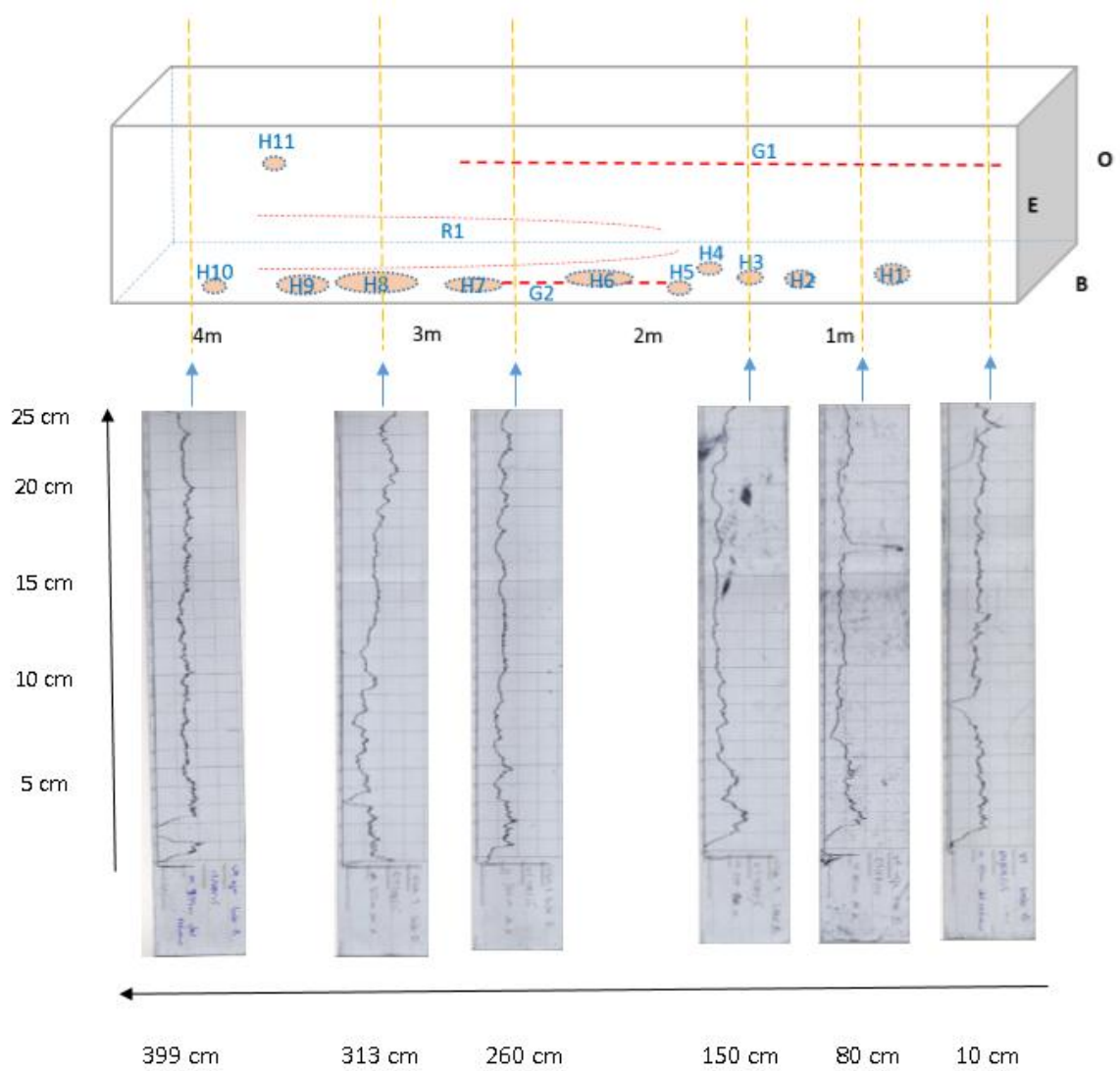
<b>ELEMENTO ESTRUCTURAL</b>	<b>Nº</b>	<b>CONTENIDO HUMEDAD (%)</b>
VIGAS	V1	14
	V2	13
	V3	13
	V4	14
VIGUETAS	B1	13
	B2	15
	B3	13
	B4	13
	B5	13
COLUMNAS	C1	15
	C2	13
	C3	13
	C4	14

### 2.2. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

#### 2.2.1. VIGAS

La inspección visual en la viga 1 indica un regular ataque biótico a lo largo de la cara B y un severo desgarro de fibras en la arista B – O, originado por una rajadura que compromete un poco más de la mitad de la pieza. También presenta grietas superficiales y profundas. La Figura 21 ilustra la distribución de estos defectos.

En relación a las mediciones con el resistográfico, las gráficas obtenidas según los intervalos establecidos, muestran una resistencia a la penetración del resistógrafo variada a lo largo de la pieza; siendo la más baja en el intervalo de 80 - 150 cm (Figura 21).

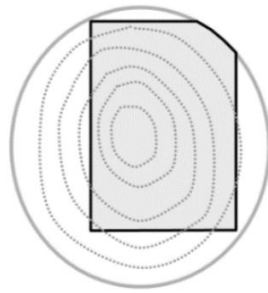


**Figura 21: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 1.**

Respecto al estado de la cara frontal del cabezal del lado Sur de esta viga se observó una grieta superficial y duramen incluido, como se aprecia en la Figura 22. Las dimensiones de los defectos, de acuerdo a las coordenadas, tanto en las caras longitudinales como del cabezal se presentan en el Anexo 4.



Cabezal Sur



Sección referencial

**Figura 22: Visualización frontal del cabezal de la viga 1.**

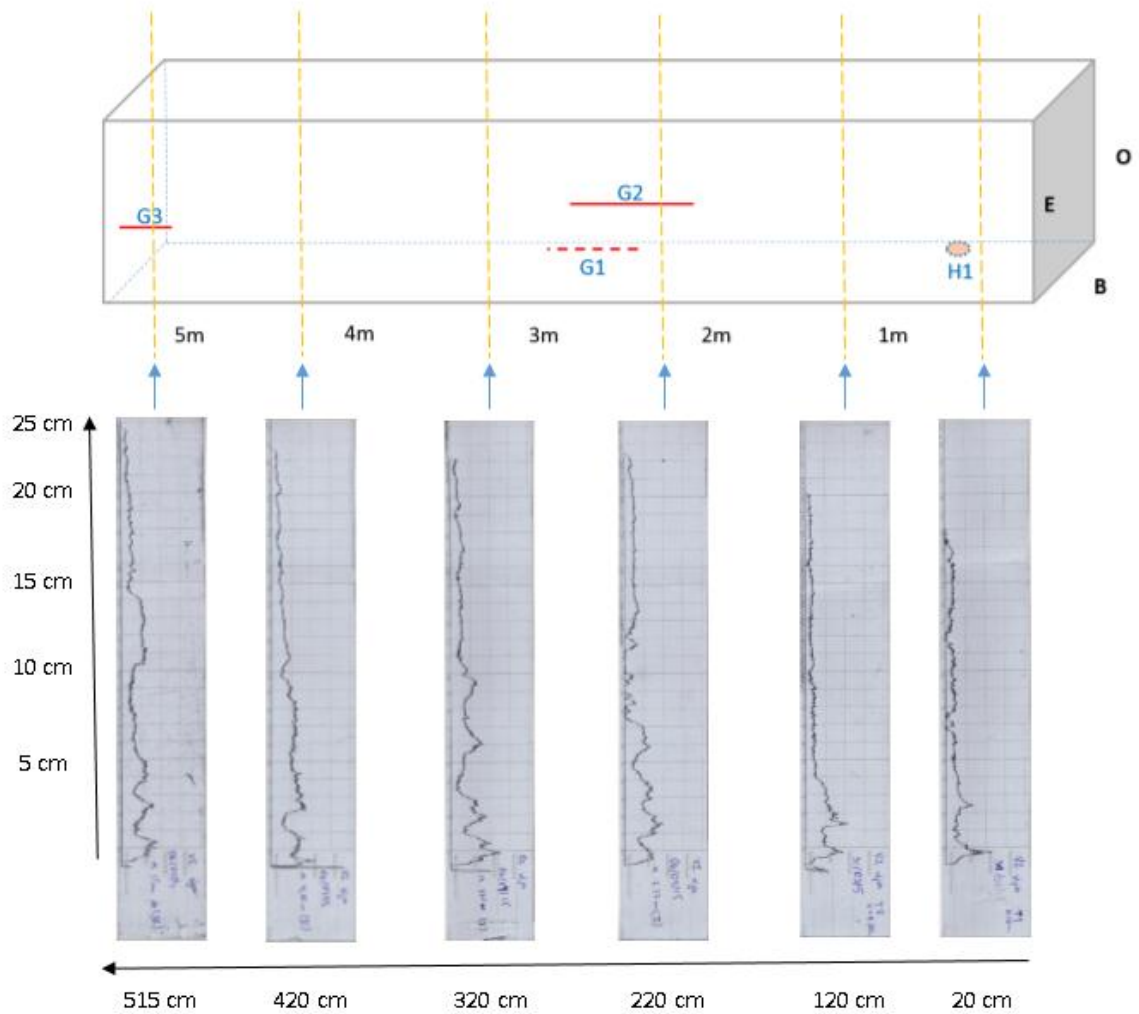
En relación a la inspección con el equipo de ultrasonido y extractor de tornillos, los resultados se presentan en la Tabla 6.

**Tabla 6: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en las tres caras inspeccionadas de la viga 1 por intervalos**

INTERVALOS	VELOCIDAD (m/s)			FUERZA (kN)		
	TRANSVERSAL	CRUZADA	LONGITUDINAL	E	B	O
10 cm	1678,5	2585,6	2852,5	1,3	1,2	1,1
80 cm	1731,0	2795,5	2529,5	0,9	1,2	1,3
150 cm	1860,9	3517,4	3818,6	1,2	1,5	1,3
260 cm	1803,9	892,2	2618,6	1,0	1,3	1,4
313 cm	1451,0	2944,5	2088,7	1,1	1,6	1,3
399 cm	1968,8			1,4	1,2	1,2

En la inspección visual de la VIGA 2 no se observó daño biótico pero si grietas con poca relevancia, como se representa en la Figura 23.

En relación a las mediciones con el resistógrafo, las gráficas obtenidas según los intervalos establecidos muestran una resistencia a la penetración del resistógrafo similar a lo largo de la pieza; excepto en el intervalo de 120 - 220 cm que presenta una resistencia baja. (Figura 23).



**Figura 23: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 2.**

Respecto al estado de la cara frontal del cabezal del lado Sur no se observó grietas ni ataques bióticos a diferencia del cabezal del lado Norte que presentó ataque biótico, como se aprecia en la Figura 24. Las dimensiones de los defectos, de acuerdo a las coordenadas, tanto en las caras longitudinales como del cabezal se presentan en el Anexo 4.



**Figura 24: Visualización frontal de los cabezales de la viga 2.**

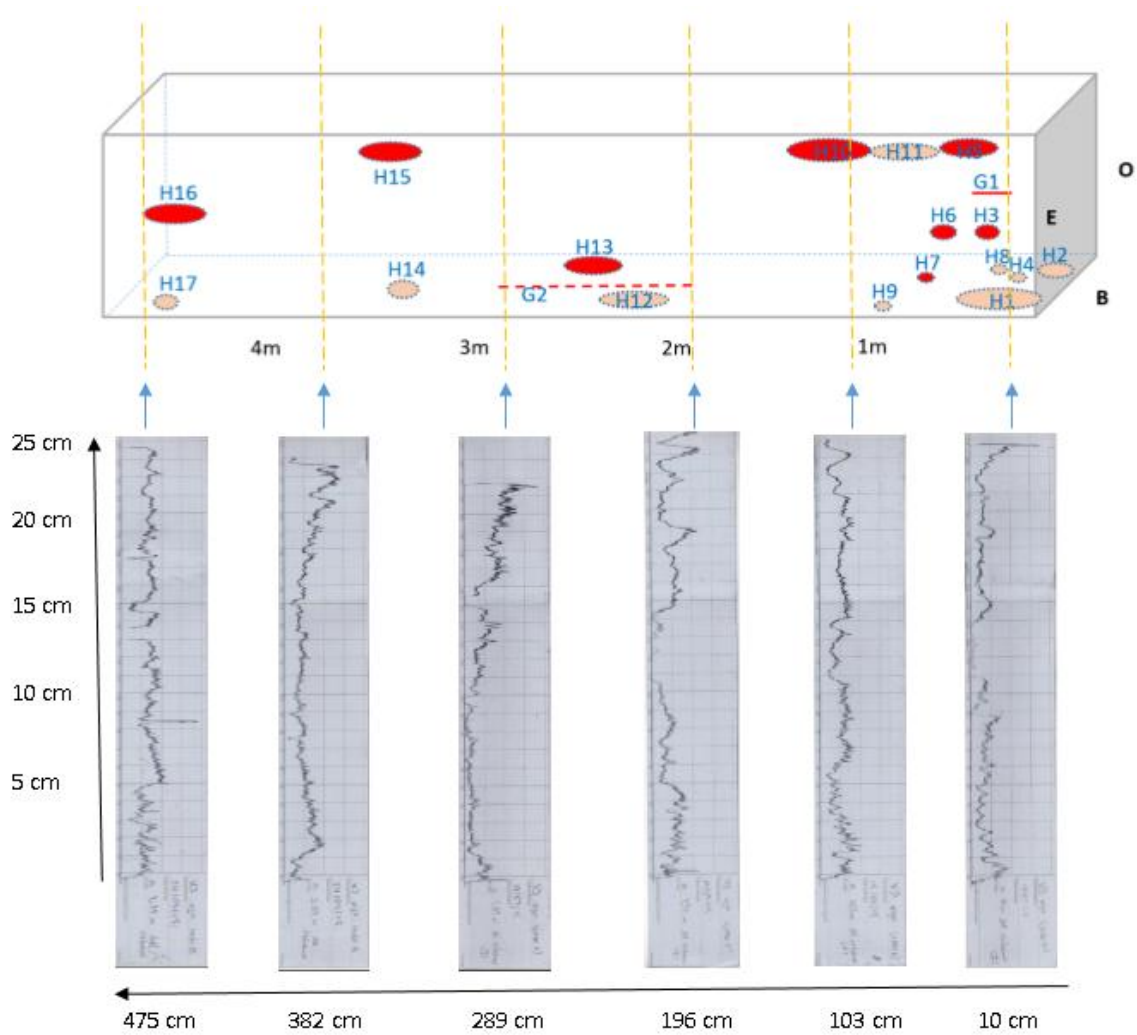
En relación a la inspección con el equipo de ultrasonido y extractor de tornillos, los resultados se presentan en la Tabla 7.

**Tabla 7: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en las tres caras inspeccionadas de la viga 2 por intervalos**

<b>INTERVALOS</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>			<b>FUERZA (kN)</b>		
	<b>TRANSVERSAL</b>	<b>CRUZADA</b>	<b>LONGITUDINAL</b>	<b>E</b>	<b>B</b>	<b>O</b>
20 cm	1446,5	1706,3	3014,5	1,3	1,5	1,9
120 cm	1329,1	3032,8	2300,3	1,7	1,3	1,9
220 cm	1527,4	3340,0	2293,2	1,9	1,7	2,1
320 cm	1521,7	3079,4	2192,7	1,5	1,2	1,3
420 cm	1741,8	2827,0	2200,7	0,4	1,4	1,0
515 cm	1421,4			1,5	2,1	1,6

La inspección visual de la VIGA 3 indica regular ataque biótico a lo largo de la estructura concentrándose en el primer tercio cercano al cabezal del lado Norte, el cual se presentó ataque biótico por hongos de pudrición en toda la sección del cabezal. También se observó la presencia de grietas superficiales. La Figura 25 ilustra la distribución de estos defectos.

En relación a las mediciones con el resistógrafo, las gráficas obtenidas según los intervalos establecidos muestran una resistencia a la penetración del resistógrafo variada a lo largo de la pieza siendo la más baja en el intervalo de 196-289 cm (Figura 25).



**Figura 25: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 3.**

Respecto al estado de la cara frontal del cabezal del lado Sur se observó regular ataque biótico y grietas en dirección de los radios y en el cabezal del lado Norte se observó pudrición en toda la sección, como se aprecia en la Figura 26. Las dimensiones de los defectos, de acuerdo a las coordenadas, tanto en las caras longitudinales como del cabezal se presentan en el Anexo 4.

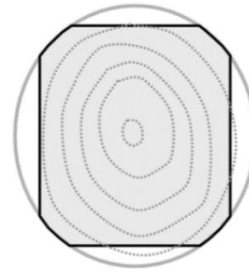




Cabezal Sur



Cabezal Norte



Sección referencial

**Figura 26: Visualización frontal de los cabezales de la viga 3.**

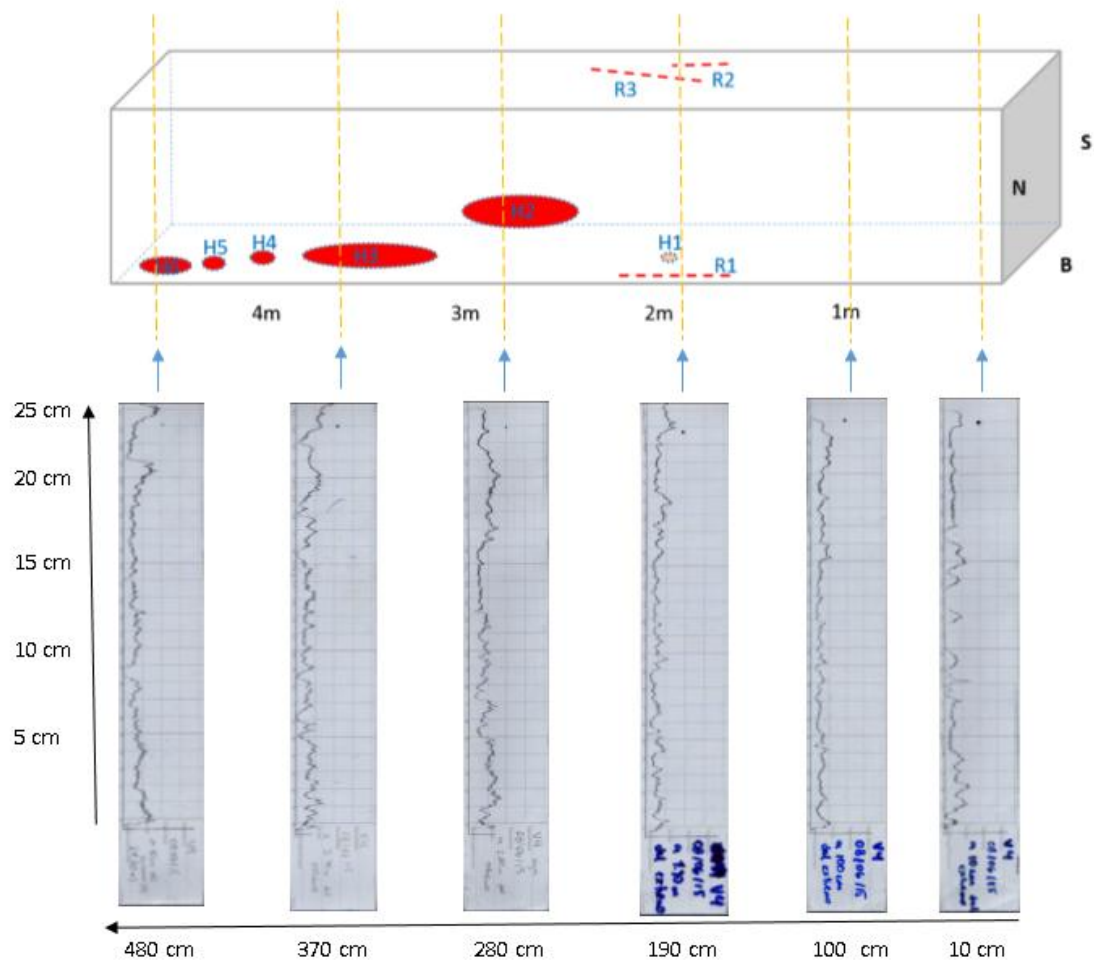
En relación a la inspección con el equipo de ultrasonido y extractor de tornillos, los resultados se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en las tres caras inspeccionadas de la viga 3 por intervalos**

INTERVALOS	VELOCIDAD (m/s)			FUERZA (kN)		
	TRANSVERSAL	CRUZADA	LONGITUDINAL	E	B	O
10 cm	1314,4	2382,2	2671,9	2,1	1,7	2,1
103 cm	1322,3	2538,2	2911,7	2,0	2,2	2,5
196 cm	1419,1	2750,9	2097,4	1,9	1,9	2,5
289 cm	1569,6	3127,1	3911,9	2,4	2,2	1,8
382 cm	1471,7	3397,5	4695,4	1,8	1,6	1,4
475 cm	1389,7			1,7	1,9	1,4

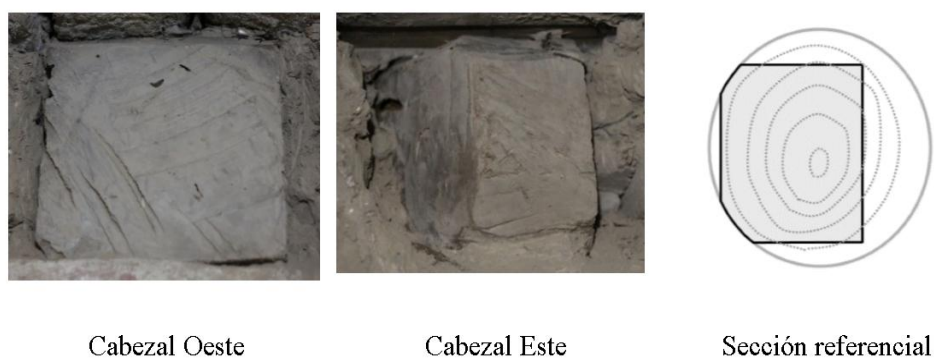
La inspección visual en la VIGA 4 indica un regular ataque biótico a lo largo de la cara N y presenta grietas superficiales y profundas. La Figura 27 ilustra la distribución de estos defectos.

En relación a las mediciones con el resistógrafo, las gráficas obtenidas según los intervalos establecidos muestran una resistencia a la penetración similar a lo largo de la pieza siendo la más baja en el intervalo de 10 a 100 cm (Figura 27).



**Figura 27: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 4.**

Respecto estado de la cara frontal del cabezal del lado Oeste no registró ataque biótico relevante y el cabezal Este presento leve ataque biótico, como se aprecia en la Figura 28. Las dimensiones de los defectos, de acuerdo a las coordenadas, tanto en las caras longitudinales como del cabezal se presentan en el Anexo 4.



**Figura 28: Visualización frontal de los cabezales de la viga 4.**

En relación a la inspección con el equipo de ultrasonido y extractor de tornillos, los resultados se presentan en la Tabla 9.

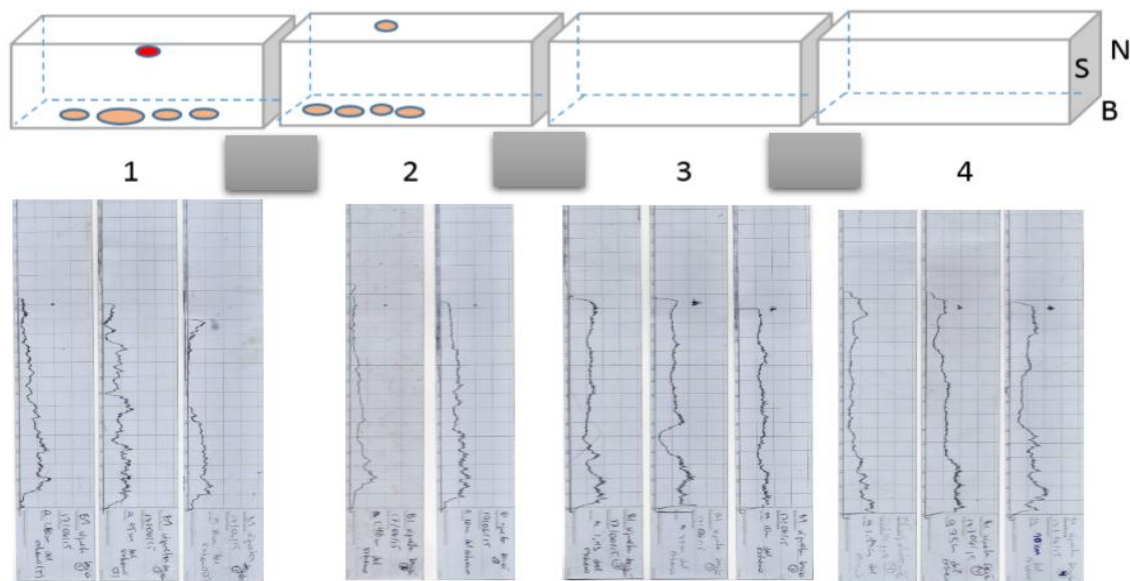
**Tabla 9: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en las tres caras inspeccionadas de la viga 3 por intervalos**

<b>INTERVALOS</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>			<b>FUERZA (kN)</b>		
	<b>TRANSVERSAL</b>	<b>CRUZADA</b>	<b>LONGITUDINAL</b>	<b>E</b>	<b>B</b>	<b>O</b>
10 cm	1250,4	2678,0	2223,7	1,0	1,5	1,2
100 cm	1145,4	931,0	1963,4	1,8	1,3	1,0
190 cm	1224,1	888,7	2659,6	1,5	1,2	1,1
280 cm	1159,1	916,1	3026,2	2,4	1,6	1,5
370 cm	1177,8	787,8	2336,8	2,2	1,9	1,9
480 cm	1266,7			1,6	1,8	1,9

### **2.2.2. VIGUETAS**

La VIGUETA 1 consta de 4 secciones, de las cuales la primera y segunda sección se observaron regular ataque biótico en la cara inferior de la pieza.

En relación a las mediciones con el resistógrafo, las gráficas muestran una resistencia a la penetración variada a lo largo de la pieza siendo la más baja en la sección 1 y 2. (Figura 29).



**Figura 29: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la vigueta 1.**

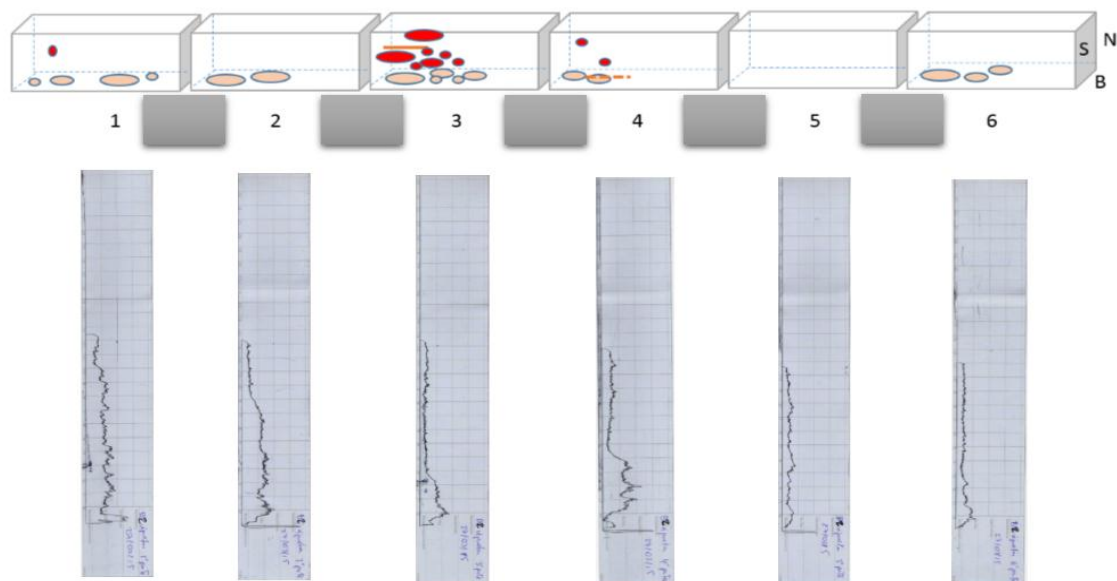
Los resultados con los equipos no destructivos, ultrasonido y extractor de tornillos se presentan en la Tabla 10.

**Tabla 10: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la vigueta 1 por secciones**

<b>VIGUETA N° 1 (B1)</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>			<b>Fuerza (kN)</b>
	<b>Transversal</b>	<b>Cruzada</b>	<b>Longitudinal</b>	
SECCIÓN 1	1279,6	2486,3	4644,0	1,50
SECCIÓN 2	1707,2	2650,1	2368,2	1,51
SECCIÓN 3	1606,4	2876,3	4284,8	1,67
SECCIÓN 4	1551,4	2726,9	2894,1	1,67

La VIGUETA 2 consta de seis secciones, de las cuales uno no presenta ataques bióticos. En el resto de secciones se observa ataque biótico regular con mayor incidencia en la cara inferior de la pieza.

En relación a las mediciones con el resistógrafo, las gráficas muestran una resistencia a la penetración variada a lo largo de la pieza siendo la más baja en la sección 3, 5 y 6. (Figura 30).



**Figura 30: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 2.**

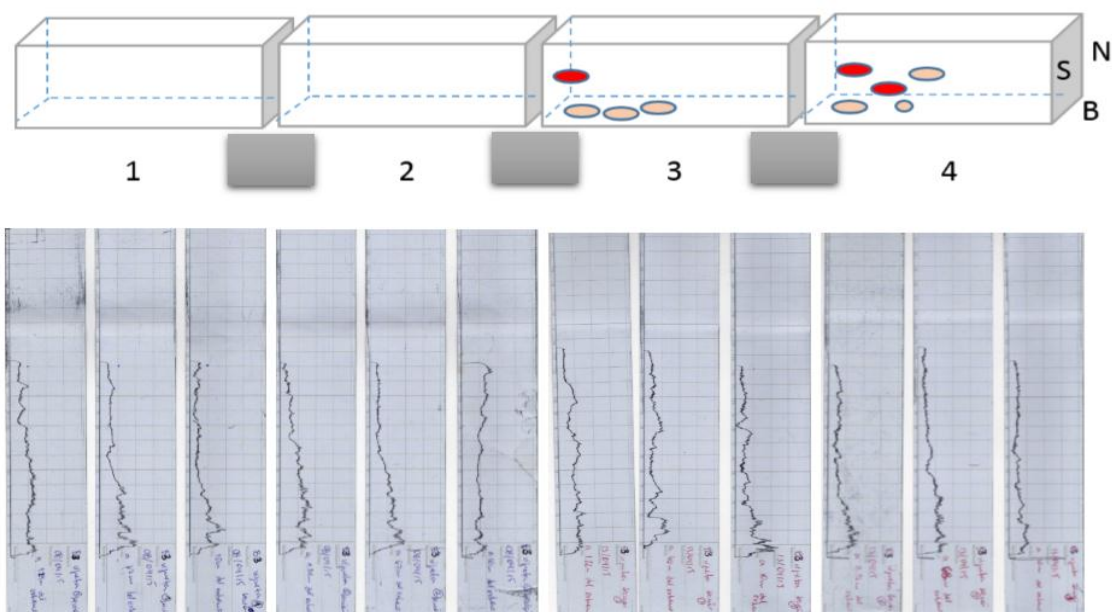
Los resultados con los equipos no destructivos, ultrasonido y extractor de tornillos se presentan en la Tabla 11.

**Tabla 11: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la viga 2 por secciones**

VIGUETA N° 2 (B2)	VELOCIDAD (m/s)			Fuerza (kN)
	Transversal	Cruzada	Longitudinal	
SECCIÓN 1	1400,8	3907,5	4115,2	1,32
SECCIÓN 2	1187,2	2369,3	2371,2	1,26
SECCIÓN 3	1051,9	4022,0	3902,4	0,97
SECCIÓN 4	620,3	3686,5	2922,8	1,26
SECCIÓN 5	1144,6	3049,5	2284,5	1,24
SECCIÓN 6	1054,0	1643,0	1905,4	1,19

La VIGUETA 3 consta de cuatro secciones, de las cuales se observó leve ataque biótico en la sección 3 y sección 4 de la pieza.

En relación a las mediciones con el resistógrafo, las gráficas muestran una resistencia a la penetración similar a lo largo de la pieza siendo la más baja en la sección 3 y 4. (Figura 31).



**Figura 31: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la vigueta 3.**

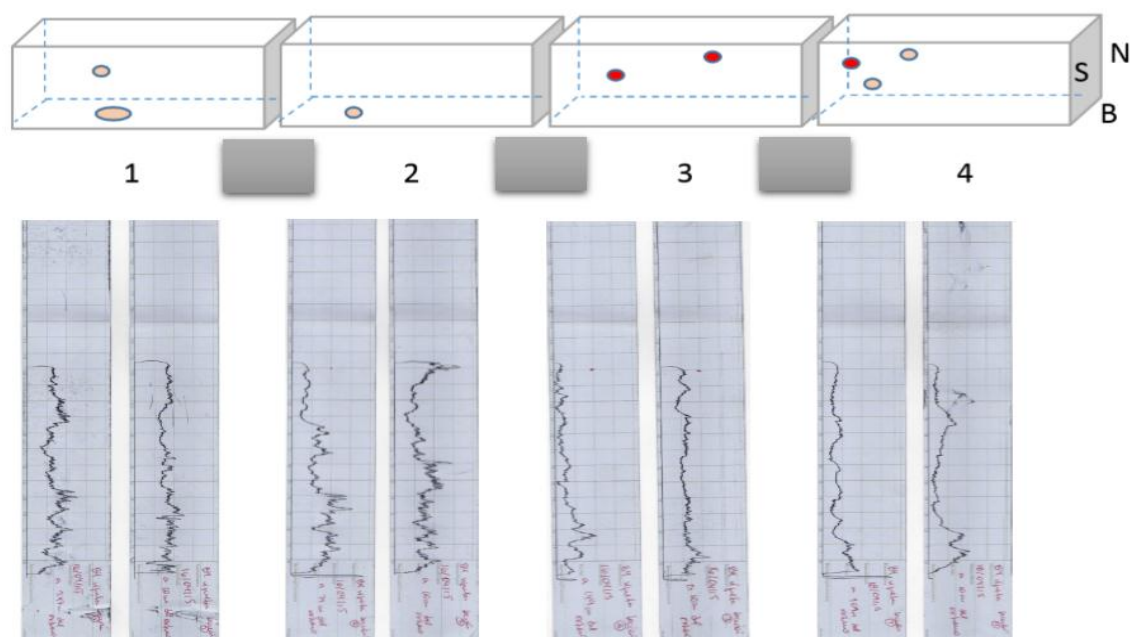
Los resultados con los equipos no destructivos, ultrasonido y extractor de tornillos se presentan en la Tabla 12.

**Tabla 12: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la vigueta 3 por secciones**

VIGUETA N° 3 (B3)	VELOCIDAD (m/s)			Fuerza (kN)
	Transversal	Cruzada	Longitudinal	
SECCIÓN 1	1918,4	2878,3	2842,4	1,59
SECCIÓN 2	2017,5	2414,9	1945,2	1,86
SECCIÓN 3	1890,6	1750,7	1753,5	1,20
SECCIÓN 4	1982,7	2672,4	2981,5	1,38

La VIGUETA 4 consta de cuatro secciones, observándose ataque biótico leve en todas las secciones de la pieza.

En relación a las mediciones con el resistógrafo, las gráficas muestran una resistencia a la penetración variada a lo largo de la pieza siendo la más baja en la sección 3 y 4. (Figura 32).



**Figura 32: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la viga 4.**

Los resultados con los equipos no destructivos, ultrasonido y extractor de tornillos se presentan en la Tabla 13.

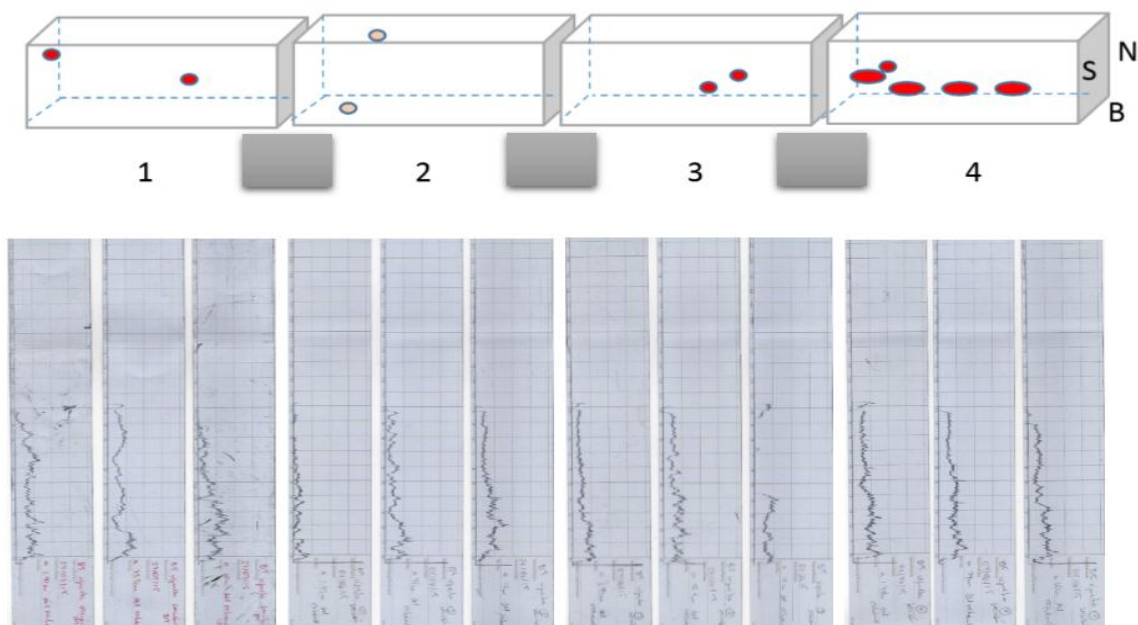
**Tabla 13: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la viga 4 por secciones**

VIGUETA N° 4 (B4)	VELOCIDAD (m/s)			Fuerza (kN)
	Transversal	Cruzada	Longitudinal	
SECCIÓN 1	1807,7	2179,0	2304,8	1,94
SECCIÓN 2	1897,4	1665,1	2452,0	1,87
SECCIÓN 3	1642,2	2363,7	2153,7	1,51
SECCIÓN 4	1923,4	2726,7	3450,5	1,59

La VIGUETA 5 consta de cuatro secciones, observándose ataque biótico leve en todas las secciones de la pieza.

En relación a las mediciones con el resistógrafo, las gráficas muestran una resistencia a la penetración similar a lo largo de la pieza siendo la más baja en la sección 2 y 3. (Figura 33).





**Figura 33: Representación de los defectos bióticos y estructurales de la vigueta 5.**

Los resultados con los equipos no destructivos, ultrasonido y extractor de tornillos se presentan en la Tabla 14.

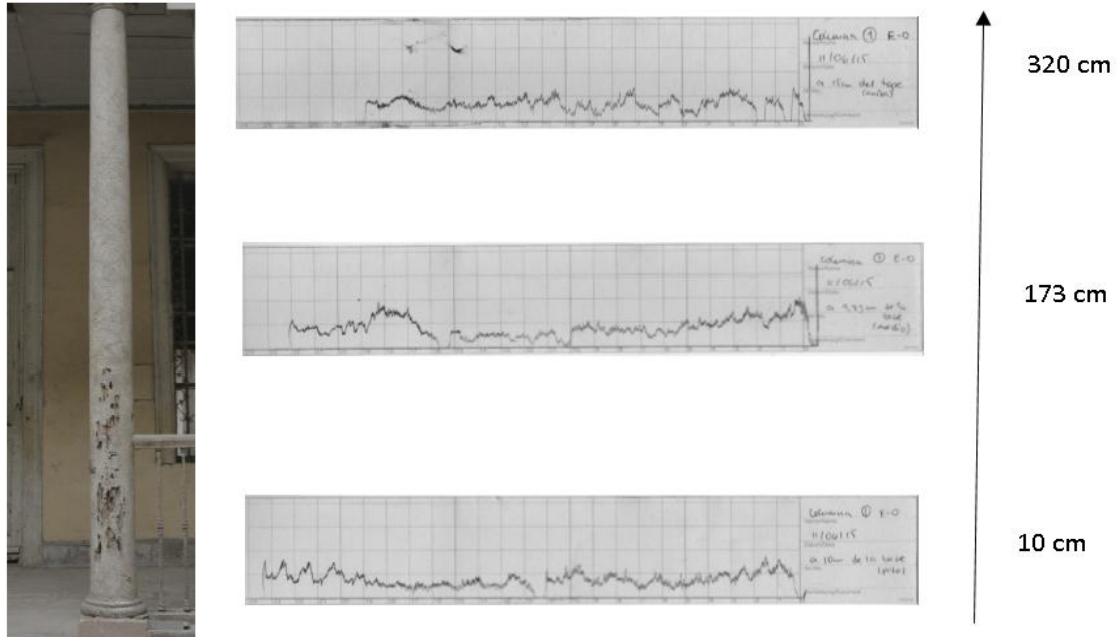
**Tabla 14: Valores de la velocidad transversal, cruzada y longitudinal; y la fuerza en la vigueta 5 por secciones**

VIGUETA N° 5 (B5)	VELOCIDAD (m/s)			Fuerza (kN)
	Transversal	Cruzada	Longitudinal	
SECCIÓN 1	1393,9	3489,6	3533,5	1,62
SECCIÓN 2	1656,0	2619,5	3196,6	1,35
SECCIÓN 3	1589,6	2846,2	3364,1	1,38
SECCIÓN 4	1782,4	2415,1	3475,5	1,37

### 2.2.3. COLUMNAS

La inspección visual de la columna 1 presenta ataque biótico severo en el tercio cercano al suelo registrando una profundidad máxima de 4 cm; sin embargo al realizar las mediciones con el resistógrafo, las gráficas obtenidas en los tres niveles a lo largo del elemento, se observó una variada resistencia a la penetración a lo largo de la pieza presentando picos más bajos en la sección central, que visualmente no presenta ataques. La Figura 34 muestra estos resultados.





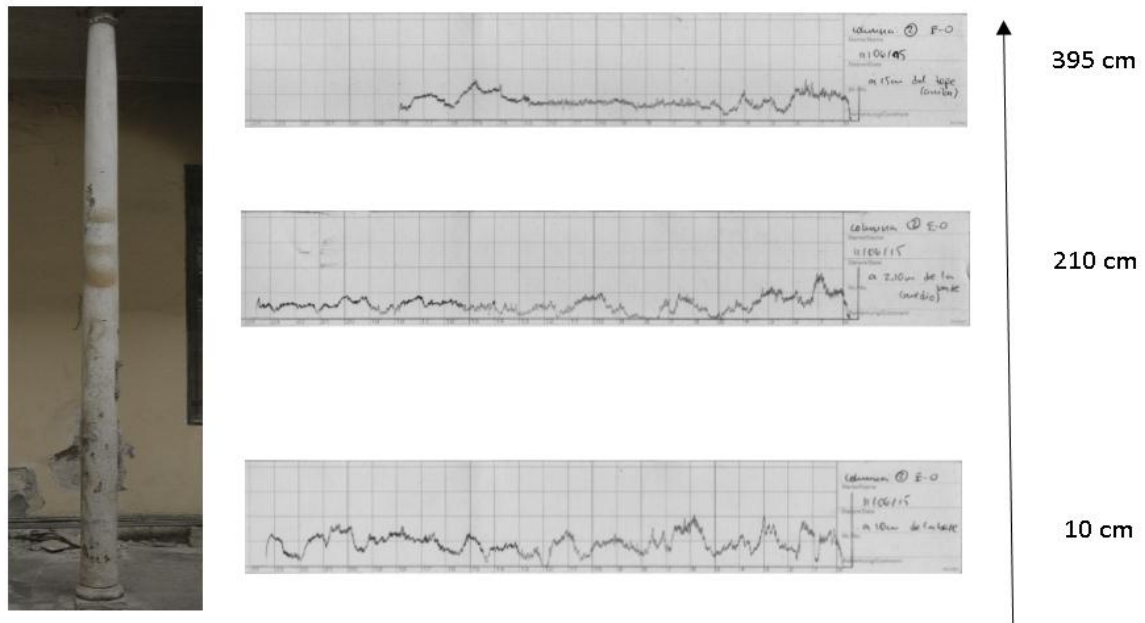
**Figura 34: Perfiles resistográficos de la columna 1.**

En relación a la inspección con el equipo de ultrasonido, los resultados se presentan en la Tabla 15.

**Tabla 15: Valores de la velocidad a nivel superior, medio e inferior de la columna 1**

<b>COLUMNA N° 1 (C1)</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>		
	<b>Superior</b>	<b>Medio</b>	<b>Inferior</b>
Transversal	1178,2	1663,3	1801,3
Cruzada	2445,9	2024,0	

La inspección visual de la columna 2 presenta ataque biótico severo en el tercio cercano al suelo registrando una profundidad máxima de 2 cm; sin embargo al realizar las mediciones con el resistógrafo, las gráficas obtenidas en los tres niveles a lo largo del elemento, se observó una variada resistencia a la penetración a lo largo de la pieza presentando picos más bajos en la sección central, que visualmente no presenta ataques. La Figura 35 muestra estos resultados.



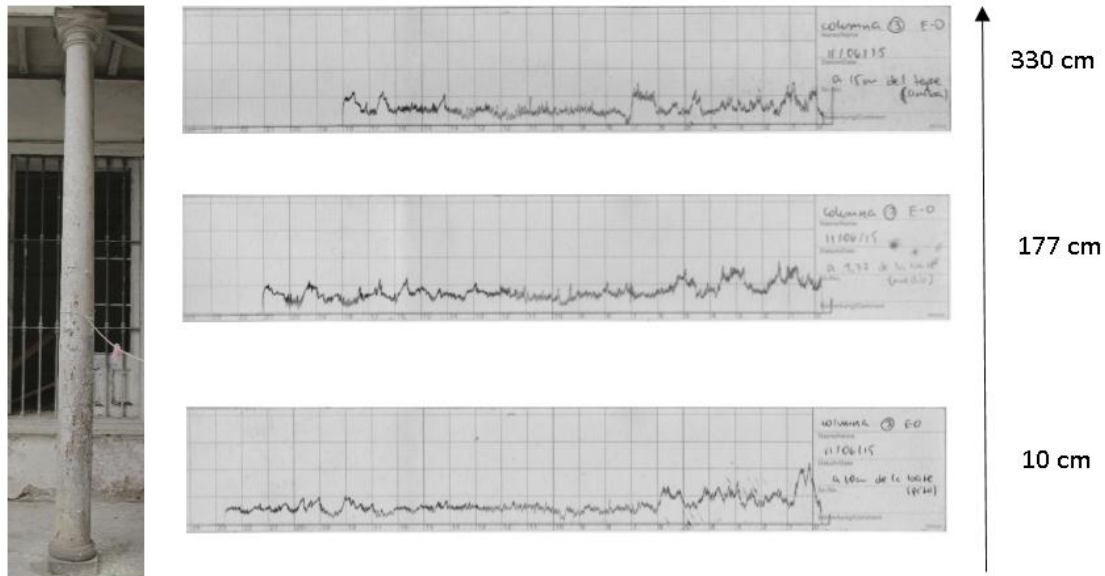
**Figura 35: Perfiles resistográficos de la columna 2.**

En relación a la inspección con el equipo de ultrasonido, los resultados se presentan en la Tabla 16.

**Tabla 16: Valores de la velocidad a nivel superior, medio e inferior de la columna 2**

<b>COLUMNA N° 2 (C2)</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>		
	<b>Superior</b>	<b>Medio</b>	<b>Inferior</b>
Transversal	1392,7	1333,5	1058,8
Cruzada	2388,5	2198,4	

La inspección visual de la columna 3 presenta ataque biótico severo en el tercio cerca al suelo, registrando una profundidad máxima de 3 cm; sin embargo al realizar las mediciones con el resistógrafo, las gráficas obtenidas en los tres niveles a lo largo del elemento, se observó una variada resistencia a la penetración a lo largo de la pieza presentando picos más bajos en la sección central, que visualmente no presenta ataques. La Figura 36 muestra estos resultados.



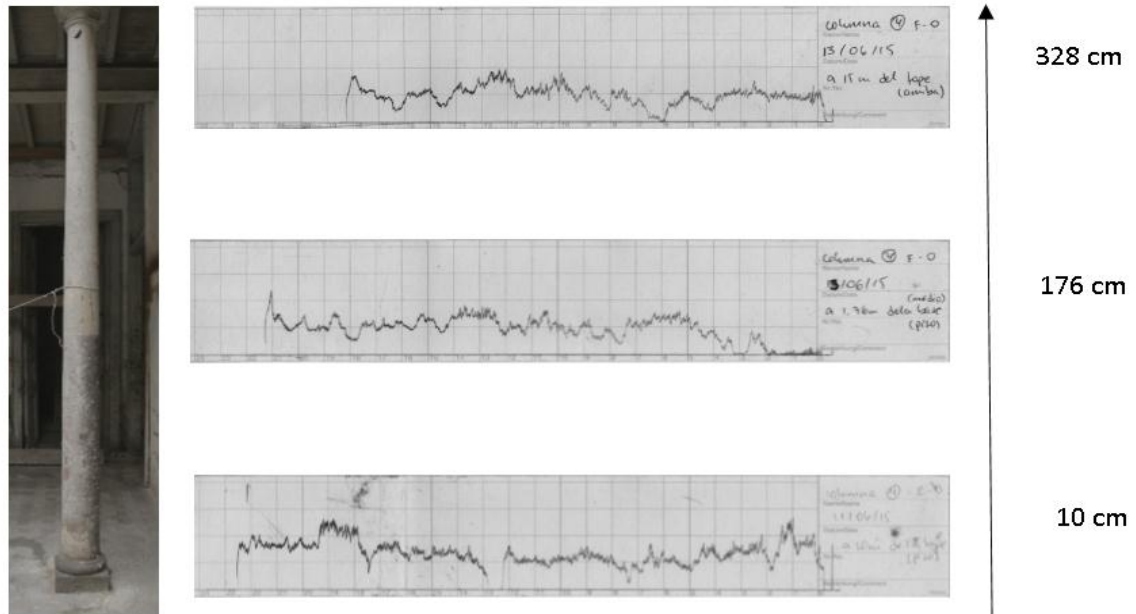
**Figura 36: Perfiles resistográficos de la columna 3.**

En relación a la inspección con el equipo de ultrasonidos, los resultados se presentan en la Tabla 17.

**Tabla 17: Valores de la velocidad a nivel superior, medio e inferior de la columna 3**

<b>COLUMNA N° 3 (C3)</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>		
	<b>Superior</b>	<b>Medio</b>	<b>Inferior</b>
Transversal	1622,7	1825,2	1849,4
Cruzada	2927,3	2523,6	

La inspección visual de la columna 4 presenta ataque biótico severo en el tercio cerca al suelo, registrando una profundidad máxima de 1,5 cm, sin embargo al realizar las mediciones con el resistógrafo, las gráficas obtenidas en los tres niveles a lo largo del elemento, se observó una variada resistencia a la penetración a lo largo de la pieza presentando picos más bajos en la sección central, que visualmente no presenta ataques. La Figura 37 muestra estos resultados.



**Figura 37: Perfiles resistográficos de la columna 4.**

En relación a la inspección con el equipo de ultrasonido, los resultados se presentan en la Tabla 18.

**Tabla 18: Valores de la velocidad a nivel superior, medio e inferior de la columna 4**

<b>COLUMNA N° 4 (C4)</b>	<b>VELOCIDAD (m/s)</b>		
	<b>Superior</b>	<b>Medio</b>	<b>Inferior</b>
Transversal	1517,7	1512,5	1201,1
Cruzada	3137,9	2334,5	

### **3. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD RESISTENTE**

Respecto a la clasificación visual de la madera, luego de homologar las normas extranjeras y la norma nacional, solo se logró tener como parámetro restrictivo los defectos mecánicos de la madera debido a que las características anatómicas de las estructuras no se lograron observar a simple vista. Tampoco se consideró los defectos bióticos en los parámetros para la clasificación debido a no eran aplicables al caso en estudio. Por lo que se aplicó la clasificación propuesta antes mencionada.

#### **3.1. VIGAS**

De acuerdo a las normas de clasificación visual homologadas, todos los elementos estructurales evaluados son admitidos y de buena calidad, a excepción de la viga 1 que se encuentra por debajo del estándar, como se puede ver en el Anexo 5.

Teniendo en cuenta la magnitud del ataque biótico en el cabezal y a lo largo de la viga puede clasificarse a la viga 1 como ESTADO MALO (C3) pero a pesar de esta apariencia mala, su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es apenas 25 por ciento, lo que modifica su clasificación como ESTADO REGULAR (C2). Con respecto a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de 18 por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1), sin embargo su MOE residual es de 63 por ciento lo cual la clasifica en ESTADO MALO (C3). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la viga 1 se concluye que su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

En relación a la viga 2, teniendo en cuenta la magnitud del ataque biótico en el cabezal y a lo largo de la viga puede clasificarse como ESTADO BUENO (C1) pero a pesar que presenta una apariencia buena, su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es del 70 por ciento, modificando su clasificación a ESTADO REGULAR (C2). Con respecto a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de 20 por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1), sin embargo su MOE residual es de 70 por ciento lo cual lo clasifica en ESTADO MALO (C3). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la viga 2 se concluye que su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

Respecto a la viga 3, la magnitud del ataque biótico en el cabezal y a lo largo de la viga la clasifica como ESTADO MALO (C3), como la pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 55 por ciento mantiene su clasificación. Referente a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de cero por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1), sin embargo su MOE residual es de 33 por ciento lo cual lo clasifica en ESTADO MALO (C3). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la viga 3 se concluye que su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

En el caso a la viga 4, la magnitud del ataque biótico en el cabezal y a lo largo de la viga la clasifica como ESTADO REGULAR (C2) pero la pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 65 por ciento, modificando su clasificación a ESTADO MALO (C3). Referente a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de 18 por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1), sin embargo su MOE residual es de 68 por ciento lo cual lo clasifica en ESTADO MALO (C3). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la viga 4 se concluye que su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

**Tabla 19: Resultados de la inspección en vigas**

<i>ELEMENTO</i>	<i>DIMENSIONES (cm)</i>	<i>INSPECCIÓN VISUAL - ESTADO BIÓTICO</i>			<i>INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA - RESISTENCIA</i>			<i>ESTIMACIÓN ACTUAL</i>
		<i>CLASIFICACION VISUAL</i>	<i>GRÁFICAS- RESISTOGRAFO</i>	<i>DIAGNÓSTICO</i>	<i>MOR RESIDUAL</i>	<i>MOE RESIDUAL</i>	<i>DIAGNÓSTICO</i>	
VIGA 1	25x25x462	C3	25% (C1)	REGULAR (C2)	18% (C1)	63% (C3)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
VIGA 2	25x25x535	C1	70% (C3)	REGULAR (C2)	20% (C1)	70% (C3)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
VIGA 3	25x25x483	C3	55% (C3)	MALO (C3)	0% (C1)	33% (C2)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
VIGA 4	25x25x493	C2	65% (C3)	MALO (C3)	18% (C1)	68% (C3)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)

### **3.2. VIGUETAS**

De acuerdo a las normas de clasificación visual homologadas, todos los elementos estructurales evaluados son admitidos y de buena calidad, como se puede observar en el Anexo 5.

Teniendo en cuenta la magnitud del ataque biótico a lo largo de la vigueta puede clasificarse a la vigueta 1 como ESTADO REGULAR (C2) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 50 por ciento, lo que modifica su clasificación a ESTADO MALO (C3). Con respecto a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de cero por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1) y el MOE residual es de 30 por ciento lo cual la clasifica en ESTADO REGULAR (C2). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la vigueta 1 se concluye su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

En relación a la vigueta 2, teniendo en cuenta la magnitud del ataque biótico a lo largo de la vigueta puede clasificarse como ESTADO MALO (C3) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de al menos del 25 por ciento, lo que modifica su clasificación a ESTADO REGULAR (C2). Con respecto a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de 15 por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1) y el MOE residual es de 60 por ciento lo cual la clasifica en ESTADO MALO (C3). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la vigueta 2 se concluye su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

Respecto a la vigueta 3, la magnitud del ataque biótico a lo largo de la vigueta puede clasificarse como ESTADO REGULAR (C2) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 60 por ciento, lo que modifica su clasificación a ESTADO MALO (C3). Con respecto a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de 20 por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1) y el MOE residual es de 70 por ciento lo cual la clasifica en ESTADO MALO (C3). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la vigueta 3 se concluye su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.



En el caso a la vigueta 4, la magnitud del ataque biótico a lo largo de la vigueta puede clasificarse como ESTADO BUENO (C1) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 40 por ciento, lo que modifica su clasificación a ESTADO REGULAR (C2). Con respecto a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de 14 por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1) y el MOE residual es de 62 por ciento lo cual la clasifica en ESTADO MALO (C3). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la vigueta 4 se concluye su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

En el caso a la vigueta 5, la magnitud del ataque biótico a lo largo de la vigueta puede clasificarse como ESTADO MALO (C3) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 70 por ciento, lo cual mantiene su clasificación. Con respecto a los parámetros de resistencia, muestra un MOR residual de 4 por ciento clasificando en ESTADO BUENO (C1) y el MOE residual es de 43 por ciento lo cual la clasifica en ESTADO REGULAR (C2). Finalmente, tomando en cuenta la evaluación del estado biótico y los parámetros de resistencia para la vigueta 5 se concluye su clasificación como ESTADO MALO (C3) infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

**Tabla 20: Resultado de la inspección en viguetas**

<b>ELEMENTO</b>	<b>DIMENSIONES (cm)</b>	<b>INSPECCIÓN VISUAL - ESTADO BIÓTICO</b>			<b>INSPECCIÓN NO DESTRUCTIVA - RESISTENCIA</b>			<b>ESTIMACIÓN ACTUAL</b>
		<b>CLASIFICACIÓN VISUAL</b>	<b>GRÁFICAS- RESISTOGRAFO</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>	<b>MOR RESIDUAL</b>	<b>MOE RESIDUAL</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>	
VIGUETA 1	9x14x700	C2	50% (C3)	MALO (C3)	0% (C1)	30% (C2)	REGULAR (C2)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
VIGUETA 2	9x14x822	C3	25% (C1)	REGULAR (C2)	15% (C1)	60% (C3)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
VIGUETA 3	9x15x665	C2	60% (C3)	MALO (C3)	20% (C1)	70% (C3)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
VIGUETA 4	9x15x691	C1	40% (C2)	REGULAR (C2)	14% (C1)	62% (C3)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
VIGUETA 5	8x10x690	C3	70% (C3)	MALO (C3)	4% (C1)	43% (C2)	REGULAR (C2)	Menos del 50% del Grupo C (C3)

### **3.3. COLUMNAS**

En el caso de las columnas, no se realizó el cálculo del MOR residual ni del MOE residual debido a que no se pudo estimar la fuerza de extracción de tornillo por el estado severo de deterioro que presentaban estos elementos estructurales.

Teniendo en cuenta la magnitud del ataque biótico a lo largo de la columna puede clasificarse a la columna 1 como ESTADO MALO (C3) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 45 por ciento, lo cual mantiene su clasificación, infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

En relación a la columna 2, teniendo en cuenta la magnitud del ataque biótico a lo largo de la columna puede clasificarse a la columna 2 como ESTADO MALO (C3) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 55 por ciento, lo cual mantiene su clasificación, infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

Respecto a la columna 3, teniendo en cuenta la magnitud del ataque biótico a lo largo de la columna puede clasificarse a la columna 3 como ESTADO MALO (C3) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 50 por ciento, lo cual mantiene su clasificación, infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

En caso de la columna 4, teniendo en cuenta la magnitud del ataque biótico a lo largo de la columna puede clasificarse a la columna 4 como ESTADO MALO (C3) y su pérdida de resistencia a la penetración del resistógrafo es de 40 por ciento, lo cual mantiene su clasificación, infiriendo de este estado como una disminución del 50 por ciento del grupo estructural C.

**Tabla 21: Resultados de la inspección en columnas**

<b>ELEMENTO</b>	<b>UBICACIÓN</b>	<b>DIMENSIONES (cm)</b>	<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>			<b>ESTIMACIÓN ACTUAL</b>
			<b>CLASIFICACIÓN VISUAL</b>	<b>GRÁFICAS- RESISTOGRAFO</b>	<b>DIAGNÓSTICO</b>	
COLUMNA 1	PATIO 1	19.4x347	C3	45% (C2)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
COLUMNA 2	PATIO 1	19.1x419	C3	55% (C2)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
COLUMNA 3	PATIO 2	18.7x354	C3	50% (C2)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)
COLUMNA 4	PATIO 2	18.7x353	C3	40% (C2)	MALO (C3)	Menos del 50% del Grupo C (C3)

### 3.4. PROPUESTA PARA LA CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DE LA MADERA

Sólo se consideró los defectos por ataque biótico (termitas de madera seca y hongos de pudrición) a lo largo de las vigas, viguetas y columnas; y en el caso de las vigas se tomó en cuenta el estado de los cabezales destapados. Con ello se formuló el siguiente criterio de clasificación visual, según el área en cada cara del elemento.

**Tabla 22: Clasificación según inspección visual e inspección no destructiva.**

<i>CLASIFICACIÓN</i>	<i>INSPECCIÓN VISUAL</i>	<i>RESISTÓGRAFO</i>	<i>RESISTENCIA RESIDUAL</i>	<i>DIAGNÓSTICO</i>
C1	deterioro $\leq$ 25% del área	pérdida de resistencia $\leq$ 25%	resistencia residual $\leq$ 25%	BUENO
C2	25% del área < deterioro < 50% del área	25% < pérdida de resistencia < 50%	25% < resistencia residual < 50%	REGULAR
C3	deterioro $\geq$ 50% del área	pérdida de resistencia $\geq$ 50%	resistencia residual $\geq$ 50%	MALO



## V. CONCLUSIONES

- 1) La inspección visual y las técnicas no destructivas en vigas, viguetas y columnas indican que estos elementos estructurales de madera disminuyeron su resistencia en un 50% del Grupo Estructural C, proponiéndose dentro de este grupo 3 categorías de acuerdo a su estado biótico y resistencia residual.
- 2) La metodología propuesta reveló que los valores a nivel de probetas en el ensayo de ultrasonidos no son buenos estimadores de las vigas in situ.
- 3) Las normativas evaluadas no se ajustan a la realidad de las estructuras inspeccionadas, en su mayoría castigan la calidad de la madera por sus defectos anatómicos y mecánicos, condición que ya no afecta la resistencia actual.
- 4) De los equipos utilizados, el que contribuyó a una mejor apreciación visual en la evaluación de las estructuras in situ fue el resistógrafo.
- 5) Teniendo en cuenta los resultados obtenidos a partir de los ensayos en obra, se puede concluir que esta metodología contribuirá para obtener resultados más satisfactorios para la localización de las regiones potencialmente atacadas en las estructuras de madera de construcciones históricas.





## VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar estudios que ajusten mejor las ecuaciones propuestas por Basterra *et al.* (2006) para estimar el MOE y el MOR.
- Para una mayor eficacia en la estimación del estado actual de las estructuras in situ, se recomienda realizar ensayos con madera de la especie a escala natural.
- Se recomienda realizar las mediciones con ultrasonidos en dirección transversal y longitudinal a diferentes niveles.
- En el caso del equipo de ultrasonidos, se recomienda utilizar un equipo que tenga cuerdas más largas que abarquen el largo total de la estructura, en caso de vigas, mayor a cinco metros.
- Para mejorar las condiciones de análisis con el resistógrafo, se recomienda utilizar un resistógrafo con capacidad de almacenamiento de datos para establecer mejor la relación con la densidad.
- Continuar con la investigación en monumentos históricos con la finalidad de mejorar el desarrollo de las técnicas de inspección y conservar el patrimonio cultural.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, L.; Basterra, A.; Casado, M.; López, G.; Ramón-Cueto, G.; Relea, E.; Martínez, C.; González, A. 2010. Aplicación del resistógrafo a la obtención de la densidad y la diferenciación de especies de madera. *Materiales de construcción*. Vol. 61, 303, 451-464.
- Álvarez, L.; Basterra, A.; Casado, M.; Acuña, L. 2005. Aplicación del Resistógrafo al diagnóstico de elementos singulares en estructura de madera. I Jornadas de Investigación en Construcción. TOMO I. Grupo de Investigación en Estructuras y Tecnología de la Madera de la Universidad de Valladolid. P. 9-11.
- Arriaga, F.; Peraza, F.; Esteban, M.; Bobadilla, I.; García, F. 2002. Intervención en estructuras de madera. Madrid. P. 37-84.
- Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM). 1997. Especies de maderas para carpintería, construcción y mobiliario. P. 616-617.
- Basterra, A., Casado, M., Acuña, L., Pinazo, O. 2006. Techniques of pseudo-Non Destructive Testing on structural Wood, by extraction of screws. *ReCoPaR*. 2:37-59.
- Cano, J., Trujillo, F., Araujo, M. 2015. Evaluación de las piezas de madera estructural de la Catedral de Ica, extracción del Informe Técnico IT N°04 CPF/FCF-UNALM/15 “Evaluación del estado de deterioro biológico de elementos de madera estructural”. P. 1-10.
- Casado Sanz, M.; Pinazo, O.; Acuña, L.; Basterra, L. A. 2005. Técnicas de Ensayo No Destructivas en madera estructural mediante extracción de tornillos, aplicación en viguetas de forjado de un edificio singular. *Actas del Vº Congreso Nacional de protección de la madera*. CIDEMCO (Ed.) Donostia-San Sebastián. P. 2-12.
- Casado Sanz, M.; Acuña, L.; Basterra, L.A.; Heredero, S.; San Martín, R. 2013. Estimación de la calidad de la madera en rollo del *Populus x euramericana* mediante ultrasonidos. 6º Congreso Forestal Español. P. 4-5.

- Chavesta, M.; Acevedo, M.; Cano, J. C. 2012. Estudio anatómico e identificación de especies forestales. Evaluación estructural y especificaciones técnicas de las maderas del Hotel El Comercio, Centro de Lima. Centro de Producción Forestal – Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) – Perú. P. 5-7.
- Esteban, M. 2003. Determinación de la capacidad resistente de la madera estructural de gran escuadría y su aplicación en estructuras existentes de madera de conífera. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. P. 70-71.
- Fakopp Enterprise. 2004. Guía de uso del Extractor de tornillo. Hungría.
- Instituto Nacional de Cultura (INC). 2007. Memoria Descriptiva: Proyecto de Emergencia “Consolidación de muros del 2º Sector del Monumento Histórico Antiguo Hotel Comercio”. Lima. Perú.
- Íñiguez, G. 2007. Clasificación mediante técnicas no destructivas y evaluación de las propiedades mecánicas de la madera aserrada de coníferas de gran escuadría para uso estructural. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. P. 19-23.
- Lombillo, I.; Villegas, L.; Grupo de Tecnología de la edificación (GTED). 2006. Metodología No Destructiva aplicadas a la rehabilitación estructural del patrimonio. Universidad de Cantabria, Santander. P. 1-2.
- Norma E.010 (Madera) del Reglamento Nacional de Edificaciones (2006).
- NTP 251.104 1998 (Revisada el 2011). Madera aserrada para uso estructural. Clasificación visual y requisitos.
- Norma DIN 4074. Parte 1. Clasificación de la madera aserrada para uso estructural (1989).
- Norma UNE 56.544. Clasificación visual de la madera aserrada para uso estructural: madera de coníferas (borrador de enero 2001).
- Norma NF B 52-001. Reglas de utilización de la madera en la construcción: Clasificación visual para su empleo en estructuras para las principales especies coníferas y frondosas (1998).
- Ruíz, A. 2014. Análisis dinámico de una construcción de adobe y quincha en Lima (Perú). Universidad de Sevilla. Capítulo 2. P. 36.

Sandoz, J.; Benoit, Y. 2006. Acousto-Ultrasonic Non-Destructive Evaluation of Historical Wooden Structures. *Structural Analysis of Historical Constructions*, New Delhi. P. 523.

Sotomayor, J. R. y Cruz de León, J. 2004. Resistencia mecánica residual en madera estructural deteriorada. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1

#### DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS VIGAS INSPECCIONADAS

VIGAS	DIMENSIONES (cm)			HUMEDAD (%)	OBSERVACIONES
	ESPESOR	ALTURA	LONGITUD		
VIGA 1 (V1)	25	25	462	14	Presenta un puntal colocado a 210cm del cabezal NORTE
VIGA 2 (V2)	25	25	535	13	
VIGA 3 (V3)	25	25	483	13	Presenta un puntal colocado a 202cm del cabezal NORTE
VIGA 4 (V4)	25	25	493	14	Presenta un puntal colocado a 200cm del cabezal OESTE

*Fuente: Elaboración propia*

## ANEXO 1

### DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS VIGUETAS INSPECCIONADAS

VIGUETAS	SECCIÓN	DIMENSIONES (cm)			HUMEDAD (%)	OBSERVACIONES
		ESPESOR	ALTURA	LONGITUD		
VIGUETA 1 (B1)	Sección 1	9	14	192	15	Las viguetas están conformadas por 2 o 3 piezas de madera dispuestas longitudinalmente. La suma de las secciones de cada vigueta resulta en la longitud total.
	Sección 2	9	14	159	12	
	Sección 3	9	14	152	14	
	Sección 4	9	14	151	12	
VIGUETA 2 (B2)	Sección 1	9	14	131	15	
	Sección 2	9	14	120	15	
	Sección 3	9	14	125	15	
	Sección 4	9	14	123	15	
	Sección 5	9	14	105	14	
	Sección 6	9	14	117	14	
VIGUETA 3 (B3)	Sección 1	9	15	134	12	
	Sección 2	9	15	134	13	
	Sección 3	9	15	132	13	
	Sección 4	9	15	136	13	
VIGUETA 4 (B4)	Sección 1	9	15	157	14	
	Sección 2	9	15	89	14	
	Sección 3	9	15	159	12	
	Sección 4	9	15	111	13	
VIGUETA 5 (B5)	Sección 1	8	10	151	12	
	Sección 2	8	10	153	13	
	Sección 3	8	10	151	14	
	Sección 4	8	10	158	13	

Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 2

### DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS COLUMNAS INSPECCIONADAS

COLUMNAS	DIMENSIONES (cm)		HUMEDAD (%)	OBSERVACIONES
	DIÁMETRO	ALTURA		
COLUMNA 1 (C1)	19,4	347	15	La base de las columnas se apoyan en un bloque de piedra
COLUMNA 2 (C2)	19,1	419	13	
COLUMNA 3 (C3)	18,7	354	13	
COLUMNA 4 (C4)	18,7	353	14	

Fuente: elaboración propia

## ANEXO 4

### CARTILLA DE INSPECCIÓN VISUAL DE LAS VIGAS

<b>N° DE ELEMENTO: V1</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (cm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
CABEZAL SUR – duramen incluido	E	18	1		472	10
CABEZAL SUR – Grieta	E	67	0,25	0,2	460	17
Grieta N° 1 (G1)	O	296	0,25	5,20	34	12
Hueco N° 11 (H11)	O	7	2	5,40	387	12
Rajadura N° 1 (R1)	O	210	0,38-2,46		186	2-6
	B	212	0,38-2,46		172	2-7,8
Grieta N° 2 (G2)	B	88	0,38	1,00	195	8
Hueco N° 1 (H1)	B	14	2,90	4,00	73	12
Hueco N° 2 (H2)	B	13	3,57	5,00	117	12
Hueco N° 3 (H3)	B	9	0,58	3,00	142	13
Hueco N° 4 (H4)	B	10	1,57	5,00	168	12
Hueco N° 5 (H5)	B	12	2,30	5,40	194	14
Hueco N° 6 (H6)	B	20	2,28	4,50	210	14
Hueco N° 7 (H7)	B	18	5	0,80	273	13
Hueco N° 8 (H8)	B	23	5	0,50	303	13
Hueco N° 9 (H9)	B	15	4	0,70	341	12
Hueco N° 10 (H10)	B	7,5	3	0,80	380	16

*Fuente: elaboración propia*

<b>N° DE ELEMENTO: V2</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (cm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
Cabezal N – H1	N	2,2	1,7	10,3		
Cabezal N – H2	N	2,5	2	2,4		
Cabezal N – H3	N	1,4	2	0,7		
Cabezal N – H4	N	1	1	1		
Hueco N° 1	B	6	1,5	0,4	68	7
Grieta N° 1	B	42	0,09	1,2	254	6,5
Grieta N° 2	E	65	0,08	1,1	216	12
Grieta N° 3	E	22	0,08	1,8	508	9,5

*Fuente: elaboración propia*



<b>N° DE ELEMENTO: V3</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (cm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
Pudrición (hongo)	Cabezal N	HUMEDAD: 18%				
Hueco N° 1	Cabezal S	Sección: 21x24cm		7,5	HUMEDAD: 23%	
Hueco N° 1	B	35	5	2,2	0	0
Hueco N° 2	B	10	7	1,0	0	11
Hueco N° 4	B	4	1,5	1,0	15	21
Hueco N° 8	B	5	2	1,2	36	7,5
Hueco N° 9	B	4	4	0,8	94	0
Grieta N° 2	B	90	0,09	1,5	200	18
Hueco N° 12	B	57	2,5	2,0	202	10
Hueco N° 14	B	13	1,5	0,8	346	19
Hueco N° 17	B	11	2	0,8	460	7,5
Grieta N° 1	E	34	5.533mm	1,3	9	10
Hueco N° 3	E	12	3	1,2	13	15
Hueco N° 5	E	48	2,5	1,0	25	0
Hueco N° 6	E	16	2,5	1,0	27	14
Hueco N° 7	E	4	2	0,8	35	21
Hueco N° 10	E	48	5	2,0	98	0
Hueco N° 13	E	17	2	2,0	243	23
Hueco N° 15	E	34	3,5	2,0	333	0
Hueco N° 16	E	30	6	4,5	436	11
Hueco N° 11	O	15	1	2,0	99	11

*Fuente: Elaboración propia*

<b>N° DE ELEMENTO: V4</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (cm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
Hueco N° 1	Cabezal E			9.6	HUMEDAD: 23%	
Hueco N° 1	Cabezal O			4.0	HUMEDAD: 25%	
Rajadura N° 1	B	19	0,08		170	0
Hueco N° 1	B	6	1,5	1,0	200	10
Hueco N° 2	N	63	11	1,5	246	15
Hueco N° 3	N	67	4	1,8	318	21
Hueco N° 4	N	9	2	0,7	400	20,5
Hueco N° 5	N	8	2,5	1,0	437	18
Hueco N° 6	N	15	2	1,0	450	24
Rajadura N° 2	S	10	0,03	0,3	183	1
Rajadura N° 3	S	29	0,03	0,3	195	0,5-5cm

*Fuente: Elaboración propia*

<b>N° DE ELEMENTO: B1</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (mm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
Hueco N° 1	B1	17	2,5cm	2,0	53	2
Hueco N° 2	B1	50	8,5cm	1,0	76	0
Hueco N° 3	S1	5	3cm	2,0	120	0
Hueco N° 4	B1	26	3cm	1,0	131	0
Hueco N° 5	B1	18	5cm	1,0	167	0
Hueco N° 1	B2	23	5cm	1,0	0	4
Hueco N° 2	B2	24	5cm	0,5	17	0
Hueco N° 3	N2	10	3cm	1,0	84	5
Hueco N° 4	B2	19	1,5cm	1,5	74	0
Hueco N° 5	B2	9	3cm	2,5	40	2

*Fuente: Elaboración propia*

<b>N° DE ELEMENTO: B2</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (cm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
Hueco N° 1	1B	3,5	1	0,8	6,5	0
Hueco N° 2	1B	12	2,5	1,5	43	0
Hueco N° 3	1B	45	4	2,5	81	0
Hueco N° 4	1B	3	1	0,6	84	8
Hueco N° 5	1S	4	1	0,8	63	6
Hueco N° 1	2B	74	4	1,4	29	9
Hueco N° 2	2B	104	5	2,0	0	0
Hueco N° 1	3B	57	1,5	1,0	0	0
Hueco N° 2	3B	4	1,1	0,9	4	2,5
Hueco N° 3	3B	16	1	0,6	17,5	2,5
Hueco N° 4	3B	27,5	2	0,6	26,5	5,5
Hueco N° 5	3B	14,5	1	0,9	37	2
Grieta N° 1	3S	90	0,889-3	0,6	10	5
Hueco N° 6	3S	6	1	1,8	38,5	8,5
Hueco N° 7	3S	3,5	0,7	0,6	57,5	11
Hueco N° 8	3S	60,4	3	1,9	62,5	0
Hueco N° 9	3S	6,5	1,3	1,0	76,5	9,5
Grieta N° 2	3S	32,5	1,7-0,8	0,7	84	8
Hueco N° 10	3S	8,5	1,5	0,6	110	4
Hueco N° 11	3S	5	1,3	0,6	112,5	7,5
Hueco N° 1	4B	36,5	3	1,3	0	6
Hueco N° 2	4B	13,5	1	0,5	54	7
Grieta N° 1	4B	42	1,7	2,0	80	2,5
Falla 1	4S	79,5	0,813	2,0	41,5	0-6
Hueco N° 3	4S	6,5	1	2,2	46,5	4,5
Hueco N° 4	4S	3	1	0,3	85	12,5
Falla 2	4N	14			63	8,5
Hueco N° 1	6B	63	8	1,3	0	2
Hueco N° 2	6B	14,5	2	0,7	37	0
Hueco N° 3	6B	11	2,5	0,5	54,5	0

*Fuente: Elaboración propia*

<b>N° DE ELEMENTO: B3</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (cm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
Hueco N° 1	3B	8	2	0,8	2	3,5
Hueco N° 3	3B	13	2	1,0	17	1
Hueco N° 4	3B	11	1,5	0,8	52	6
Hueco N° 2	3S	8	2,5	2,0	3	11,5
Hueco N° 1	4B	23	3,5	1,5	28,5	5,5
Hueco N° 5	4B	6	1,5	4,5	125	6
Hueco N° 2 *Putridión	4S	31	8	4,0	48	3
Hueco N° 3	4S	44,5	7,5	6,3	91	10
Hueco N° 4	4N	35	3,5	4,5	98	11

*Fuente: Elaboración propia*

<b>N° DE ELEMENTO: B4</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (cm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
Hueco N° 1	1N	3	1,5	0,6	58	10
Hueco N° 2	1B	11	1,5	1,0	109	0
Hueco N° 1	2B	6	1,5	2,5	65	0
Hueco N° 1	3S	5,5	2	0,8	96	9,5
Hueco N° 2	3S	4	2	0,8	145	3,5
Hueco N° 1	4S	5,5	2	1,0	16	2,5
Hueco N° 2	4N	6	1	2,0	16	14
Hueco N° 3	4N	5,5	1,5	1,4	61	2

*Fuente: Elaboración propia*

<b>N° DE ELEMENTO: B5</b>						
<b>DEFECTO BIÓTICO/ MECÁNICO</b>	<b>LADO</b>	<b>LONGITUD (cm)</b>	<b>ANCHO Máx. (cm)</b>	<b>PROFUNDIDAD Máx. (cm)</b>	<b>COORDENADAS (cm)</b>	
					<b>X</b>	<b>Y</b>
Hueco N° 1	1S	4	1	1,0	10	1
Hueco N° 2	1S	5	1	2,0	121	9,5
Hueco N° 1	2B	4,5	1,5	1,2	47	3
Hueco N° 2	2N	3	1,5	1,0	58	4
Hueco N° 2	3S	5	1,5	1,0	122	7,5
Hueco N° 3	3S	8	2	1,0	140	6,5
Hueco N° 1	4S	13	2	3,0	8	8
Hueco N° 2	4S	5	1,5	1,0	51	6
Hueco N° 3	4S	17	1	2,5	77	8
Hueco N° 4	4S	19	2	1,5	107	8
Hueco N° 5	4S	15	2	2,5	135	8

## ANEXO 5

### CLASIFICACIÓN VISUAL DE VIGAS Y VIGUETAS NTP 251.104 Y UNE 56.544

VIGAS		NTP 251.104		UNE 56.544		
		Admitida	No admitida	Calidad ME-1	Calidad ME-2	
Grietas	V1		X			DESCARTE
	V2	X		X		
	V3	X		X		
	V4	X		X		
Rajaduras	V1		X			DESCARTE
	V2					
	V3					
	V4					

*Fuente: Elaboración propia*

VIGUETAS		NTP 251.104		UNE 56.544	
		Admitida	No admitida	Calidad ME-1	Calidad ME-2
Grietas	B1				
	B2	X		X	
	B3				
	B4				
	B5				

*Fuente: Elaboración propia*

## ANEXO 6

### FOTOS



*Visualización de la Viga 1 y el ambiente donde se ubica (Ambiente 1)*



*Visualización de la Viga 2 y el ambiente donde se ubica (Ambiente 3)*



*Visualización de la Viga 3 y el ambiente donde se ubica (Ambiente 6)*



*Visualización de la Viga 4 y el ambiente donde se ubica (Ambiente 7)*



*Patio principal*