

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Tesis

Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay, 2024

Presentado por:

Yosemit Hery Moreano Carrasco

Para optar el título de Ingeniero Civil

Abancay, Perú

2025



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo
(*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay, 2024**

Presentado por **Yosemit Hery Moreano Carrasco**, para optar el título de Ingeniero Civil

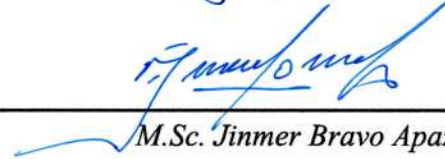
Sustentado y aprobado el 05 de setiembre del 2025 ante el jurado evaluador:

Presidente:



Mtro. Diomedes Napoleón Ferrel Sarmiento

Primer miembro:



M.Sc. Jinmer Bravo Apaza

Segundo miembro:



Ing. Fanny Silva Noriega

Asesor:



Dr. Edwar Ilasaca Cahuata





"Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana"

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N° 217-2025

La Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, a través de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería declara que, la Tesis intitulada: **Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024**, presentado por el Bachr: **Yosemit Hery Moreano Carrasco**, Para optar el Título de **Ingeniero Civil**; ha sido sometido a un mecanismo de evaluación y verificación de similitud, a través del Software Turnitin, siendo el índice de similitud **ACEPTABLE de (16%)** por lo que, cumple con los criterios de originalidad establecidos por la Universidad.

Abancay, 02 de septiembre del 2025

Atentamente,

C. c.
Archivo
REG. N° 727

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Hesmeralda Rojas Enriquez
Dra. Hesmeralda Rojas Enriquez
DIRECTORA DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA

Agradecimiento

Agradezco a Dios por haber guiado cada paso de este camino, brindándome sabiduría y constancia durante todo el proceso.

A mis queridos padres, por su amor incondicional, su ejemplo de esfuerzo y su constante apoyo en cada etapa de mi vida. Gracias por enseñarme con sus acciones el valor de la perseverancia, la responsabilidad y la humildad.

A la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, por haber sido mi alma mater y acompañarme a lo largo de estos años de esfuerzo, dedicación y crecimiento personal.

De forma especial, expreso mi sincero agradecimiento a mi asesor, Dr. Edwar Ilasaca Cahuata, por su dedicación, tiempo y valioso acompañamiento en el desarrollo de esta investigación. Del mismo modo, extiendo mi reconocimiento a mis docentes, quienes han sido una base esencial en mi crecimiento académico y profesional.



Dedicatoria

A mis padres Enrique y Ruth, por su amor incondicional, su esfuerzo y sus sacrificios, que me han enseñado que no hay meta imposible cuando se lucha con el corazón.

A mis hermanos:

A Saul, por ser un ejemplo e inspiración constante en mi vida.

A Seyber por su confianza, su apoyo incondicional y por estar siempre presente cuando lo necesitaba.

A Enyth por ser un ejemplo de resiliencia y ejemplo de que siempre hay esperanza, incluso cuando no se ve.



Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay, 2024

Línea de investigación: Ingeniería de Materiales

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
RESUMEN	2
ABSTRACT	3
CAPÍTULO I	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.1 Descripción del problema	4
1.2 Enunciado del problema	5
1.2.1 Problema general	5
1.2.2 Problemas específicos	5
1.3 Justificación de la investigación	6
1.3.1 Justificación técnica	6
1.3.2 Justificación social	6
1.3.3 Justificación por viabilidad	6
1.3.4 Justificación por relevancia	6
CAPÍTULO II	7
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	7
2.1 Objetivos de la investigación	7
2.1.1 Objetivo general	7
2.1.2 Objetivos específicos	7
2.2 Hipótesis de la investigación	7
2.2.1 Hipótesis general	7
2.2.2 Hipótesis específicas	7
2.3 Operacionalización de variables	9
CAPÍTULO III	10
MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	10
3.1 Antecedentes	10
3.1.1 A nivel internacional	10
3.1.2 A nivel nacional	12
3.1.3 A nivel regional y local	13
3.2 Marco teórico	14
3.2.1 Madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>)	14
3.2.2 Propiedades físicas de la madera	14
3.2.3 Propiedades mecánicas de la madera	16
	1



3.2.4	Clasificación estructural de la madera	21
3.2.5	Sistema de cerchas tipo Fink	22
3.2.6	Diseño estructural	22
3.2.7	Uniones clavadas	25
3.2.8	Estabilidad	27
3.2.9	Criterios estadísticos	28
3.3	Marco conceptual	32
CAPÍTULO IV		34
METODOLOGÍA		34
4.1	Tipo y nivel de investigación	34
4.1.1	Tipo de investigación	34
4.1.2	Nivel de investigación	34
4.2	Diseño de investigación	34
4.3	Población y muestra	35
4.3.1	Población	35
4.3.2	Muestra	35
4.4	Procedimiento	36
4.4.1	Selección y colección de muestras	38
4.4.2	Determinación de las propiedades físicas	39
4.4.3	Determinación de las propiedades mecánicas	42
4.4.4	Diseño	54
4.4.5	Construcción de prototipos y prueba de carga	79
4.5	Técnicas e instrumentos	82
4.5.1	Técnicas de investigación	82
4.5.2	Instrumentos de investigación	82
4.6	Análisis estadístico	85
4.6.1	Propiedades físicas	85
4.6.2	Propiedades mecánicas	90
4.6.3	Prueba de carga	106
CAPÍTULO V		107
RESULTADOS Y DISCUSIONES		107
5.1	Análisis de resultados	107
5.1.1	Resultado de las propiedades físicas	107
5.1.2	Resultado de las propiedades mecánicas	107
5.1.3	Resultado del diseño de la cercha	111
5.1.4	Resultado de las pruebas de carga	114
5.2	Contrastación de hipótesis	115
5.2.1	Hipótesis específica 1	115



5.2.2	Hipótesis específica 2	120
5.2.3	Hipótesis específica 3	120
5.2.4	Hipótesis general	122
5.3	Discusión	123
5.3.1	Respecto a las propiedades físicas	123
5.3.2	Respecto a las propiedades mecánicas	123
5.3.3	Respecto al comportamiento estructural de la cercha	125
CAPÍTULO VI		126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		126
6.1	Conclusiones	126
6.2	Recomendaciones	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		129
ANEXOS		134



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 — Matriz de operacionalización de variables	9
Tabla 2 — Densidad básica para maderas latifoliadas	21
Tabla 3 — Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas	21
Tabla 4 — Módulo de elasticidad para maderas latifoliadas	22
Tabla 5 — Coeficientes de reducción para determinación de esfuerzos admisibles	23
Tabla 6 — Carga admisible por clavo a cizallamiento simple	25
Tabla 7 — Factores modificatorios de cargas admisibles para uniones clavadas	25
Tabla 8 — Criterios de Chauvenet	30
Tabla 9 — Cantidad de muestras estudiadas	35
Tabla 10 — Datos obtenidos del contenido de humedad	39
Tabla 11 — Datos obtenidos de los ensayos de densidad básica	40
Tabla 12 — Datos procesados de los ensayos de densidad básica	41
Tabla 13 — Datos obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano	43
Tabla 14 — Datos procesados del ensayo de cizallamiento paralelo al grano	44
Tabla 15 — Datos obtenidos del ensayo de compresión paralela al grano	46
Tabla 16 — Datos procesados de los ensayos de compresión paralela	47
Tabla 17 — Datos obtenidos del ensayo de compresión perpendicular al grano	49
Tabla 18 — Datos procesados de los ensayos de compresión perpendicular	50
Tabla 19 — Datos obtenidos del ensayo de flexión estática	52
Tabla 20 — Datos procesados de los ensayos de flexión estática	53
Tabla 21 — Parámetros generales para el diseño estructural	54
Tabla 22 — Factores de forma (C)	56
Tabla 23 — Factores de forma para cargas adicionales (C)	57
Tabla 24 — Carga de viento en condición desfavorable	57
Tabla 25 — Combinación de cargas sobre la cuerda superior	58
Tabla 26 — Resumen de fuerzas internas en los elementos	64
Tabla 27 — Propiedades mecánicas para el diseño	65
Tabla 28 — Trabajos virtuales en la cercha	71
Tabla 29 — Datos obtenidos de la prueba de carga a los prototipos	81
Tabla 30 — Valoración alfa de Cronbach	84
Tabla 31 — Validación de datos (1) del contenido de humedad	85
Tabla 32 — Validación de datos (2) del contenido de humedad	86

Tabla 33 — Validación de datos (3) del contenido de humedad	87
Tabla 34 — Estadístico del contenido de humedad	88
Tabla 35 — Validación de datos de la densidad básica	89
Tabla 36 — Estadístico de la densidad básica	90
Tabla 37 — Validación de datos (1) de la RC por cizallamiento	90
Tabla 38 — Validación de datos (2) de la RC por cizallamiento	91
Tabla 39 — Validación de datos (3) de la RC por cizallamiento	92
Tabla 40 — Estadístico del cizallamiento paralelo	93
Tabla 41 — Validación de datos del ELP por compresión axial	94
Tabla 42 — Validación de datos de la RM por compresión axial	96
Tabla 43 — Validación de datos del MOE por compresión axial	97
Tabla 44 — Estadístico de la compresión paralela	99
Tabla 45 — Validación de datos del ELP por compresión perpendicular	99
Tabla 46 — Estadístico de la compresión perpendicular	100
Tabla 47 — Validación de datos del ELP por flexión estática	101
Tabla 48 — Análisis estadístico del MOR por flexión estática	102
Tabla 49 — Análisis estadístico del MOE por flexión estática	104
Tabla 50 — Estadístico de la compresión paralela	105
Tabla 51 — Datos obtenidos de la prueba de carga	106
Tabla 52 — Resultados de las propiedades físicas	107
Tabla 53 — Resultados de las propiedades mecánicas	107
Tabla 54 — Resultado de los esfuerzos admisibles	108
Tabla 55 — Resultado del módulo de elasticidad	109
Tabla 56 — Clasificación de las propiedades físicas	109
Tabla 57 — Clasificación de las propiedades mecánicas	109
Tabla 58 — Clasificación del módulo de elasticidad	110
Tabla 59 — Resultado de las pruebas de carga	114
Tabla 60 — Matriz de consistencia	135



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 — Direcciones de anisotropía de la madera	17
Figura 2 — Ejes locales	17
Figura 3 — Compresión paralela al grano, en dirección longitudinal	18
Figura 4 — Compresión perpendicular al grano	19
Figura 5 — Elementos de cercha tipo Fink	22
Figura 6 — Espaciamiento de clavos para cizallamiento simple o doble, clavado por un lado	26
Figura 7 — Espaciamiento de clavos para cizallamiento simple con pretaladrado o cizallamiento doble en ambos lados	27
Figura 8 — Encuentro de cerchas con muros	27
Figura 9 — Anclaje de cercha a muro	28
Figura 10 — Diseño de investigación	34
Figura 11 — Procedimiento de la investigación	37
Figura 12 — Clasificación visual de madera aserrada	38
Figura 13 — Obtención de probetas	38
Figura 14 — Probetas para ensayo de cizallamiento	40
Figura 15 — Probetas para ensayo de cizallamiento	42
Figura 16 — Aditamento para cizallamiento de probetas	42
Figura 17 — Probetas para ensayo de compresión paralela	45
Figura 18 — Probetas para ensayo de compresión perpendicular	48
Figura 19 — Ensayo de compresión perpendicular al grano	48
Figura 20 — Probetas para ensayo de flexión estática	51
Figura 21 — Ensayo de flexión estática	51
Figura 22 — Ejes de la cercha	55
Figura 23 — Cargas de viento en la cercha	57
Figura 24 — Carga desfavorable de viento	57
Figura 25 — Carga de viento distribuida	58
Figura 26 — Cargas distribuidas a lo largo de la cercha	59
Figura 27 — Cargas puntuales equivalentes en los nodos	60
Figura 28 — Reacciones en los apoyos	61
Figura 29 — Diagrama de fuerzas en el nodo A	62
Figura 30 — Diagrama de fuerzas en el nodo B	62
Figura 31 — Diagrama de fuerzas en el nodo C	63

Figura 32 — Diagrama de fuerzas en el nodo D	64
Figura 33 — Cuerda superior	65
Figura 34 — Cuerda inferior	67
Figura 35 — Diagonal menor	68
Figura 36 — Diagonal mayor	70
Figura 37 — Aplicación de carga virtual unitaria	71
Figura 38 — Deformación de la cercha	72
Figura 39 — Vista lateral típica de unión con cartelas en ambos lados	73
Figura 40 — Verificación de resistencia de la cartela	79
Figura 41 — Carga puntual equivalente	80
Figura 42 — Esquema de prueba de carga a cercha tipo Fink	80
Figura 43 — Curva de carga vs deformación de prototipos de cerchas	82
Figura 44 — Aplicación del criterio de Chauvenet (1) del CH	86
Figura 45 — Aplicación del criterio de Chauvenet (2) del CH	87
Figura 46 — Aplicación del criterio de Chauvenet (3) del CH	88
Figura 47 — Aplicación del criterio de Chauvenet (1) de la RC paralelo al grano	91
Figura 48 — Aplicación del criterio de Chauvenet (2) de la RC paralelo al grano	92
Figura 49 — Aplicación del criterio de Chauvenet (3) de la RC paralelo al grano	93
Figura 50 — Aplicación del criterio de Chauvenet del ELP por compresión axial	95
Figura 51 — Aplicación del criterio de Chauvenet de la RM por compresión axial	96
Figura 52 — Dispersión del criterio de Chauvenet del MOE por compresión axial	98
Figura 53 — Aplicación del criterio de Chauvenet del ELP por compresión perpendicular	100
Figura 54 — Dispersión del criterio de Chauvenet del ELP por flexión estática	101
Figura 55 — Dispersión del criterio de Chauvenet del MOR por flexión estática	103
Figura 56 — Aplicación del criterio de Chauvenet del MOE por flexión estática	105
Figura 57 — Deflexión máxima registrada en los prototipos durante la prueba de carga	106
Figura 58 — Cercha tipo Fink	111
Figura 59 — Configuración de unión en el nodo A	112
Figura 60 — Configuración de unión en el nodo B	112
Figura 61 — Configuración de unión en el nodo C	112
Figura 62 — Configuración de unión en el nodo D	113
Figura 63 — Configuración de unión en el nodo E	113
Figura 64 — Configuración de unión en el nodo F	113
Figura 65 — Configuración de unión en el nodo G	114
Figura 66 — Comparación entre la deflexión real vs diseño	115
Figura 67 — protocolo 01	136
Figura 68 — protocolo 02	137
Figura 69 — protocolo 03	138

Figura 70 — protocolo 04	139
Figura 71 — protocolo 05	140
Figura 72 — protocolo 06	141
Figura 73 — Validación de instrumentos por experto N.º 01	142
Figura 74 — Validación de instrumentos por experto N.º 02	143
Figura 75 — Validación de instrumentos por experto N.º 03	144
Figura 76 — Validación de instrumentos por experto N.º 04	145
Figura 77 — Validación de instrumentos por experto N.º 05	146
Figura 78 — Cálculo de alfa de Cronbach	147
Figura 79 — Certificado de calibración de máquina a compresión uniaxial de 1000 kN	148
Figura 80 — Certificado de calibración de máquina a compresión uniaxial de 50 kN	149
Figura 81 — Certificado de calibración de Vernier	150
Figura 82 — Certificado de calibración de balanza	151
Figura 83 — Certificado de calibración de deformímetro	152
Figura 84 — Certificado de calibración de horno eléctrico	153
Figura 85 — Ensayo de densidad básica	154
Figura 86 — Ensayo de cizallamiento paralelo al grano	155
Figura 87 — Ensayo de compresión paralela de PC // 01	156
Figura 88 — Ensayo de compresión paralela de PC // 02	156
Figura 89 — Ensayo de compresión paralela de PC // 03	157
Figura 90 — Ensayo de compresión paralela de PC // 04	157
Figura 91 — Ensayo de compresión paralela de PC // 05	158
Figura 92 — Ensayo de compresión paralela de PC // 06	158
Figura 93 — Ensayo de compresión paralela de PC // 07	159
Figura 94 — Ensayo de compresión paralela de PC // 08	159
Figura 95 — Ensayo de compresión paralela de PC // 09	160
Figura 96 — Ensayo de compresión paralela de PC // 10	160
Figura 97 — Ensayo de compresión paralela de PC // 11	161
Figura 98 — Ensayo de compresión paralela de PC // 12	161
Figura 99 — Ensayo de compresión paralela de PC // 13	162
Figura 100 — Ensayo de compresión paralela de PC // 14	162
Figura 101 — Ensayo de compresión paralela de PC // 15	163
Figura 102 — Ensayo de compresión paralela de PC // 16	163
Figura 103 — Ensayo de compresión paralela de PC // 17	164
Figura 104 — Ensayo de compresión paralela de PC // 18	164
Figura 105 — Ensayo de compresión paralela de PC // 19	165
Figura 106 — Ensayo de compresión paralela de PC // 20	165
Figura 107 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 01	166

Figura 108 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 02	166
Figura 109 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 03	167
Figura 110 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 04	167
Figura 111 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 05	168
Figura 112 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 06	168
Figura 113 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 07	169
Figura 114 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 08	169
Figura 115 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 09	170
Figura 116 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 10	170
Figura 117 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 11	171
Figura 118 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 12	171
Figura 119 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 13	172
Figura 120 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 14	172
Figura 121 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 15	173
Figura 122 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 16	173
Figura 123 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 17	174
Figura 124 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 18	174
Figura 125 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 19	175
Figura 126 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 20	175
Figura 127 — Ensayo de flexión estática de FL - 01	176
Figura 128 — Ensayo de flexión estática de FL - 02	176
Figura 129 — Ensayo de flexión estática de FL - 03	177
Figura 130 — Ensayo de flexión estática de FL - 04	177
Figura 131 — Ensayo de flexión estática de FL - 05	178
Figura 132 — Ensayo de flexión estática de FL - 06	178
Figura 133 — Ensayo de flexión estática de FL - 07	179
Figura 134 — Ensayo de flexión estática de FL - 08	179
Figura 135 — Ensayo de flexión estática de FL - 09	180
Figura 136 — Ensayo de flexión estática de FL - 10	180
Figura 137 — Ensayo de flexión estática de FL - 11	181
Figura 138 — Ensayo de flexión estática de FL - 12	181
Figura 139 — Ensayo de flexión estática de FL - 13	182
Figura 140 — Ensayo de flexión estática de FL - 14	182
Figura 141 — Ensayo de flexión estática de FL - 15	183
Figura 142 — Ensayo de flexión estática de FL - 16	183
Figura 143 — Ensayo de flexión estática de FL - 17	184
Figura 144 — Ensayo de flexión estática de FL - 18	184
Figura 145 — Ensayo de flexión estática de FL - 19	185

Figura 146 — Ensayo de flexión estática de FL – 20	185
Figura 147 — Prueba de carga del prototipo 01	186
Figura 148 — Prueba de carga del prototipo 02	187
Figura 149 — Prueba de carga del prototipo 03	188
Figura 150 — Asignación de las propiedades del material	189
Figura 151 — Asignación de secciones	190
Figura 152 — Asignación de cargas	190
Figura 153 — Esfuerzos axiales	191
Figura 154 — Deformada de la estructura	191
Figura 155 — Aserradero Madre de Dios	192
Figura 156 — Higrómetro digital para madera	192
Figura 157 — Deformímetro análogo de 1”	192
Figura 158 — Prensa hidráulica de 50 toneladas	193
Figura 159 — Secado de probetas en horno eléctrico	193
Figura 160 — Medición del contenido de humedad previas al ensayo de densidad básica	193
Figura 161 — Medición del contenido de humedad previas al ensayo de cizallamiento	194
Figura 162 — Pesaje de probetas previas al ensayo de cizallamiento paralelo	194
Figura 163 — Ejecución de ensayo de compresión paralela	194
Figura 164 — Contenido de humedad previas al ensayo de compresión paralela	195
Figura 165 — Dimensiones de probetas previas al ensayo de compresión perpendicular	195
Figura 166 — Pesaje de probetas previas al ensayo de compresión paralela	196
Figura 167 — Ensayo para determinar la resistencia a compresión paralela	196
Figura 168 — Ejecución de ensayo de compresión perpendicular	196
Figura 169 — Contenido de humedad previas al ensayo de compresión perpendicular	197
Figura 170 — Dimensiones de probetas previas al ensayo de compresión perpendicular	197
Figura 171 — Pesaje de probetas previas al ensayo de compresión perpendicular	197
Figura 172 — Ensayo para determinar la resistencia a compresión perpendicular	198
Figura 173 — Ejecución de ensayo de flexión estática	198
Figura 174 — Medición del contenido de humedad previas al ensayo de flexión	199
Figura 175 — Dimensiones de probetas previas al ensayo de flexión	199
Figura 176 — Pesaje de probetas previas al ensayo de flexión	199
Figura 177 — Ensayo para determinar la flexión estática	200
Figura 178 — Distribución de puntos de clavado sobre las uniones	200
Figura 179 — Prototipo 01 de cercha	201
Figura 180 — Prototipo 02 de cercha	201
Figura 181 — Prototipo 03 de cercha	201
Figura 182 — Prueba de carga del prototipo 01	201
Figura 183 — Prueba de carga del prototipo 02	202



Figura 184 — Prueba de carga del prototipo 03	202
Figura 185 — Valores críticos de la distribución t	203



GLOSARIO DE SIGLAS

- CH : Contenido de humedad
ELP : Esfuerzo Límite Proporcional
MOR : Módulo de Ruptura
MOE : Módulo de Elasticidad
NTP : Norma Técnica Peruana
RC : Resistencia al Cizallamiento
RM : Resistencia Máxima
RNE : Reglamento Nacional de Edificaciones

INTRODUCCIÓN

A pesar de que el Perú se encuentra entre los países con mayor superficie boscosa, el uso estructural de la madera sigue siendo limitado debido a la escasa investigación técnica, la baja producción de madera aserrada y factores como la deforestación insostenible, la minería ilegal y la limitada innovación tecnológica (CEPLAN 2023). Ante esta situación, se busca promover su aplicación en construcción e infraestructura pública por sus ventajas en sostenibilidad, disponibilidad y facilidad de uso.

La madera es un recurso natural renovable, abundante y con alto potencial para la construcción estructural. Destaca por su excelente relación resistencia-peso y por generar un bajo impacto ambiental durante su producción (Guzel 2020), lo que la convierte en una alternativa sostenible frente a materiales convencionales de mayor costo.

En este contexto, la madera recobra importancia como material estructural, y las cerchas de madera se presentan como una alternativa eficiente para techos y cubiertas, debido a su estabilidad, bajo peso y reducido impacto ambiental. Sin embargo, su uso ha disminuido por la complejidad en el diseño y fabricación (Kromoser et al. 2021).

Por consiguiente, la presente investigación titulada “Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay, 2024” tiene como objetivo analizar el comportamiento estructural de cerchas tipo Fink elaboradas con esta especie.

La tesis se estructura en siete capítulos: el Capítulo I presenta el problema y su justificación; el Capítulo II, los objetivos e hipótesis; el Capítulo III, el marco teórico y los antecedentes; el Capítulo IV, la metodología; el Capítulo V, los resultados y su análisis; el Capítulo VI, las conclusiones y recomendaciones; y el Capítulo VII, las referencias bibliográficas.

En la parte final se incluyen los anexos, donde se presenta la matriz de consistencia, los certificados de calibración, los protocolos aplicados, las fichas técnicas y las evidencias fotográficas que respaldan el desarrollo de la investigación.



RESUMEN

Esta investigación, de tipo aplicada, nivel descriptivo y diseño preexperimental, tuvo como objetivo analizar el comportamiento estructural de una cercha tipo Fink construida con madera *Cedrelinga catenaeformis*, orientada a viviendas rurales en Abancay. Se determinaron las propiedades físicas y mecánicas del material según la Norma Técnica E.010 mediante ensayos normalizados en laboratorio. Previamente, se evaluó el contenido de humedad de las muestras, como condición necesaria para garantizar la validez de los resultados. A continuación, se realizaron los ensayos de densidad básica, cizallamiento paralelo, compresión paralela, compresión perpendicular y flexión estática, empleando 20 muestras para cada tipo de prueba. Asimismo, se construyeron tres prototipos de cerchas a escala real para su evaluación estructural bajo cargas controladas. Los resultados mostraron un contenido de humedad promedio de 11,64 % y una densidad básica de 0,44 g/cm³, dentro de los rangos aceptables para uso estructural. En corte paralelo se obtuvo una resistencia al corte (RC) promedio de 32,87 kg/cm² y un esfuerzo admisible de 8,22 kg/cm²; en compresión paralela, el esfuerzo al límite proporcional (ELP) fue de 355,49 kg/cm², resistencia máxima (RM) de 410,20 kg/cm², el módulo de elasticidad (MOE) de 44025.74 kg/cm² y el esfuerzo admisible de 205,10 kg/cm²; en compresión perpendicular, el ELP fue de 88,80 kg/cm² y el esfuerzo admisible de 55,50 kg/cm² y en flexión estática, el ELP fue de 513,03 kg/cm², módulo de rotura (MOR) de 721,96 kg/cm², MOE de 102799,78 kg/cm² con un esfuerzo admisible de 226 kg/cm², clasificando la madera en el Grupo C según la NTP E.010. Con estos valores se diseñó la cercha tipo Fink con secciones de 4 cm × 9 cm en las cuerdas y 4 cm × 6,5 cm en las diagonales, utilizando conexiones clavadas con cartelas en ambas caras. Los tres prototipos construidos fueron sometidos a cargas controladas, registrando una deflexión promedio de 0,35 cm, inferior a la teórica de 0,61 cm y al límite admisible de L/300 (1,67 cm), lo que confirma la eficiencia estructural y viabilidad técnica de esta solución para edificaciones rurales.

Palabras clave: cercha tipo Fink, *cedrelinga catenaeformis*, madera estructural, comportamiento estructural.



ABSTRACT

This applied research, conducted at a descriptive level and following a pre-experimental design, aimed to analyse the structural behaviour of a Fink type truss constructed from *Cedrelinga catenaeformis* wood, intended for rural housing in Abancay. The physical and mechanical properties of the material were determined in accordance with Technical Standard NTP E.010 through standardised laboratory testing. Prior to testing, the moisture content of the specimens was assessed as a necessary condition to ensure the validity of the results. Subsequently, tests were carried out to determine basic density, parallel shear strength, parallel and perpendicular compression strength, and static bending performance, using 20 specimens for each type of test. Additionally, three full scale truss prototypes were constructed for structural evaluation under controlled loading conditions.

The results showed an average moisture content of 11.64% and a basic density of 0.44 g/cm³, both within acceptable ranges for structural use. In parallel shear tests, the average shear strength (SS) was 32.87 kg/cm², with an allowable stress of 8.22 kg/cm². In parallel compression, the Proportional Limit Stress (PLS) was 355.49 kg/cm², the Maximum Strength (MS) was 410.20 kg/cm², the Modulus of Elasticity (MOE) was 44025.74 kg/cm², and the allowable stress was 205.10 kg/cm². In perpendicular compression, the PLS was 88.80 kg/cm² and the allowable stress was 55.50 kg/cm². In static bending, the PLS was 513.03 kg/cm², the Modulus of Rupture (MOR) was 721.96 kg/cm², the MOE was 102799.78 kg/cm², and the allowable stress was 226 kg/cm², classifying the wood within Group C according to NTP E.010. Based on these values, the Fink-type truss was designed with cross-sections of 4 cm × 9 cm for the chords and 4 cm × 6.5 cm for the diagonals, using nailed connections with gusset plates on both faces. The three prototypes were subjected to controlled loads, recording an average deflection of 0.35 cm, which was lower than both the theoretical deflection of 0.61 cm and the admissible limit of L/300 (1.67 cm), confirming the structural efficiency and technical feasibility of this Wood based solution for rural buildings.

Keywords: *Fink type truss, cedrelinga catenaeformis, structural wood, structural behavior.*



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

A nivel internacional, la madera ha sido reconocida como un material estructural sostenible, renovable y con baja huella de carbono, lo que la convierte en una alternativa frente al acero y al concreto en la construcción de edificaciones, en los últimos años el uso de la madera en la construcción ha experimentado un interés creciente y de alcance mundial, en países como Canadá, Estados Unidos, Alemania y Japón, su uso en sistemas estructurales como vigas, columnas, paneles y cerchas se encuentra ampliamente difundido gracias al respaldo normativo y a los avances en tecnologías de ingeniería de la madera. (Lozano 2022).

A pesar de sus reconocidas ventajas estructurales y ambientales, el uso de la madera en sistemas constructivos continúa siendo limitado en gran parte de América Latina. Esta restricción se atribuye principalmente a la escasez de información técnica local sobre las propiedades mecánicas de las especies nativas, a la limitada investigación experimental en el área, y a la persistente percepción de que la madera no garantiza niveles adecuados de seguridad estructural ni de durabilidad frente a materiales convencionales como el concreto o el acero. En contraste, Chile ha identificado a la madera como un componente estratégico para el futuro del sector construcción. En consecuencia, se plantea la necesidad de articular esfuerzos entre el sector público, privado y académico para cerrar brechas tecnológicas, mejorar el abastecimiento, actualizar y generar normativas específicas, y promover la estandarización de la madera estructural. Asimismo, se enfatiza la importancia de fortalecer la formación técnica de profesionales y operarios en sistemas constructivos basados en madera (García y Benedetti 2021).

En el contexto peruano, la situación es similar, a pesar de que el país posee una de las mayores diversidades de especies maderables en Sudamérica, el uso de la madera como elemento estructural en edificaciones formales es reducido. La construcción con madera se limita principalmente a viviendas rurales, cobertizos y construcciones temporales, mientras que en proyectos urbanos predomina el concreto armado. Esto se debe a factores como: la carencia de normas técnicas específicas que promuevan su aplicación estructural, la baja industrialización del sector maderero, el desconocimiento de las propiedades físico-



mecánicas de especies nativas y la escasa capacitación técnica en diseño y construcción con madera (CEPLAN, 2023). Aunque el Reglamento Nacional de Edificaciones incluye disposiciones sobre el uso de la madera, estas son generales y no contemplan el potencial de estos recursos.

En el ámbito local, la madera sigue siendo un recurso constructivo de uso extendido en las zonas rurales de Abancay, especialmente en la ejecución de techumbres, cerramientos y elementos auxiliares de vivienda. No obstante, su aplicación responde mayoritariamente a prácticas empíricas, carentes de diseño estructural formal y de criterios técnicos normativos. Esta situación conlleva la generación de edificaciones con limitaciones significativas en cuanto a seguridad estructural, manifestadas en deformaciones prematuras, fallas en las uniones y una vida útil considerablemente reducida. Entre las especies más utilizadas destaca la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), valorada por su disponibilidad en el mercado local y su relativa facilidad de trabajo. Sin embargo, su incorporación en elementos estructurales como cerchas de techo continúa siendo restringida debido a la escasa evidencia técnica que respalde su comportamiento mecánico y su desempeño estructural bajo condiciones reales de carga. Esta carencia de estudios especializados limita su inclusión en proyectos formales de vivienda, a pesar de que dicha especie podría representar una solución viable, económica y ambientalmente sostenible, especialmente adaptada a las condiciones geográficas y socioeconómicas de la región

En consecuencia, se identifica la necesidad de investigar el comportamiento estructural de cerchas tipo Fink fabricadas con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), a fin de generar información científica que permita validar su resistencia y desempeño, promoviendo así su inclusión como material estructural en edificaciones rurales y eventualmente en proyectos de mayor escala.

1.2 Enunciado del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el comportamiento estructural de una cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay en 2024?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para su uso como material estructural y aplicación en una cercha tipo Fink, de acuerdo con la Norma Técnica E.010?



- ¿Cuáles son los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones que se generan en una cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) cuando se somete a cargas?
- ¿Qué diferencias existen entre la deflexión máxima obtenida en el modelo teórico y la registrada en el prototipo de la cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay, bajo la aplicación de carga?

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación técnica

La investigación aporta datos experimentales sobre las propiedades físico-mecánicas de la madera *Cedrelinga catenaeformis*, permitiendo evaluar su comportamiento estructural en cerchas tipo Fink. Esto proporciona una base técnica para su uso estructural conforme a la normativa vigente. Además, el estudio contribuye al diseño y validación de estructuras de madera con modelos reales.

1.3.2 Justificación social

Presenta justificación social porque responde a la necesidad de mejorar las condiciones de habitabilidad en las viviendas rurales de Abancay, ya que permitirá construir viviendas que permitan brindar seguridad, durabilidad y promover el desarrollo sostenible.

1.3.3 Justificación por viabilidad

El estudio es viable porque se cuenta con acceso a la especie de madera en el mercado local, regional y nacional, la construcción del prototipo puede desarrollarse a escala y los ensayos pueden realizarse con equipos disponibles en laboratorios locales. Además, la metodología empleada es clara, replicable y se ajusta a los recursos del investigador.

1.3.4 Justificación por relevancia

El análisis del comportamiento estructural de la cercha tipo Fink permite generar información técnica confiable que contribuya a la toma de decisiones en el diseño y la construcción de cubiertas, fortaleciendo así la seguridad estructural y el confort de las familias, además de revalorar a la madera como un material estructural.



CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos de la investigación

2.1.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay, 2024.

2.1.2 Objetivos específicos

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para su uso como material estructural y aplicación en cercha tipo Fink, de acuerdo a la Norma Técnica E.010.
- Evaluar los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones en una cercha tipo Fink fabricado con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) ante solicitaciones de carga.
- Comparar la deflexión máxima obtenida en el modelo teórico con la registrada en el prototipo de cercha tipo Fink fabricado con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales, bajo la aplicación de carga.

2.2 Hipótesis de la investigación

2.2.1 Hipótesis general

El comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) es adecuado y eficiente para viviendas rurales en Abancay, 2024.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Las propiedades físicas y mecánicas de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la Norma Técnica E.010 para su uso como material estructural y aplicación en cercha tipo Fink.
- Los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones muestran que la cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) soporta carga de manera adecuada.



- La deflexión máxima del modelo teórico es inferior a la registrada en el prototipo de cercha tipo Fink fabricado con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay, ante la aplicación de carga.

2.3 Operacionalización de variables

Tabla 1 — Matriz de operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD	INSTRUMENTOS
<p><u>VARIABLE INDEPENDIENTE</u></p> <p>Madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>)</p>	<p>Especie forestal nativa de la Amazonía peruana, reconocida por su potencial en aplicaciones estructurales y su disponibilidad en sistemas agroforestales sostenibles. Su uso en construcción rural ha sido promovido por estudios recientes que destacan su viabilidad técnica y su contribución al aprovechamiento responsable de recursos maderables (Baldeon 2022).</p>	<p>La madera tornillo utilizada en esta investigación corresponde a piezas aserradas con dimensiones normalizadas, con un contenido de humedad cercana al 12%. Su caracterización se realizó mediante ensayos físicos de densidad y ensayos mecánicos de resistencia al cizallamiento paralelo, compresión paralela, compresión perpendicular y flexión estática, de acuerdo con las normas técnicas peruanas vigentes.</p>	Propiedades físicas	Humedad	%	Balanza, horno eléctrico, vernier, higrómetro y formatos
				Densidad	g/cm ³	
			Propiedades mecánicas	Resistencia al cizallamiento paralelo al grano	kg/cm ²	Equipo de compresión, vernier y formatos
				Resistencia a la compresión paralela al grano	kg/cm ²	
				Resistencia a la compresión perpendicular al grano	kg/cm ²	
				Resistencia a la flexión estática	kg/cm ²	
			Diseño y construcción de cerchas	Dimensiones de los elementos	m	Hojas de cálculo
				Configuración de las uniones	-	Hojas de cálculo y AutoCAD
<p><u>VARIABLE DEPENDIENTE</u></p> <p>Comportamiento estructural de cercha tipo Fink</p>	<p>El comportamiento estructural de una estructura es su respuesta frente a las acciones externas que actúan sobre ella, y se analiza mediante modelos matemáticos que permiten predecir esfuerzos, deformaciones y desplazamientos (Cervera y Blanco 2014).</p>	<p>El comportamiento estructural se evalúa mediante el análisis numérico y de modelos físicos cerchas tipo Fink construidas con madera tornillo, considerando cargas de servicio, deflexión vertical máxima y fuerzas internas que actúan en la estructura, en cumplimiento de criterios de servicio y seguridad según NTP E.010 y principios de mecánica estructural.</p>	Resistencia estructural	Carga máxima soportada	kg	Prensa hidráulica
			Deflexión	Flecha máxima	mm	Deformímetro análogo
			Fuerzas internas	Fuerzas axiales	kg	Hojas de cálculo y Software SAP 2000
				Fuerzas cortantes	kg	
				Momento flector	kg-m	

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 A nivel internacional

- a) El estudio “Influence of moisture content on physical and mechanical properties of *Cedrelinga catenaeformis* wood”, desarrollado por Ribeiro et al. (2021) en Brasil, evaluó el efecto del contenido de humedad sobre las propiedades físico-mecánicas de la madera *Cedrelinga catenaeformis*. Bajo los lineamientos de la norma ABNT NBR 7190, se realizaron 372 ensayos sobre probetas con dos niveles de humedad: una próxima al punto de saturación de fibras (27,11 %) y otra al equilibrio higroscópico (12 %).

Los resultados indicaron que solo tres propiedades se vieron significativamente afectadas por la variación de humedad: la resistencia a la compresión paralela aumentó un 34 %, la resistencia al cizallamiento paralelo un 35 %, y el módulo de elasticidad en compresión paralela un 16 % al reducir la humedad al 12 %. Las demás propiedades (tracción, flexión, dureza, etc.) no mostraron cambios relevantes, lo que contradice las expresiones normativas de corrección lineal por humedad. Además, se identificaron discrepancias entre los valores experimentales y los estimados mediante dichas fórmulas, especialmente en propiedades insensibles a la humedad, lo que podría comprometer la seguridad estructural si se aplican sin validación.

Se concluye que la madera con 12 % de humedad presenta mejor desempeño estructural, particularmente en términos de resistencia y rigidez, lo que resalta la importancia de controlar adecuadamente la humedad y revisar los modelos normativos para garantizar mayor precisión en el diseño estructural.

- b) En el estudio titulado “Physical and mechanical characterization of *Cedrelinga catenaeformis* Ducke wood specie”, desarrollado por Borges de Moura et al. (2018) en Brasil, se llevó a cabo la caracterización física y mecánica de la madera *Cedrelinga catenaeformis*, con el propósito de evaluar su viabilidad para aplicaciones estructurales en el sector construcción. La investigación fue



desarrollada bajo los lineamientos establecidos por la norma brasileña ABNT NBR 7190, utilizando muestras acondicionadas con un contenido de humedad cercano al 12 % y realizando un total de 195 ensayos experimentales. Los resultados obtenidos evidenciaron que esta especie presenta propiedades mecánicas comparables a las de maderas comúnmente empleadas en estructuras temporales. Entre los valores promedio más relevantes se destacan: densidad de $0,57 \text{ g/cm}^3$, resistencia a la compresión paralela de 41 MPa ($418,08 \text{ kg/cm}^2$), resistencia a la compresión perpendicular de 3,3 MPa ($33,65 \text{ kg/cm}^2$), resistencia al cizallamiento paralelo de 12 MPa ($122,37 \text{ kg/cm}^2$), resistencia a la flexión estática de 60 MPa ($611,83 \text{ kg/cm}^2$) y un módulo de elasticidad de 10077 MPa ($102756,78 \text{ kg/cm}^2$). Estos parámetros permitieron clasificar la madera en la clase resistente C20, según la normativa mencionada.

En conclusión, los autores resaltan que la madera *Cedrelinga catenaeformis* posee características adecuadas para su uso en la construcción, representando una alternativa viable frente a la escasez de especies comerciales, especialmente en el contexto de un manejo forestal sostenible.

- c) En el estudio titulado “Construction of all-wood trusses with plywood nodes and wooden pegs”, Kromoser et al. (2021) propusieron un sistema de cerchas completamente de madera como alternativa sostenible a las soluciones convencionales que utilizan placas metálicas. La investigación se centró en la optimización geométrica y estructural de cerchas mediante algoritmos evolutivos (Galapagos), junto con herramientas paramétricas como Grasshopper y Karamba 3D, priorizando la reducción del consumo de madera sin comprometer la capacidad portante. Mediante optimización numérica, se logró reducir hasta en un 14,9 % la masa estructural respecto al modelo de referencia, y hasta en 60 % bajo condiciones teóricas que incluían variación de secciones transversales. Los elementos fueron fabricados íntegramente con madera, empleando uniones tipo wood-wood, compuestas por placas de contrachapado embutidas y fijadas con espigas de madera, eliminando completamente el uso de acero. Ensayos experimentales mostraron que las configuraciones con placas de contrachapado de haya de 18 mm y espigas de haya de 14 mm proporcionaban una alta capacidad de carga y comportamiento dúctil, tanto en tracción como en compresión. Finalmente, la validación estructural mediante ensayos a escala real confirmó que el sistema propuesto



es viable técnica y ambientalmente, ofreciendo una solución eficiente, ecológica y replicable para construcciones con cerchas de madera, sin sacrificar resistencia ni estabilidad.

3.1.2 A nivel nacional

- a) Chura y Muchica (2021) en su tesis de pregrado titulada “Factibilidad del uso de la madera *Pinus radiata* como material estructural para la construcción de tijerales en la región Puno”, mediante pruebas de flexión, densidad y contenido de humedad buscaron clasificar en los grupos estructurales de la Norma Técnica E.010 del año 2019 (vigente en durante la investigación), aunque los resultados no logaron cumplir con los requisitos de resistencia mecánica necesarios para clasificarse en el grupo “C”, los resultados fueron prometedores. Asimismo, evaluaron un tijeral tipo Howe construido con dicha madera, el cual soportó una carga significativa de 837,55 kg, siendo superior a la carga de diseño que fue de 826,82 kg. Este resultado fue especialmente relevante, ya que amplió las posibilidades de utilizar diferentes especies de madera en estructuras similares.

- b) Vásquez (2021) en su investigación: “Evaluación del comportamiento estructural de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) dependiendo del contenido de humedad – Chiclayo” realizó análisis para evaluar el contenido de humedad de la madera, del mismo modo realizó en laboratorio ensayos de flexión, compresión y tracción para distintos contenidos de humedad, y así determinar el porcentaje de humedad óptimo en la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para que tenga mejor comportamiento estructural. Luego de haber realizado todas las pruebas pertinentes se obtuvo que la madera en estado natural con contenido de humedad de 11,08 % resiste a esfuerzos promedios de compresión de 327,73 kg/cm², esfuerzos de tensión de rotura de 1376,79 kg/cm² y a esfuerzos de rotura promedio de 770,24 kg/cm², mientras que la madera saturada con contenido de humedad al 31,75 % resiste a esfuerzos de compresión de 282,70 kg/cm², esfuerzo de tensión de rotura de 1612,73 kg/cm² y a esfuerzo de rotura promedio de 688,61 kg/cm², concluyendo que la humedad óptima para un óptimo comportamiento estructural de la madera es de 11,08 %.

- c) En su tesis de pregrado “Prototipo de tijerales usando madera Chontaquiro (*Diplotropis sp*) aplicando la norma técnica peruana E.010 en la selva central”, Espinoza y Macavilca (2018) indican que se realizaron pruebas físicas y mecánicas para clasificar la madera Chontaquiro; se determinaron los esfuerzos admisibles y el módulo de elasticidad, y se concluyó que pertenece al grupo estructural "A", lo que significa que es adecuado para su aplicación en elementos estructurales. Además, se evaluó un prototipo de tijeral tipo Howe el cuál cumple con las exigencias mínimas de las normas técnicas E.010 de madera y E.020 de Cargas, pertenecientes al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Estos resultados confirmaron que la madera Chontaquiro satisface los requisitos estructurales de las regulaciones nacionales, aportando valiosa información útil sobre la viabilidad de otras especies de maderas.

3.1.3 A nivel regional y local

- a) Osis y Muñoz (2022) en su tesis “Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Pino (*Pinus radiata*) y Ciprés (*Cupressus lusitánica*), para su uso como material estructural y su aplicación al diseño de un tijeral par y nudillo, Abancay-Apurímac” llevaron un estudio exhaustivo. En este caso, el estudio se centró en medir las propiedades físicas y propiedades mecánicas, como la resistencia al cizallamiento paralelo al grano, la compresión axial paralela a los granos y la resistencia a la tracción paralela a los granos. Se utilizaron 450 probetas de 10 árboles de eucalipto, pino y ciprés extraídos de Taraccasa y Soccellacsa. Los resultados de la investigación indicaron que la madera de eucalipto tener características más óptimas para su uso estructural, presentando esfuerzos admisibles de flexión de 409,30 kg/cm², tracción paralela de 453,30 kg/cm², compresión paralela al grano de 206,10 kg/cm², compresión perpendicular al grano de 42,10 kg/cm², corte paralelo al grano de 21,20 kg/cm² y módulo de elasticidad de 65989,3 kg/cm², resultando adecuadas para su aplicación en armaduras estructurales.
- b) Siguiendo con la búsqueda de investigaciones antecesoras, Chipana (2024) en la investigación experimental que titula “Influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico-mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama - Abancay, 2023” determinó la influencia del tratamiento con aceites por inmersión prolongada en sus propiedades físico-



mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe. Tuvo como población de estudio un sector de la localidad de Uripampa, con muestras tomadas de 5 árboles. Se evaluaron 120 testigos; 40 sin tratamiento, 40 tratadas con aceite de teca y 40 con aceite quemado automotriz, mediante ensayos de laboratorio se midieron el contenido de humedad, densidad, compresión paralela al grano, compresión perpendicular al grano, y flexión estática siguiendo lo establecido por la normativa vigente peruana. Los resultados obtenidos luego de realizar análisis estadísticos se aplicaron al diseño estructural de una cercha tipo Howe, utilizando como herramienta el software SAP 2000 para su simulación.

3.2 Marco teórico

3.2.1 Madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*)

Como lo mencionan Yoza et al. (2015), esta especie se encuentra principalmente en la Amazonía de Perú, Brasil, Bolivia, Colombia y Ecuador, en altitudes de hasta 700 m.s.n.m. En particular, en el Perú, se pueden encontrar en las zonas de Cusco, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, San Martín y Ucayali.

Crece lentamente y soporta bien las sequías. Puede alcanzar entre 30 y 50 metros de altura, con un tronco útil de 20 a 40 metros, y un diámetro de 0,6 a 1,4 metros a una altura de 1,8 metros.

Clasificación Taxonómica:

- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Subfamilia: Mimosoideae
- Género: Cedrelinga
- Nombre científico: *Cedrelinga catenaeformis*
- Familia: Fabaceae
- Nombres comunes: Tornillo, mara macho, tornillo rosado, chuncho, entre otros.

3.2.2 Propiedades físicas de la madera

Medina et al. (2018, p. 64) definen las propiedades físicas de la madera como aquellas que influyen en su respuesta a las condiciones ambientales, sin que estos factores afecten químicamente ni mecánicamente su estructura interna.



3.2.2.1 Contenido de humedad

La NTP 251.010 (2020), define como la cantidad de agua que se encuentra en la madera, expresada como un porcentaje de su masa y se calcula con la siguiente expresión:

$$CH (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \times 100 [\%]$$

Donde:

- CH = Contenido de humedad de la madera
- m_1 = Masa de la muestra en estado natura [g]
- m_2 = Masa de la muestra seca [g]

Se debe precisar que el proceso de secado en estufa debe ser a una temperatura de (103 ± 2) °C, establecido en la NTP 251.010.

Casas (2020) destaca la significativa importancia del contenido de humedad en la madera, ya que afecta sus características y propiedades tecnológicas. Es fundamental estudiar las relaciones entre el agua y la madera porque la humedad influye considerablemente en los procesos de transformación de la madera y en su comportamiento estructural.

3.2.2.2 Densidad

La densidad de la madera es un indicador clave de sus propiedades físicas y mecánicas, ya que influye en su resistencia, durabilidad y comportamiento estructural. Se define como la relación del peso de la madera por unidad de volumen a un determinado contenido de humedad, expresada en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

Rivadeneira (2022) menciona que existen diversas categorías de densidades que deben considerarse en relación con las variaciones en la humedad, éstas densidades son las siguientes:

- **Densidad Básica:** Es la relación entre la masa de la madera en estado anhidro y su volumen cuando está saturada con al menos un 30% de contenido de humedad (Rivadeneira 2022, p. 15).
- **Densidad Verde o Saturada:** Corresponde a la masa y volumen de la madera en estado verde o saturado, con un contenido de humedad superior al 30% (Rivadeneira 2022, p. 15).
- **Densidad Seca al aire:** Relación entre el peso y el volumen de la madera en estado seco al aire, con aproximadamente un 12% de humedad (Rivadeneira 2022, p. 15).



- **Densidad Seca al horno:** Relación entre la masa de la madera seca al aire y su volumen en estado anhidro, con 0% de contenido de humedad. (Rivadeneira 2022, p. 15).

a) Densidad Básica

Según la NTP 251.011 (2019), “la densidad se define como el cociente entre el peso seco de la muestra y el volumen en estado saturado, expresado en g/cm³”.

Se calcula con la siguiente expresión:

$$DB = \frac{P_s}{V} \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

Donde:

- DB = Densidad básica de la madera
- P_s = Peso de la muestra seca [g]
- V = Volumen de la muestra saturada [cm³]

3.2.3 Propiedades mecánicas de la madera

Medina et al. (2018, p. 64) describen a las propiedades mecánicas de la madera como las que determinan su capacidad para soportar cargas externas, sin incluir los esfuerzos debidos a las tensiones internas ocasionadas por variaciones en el contenido de humedad. Por su parte, Cabanillas (2019) subraya que dichas propiedades están significativamente afectadas por el nivel de humedad y la orientación del grano durante su evaluación. Asimismo, cualquier irregularidad en la madera puede impactar negativamente su resistencia, durabilidad y funcionalidad. Los valores de las propiedades mecánicas de la madera son obtenidos mediante pruebas de laboratorio de muestras de madera sin defectos.

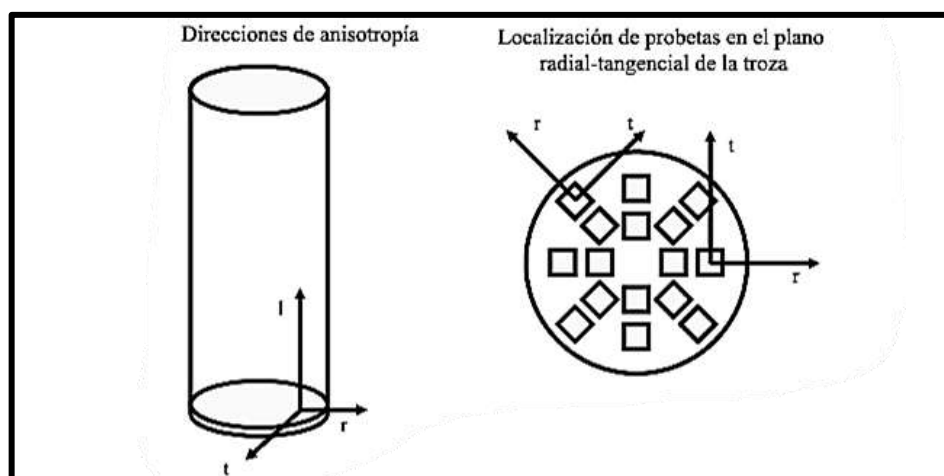
3.2.3.1 Anisotropía de la madera

Umlandt et al.(2022) señala que, la madera por tratarse de un material heterogéneo y anisotrópico, sus propiedades principalmente las mecánicas varían a lo largo de sus tres ejes perpendiculares entre sí: longitudinal, radial y tangencial.

- Eje longitudinal:** Paralelo a la dirección del grano.
- Eje radial:** Perpendicular a la dirección del grano y normal a los anillos de crecimiento.
- Eje tangencial:** Perpendicular a la dirección del grano y tangente a los anillos.



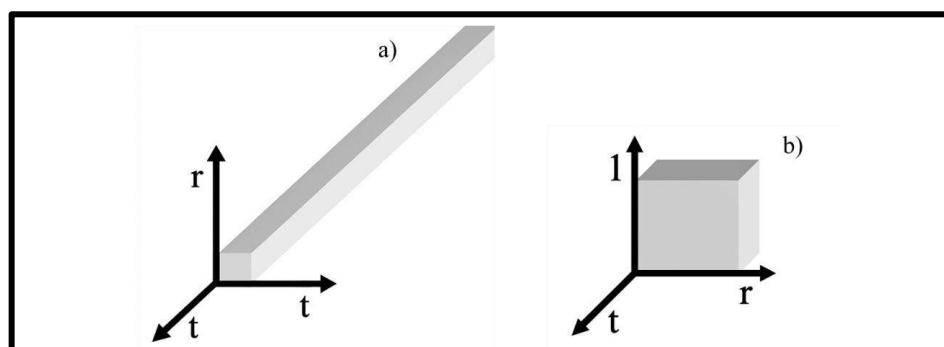
Es importante señalar que las diferencias entre los ejes radial y tangencial son relativamente menores en comparación con las diferencias del eje radial o tangencial con el eje longitudinal.



FUENTE: SOTOMAYOR Y RAMÍREZ, 2014, p.5

Figura 1 — Direcciones de anisotropía de la madera

Para las probetas que se utilizaran en las pruebas de laboratorio se deben definir bien la orientación de sus ejes.



NOTA

a) en listones, b) en probetas

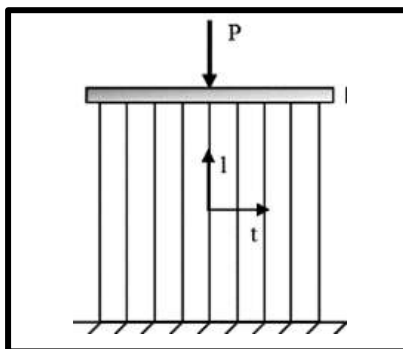
FUENTE: SOTOMAYOR Y RAMÍREZ, 2014, p.5

Figura 2 — Ejes locales

3.2.3.2 Compresión axial o paralela al grano

Cuando se aplica una carga de compresión paralela al grano en la madera, se genera una tensión que provoca el acortamiento de las células a lo largo de su eje longitudinal. Al someterse a esta compresión, la madera falla inicialmente cuando las microfibrillas dentro de la pared celular comienzan a plegarse, creando planos de debilidad o inestabilidad en la estructura celular (Winandy 1994, p. 555).





FUENTE: SOTOMAYOR Y RAMÍREZ, 2014, p.6

Figura 3 — Compresión paralela al grano, en dirección longitudinal

Por otro lado, la NTP 251.014 (2020, p. 4) establece que, “para evaluar la compresión paralela al grano en la madera, se deben calcular el esfuerzo limite proporcional (ELP), la resistencia máxima por compresión axial (RM) y el módulo de elasticidad (MOE), expresadas en kg/cm^2 ”.

a) Cálculo del esfuerzo limite proporcional

$$ELP = \frac{P'}{A} \text{ [kg}/\text{cm}^2\text{]}$$

Donde:

- ELP = Esfuerzo limite proporcional,
- P' = Carga soportada hasta el límite proporcional [kg]
- A = Sección transversal de la probeta [cm^2]

b) Cálculo de la resistencia máxima por compresión axial

$$RM = \frac{P}{A} \text{ [kg}/\text{cm}^2\text{]}$$

Donde:

- RM = Resistencia máxima por compresión axial
- P = Carga máxima soportada por la probeta [kg]
- A = Sección transversal de la probeta [cm^2]

c) Cálculo del módulo de elasticidad

$$MOE = \frac{P' \times L}{A \times D} \text{ [kg}/\text{cm}^2\text{]}$$

Donde:

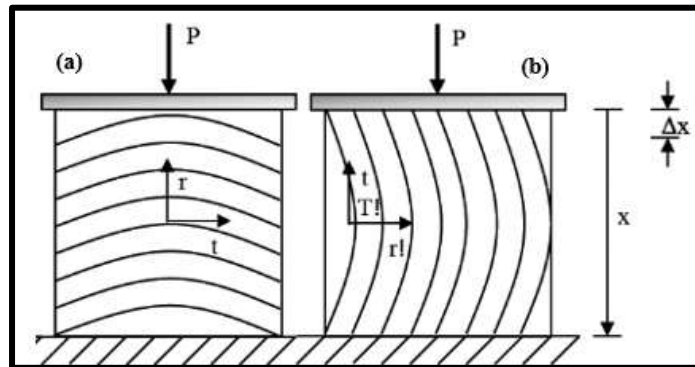
- MOE = Módulo de elasticidad
- P' = Carga soportada hasta el límite proporcional [kg]
- L = Distancia entre las abrazaderas del deflectómetro [cm]
- A = Sección transversal de la probeta [cm^2]



- D = Deformación de la probeta al límite proporcional [cm]

3.2.3.3 Compresión perpendicular al grano

Winandy (1994, p. 555) explica que la compresión perpendicular al grano ocurre cuando se aplican cargas en esa dirección, provocando una tensión que deforma las células de la madera en ángulo recto a su longitud. Por consiguiente, al colapsar las cavidades de las células huecas, la madera se vuelve más fuerte debido a la reducción de espacios vacíos.



NOTA

a) en dirección radial, (b) en dirección tangencial

FUENTE: SOTOMAYOR Y RAMÍREZ, 2014, p.6

Figura 4 — Compresión perpendicular al grano

La NTP 251.016 (2015, p. 5) establece que, para evaluar la compresión perpendicular al grano se debe calcular el esfuerzo límite proporcional.

El cálculo se realiza mediante la siguiente expresión:

$$ELP = \frac{P'}{S} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Donde:

- ELP = Esfuerzo límite proporcional
- P' = Carga al límite proporcional [kg]
- S = Superficie de la probeta [cm²]

3.2.3.4 Flexión estática

Según Suirezs y Berger (2009), una madera está sometida a flexión estática cuando se le aplican cargas lentamente provocando curvatura. Las maderas en uso generalmente están sujetas a cargas que las flexionan, especialmente en piezas largas en comparación con su sección transversal, la acción de la carga normal a su eje longitudinal induce una curvatura y generan tres esfuerzos fundamentales:



- Esfuerzo de compresión que producen un acortamiento longitudinal en la parte superior.
- Esfuerzo de tracción que producen un alargamiento en la parte inferior
- Esfuerzo de corte o cizalle en el centro.

Para los ensayos de flexión estática, se seguirán las directrices de la NTP 251.017, revisada en 2019. Esta norma proporciona los métodos y procedimientos específicos para evaluar la resistencia y comportamiento de la madera bajo cargas de flexión aplicadas de manera estática.

a) Cálculo del módulo de ruptura

$$MOR = \frac{3 \times P \times L}{2 \times a \times e^2} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Donde:

- MOR = Modulo de ruptura
- P = Carga máxima [kg]
- L = Distancia entre los soportes [cm]
- a = Ancho de la probeta [cm]
- e = Espesor de la probeta [cm]

b) Cálculo del módulo de elasticidad

$$MOE = \frac{P' \times L^3}{4 \times a \times e^3 \times Y} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Donde:

- MOE = Módulo de elasticidad
- P' = Carga al límite proporcional [kg]
- L = Distancia entre los soportes [cm]
- a = Ancho de la probeta [cm]
- e = Espesor de la probeta [cm]
- Y = Deflexión en el centro de la luz [cm]

3.2.3.5 Cizallamiento paralelo al grano

Como lo mencionan Suirezs y Berger (2009, p. 44), el cizallamiento o corte paralelo al grano se produce cuando una pieza de madera es sometida a fuerzas que generan un deslizamiento de una parte de ella sobre la otra parte adyacente de la misma.

Esto puede ocurrir en aplicaciones estructurales donde la madera experimenta tensiones de corte, así que es un aspecto importante a considerar en el diseño y uso de elementos de madera en construcción.



Para determinar la resistencia al cizallamiento se utiliza la siguiente fórmula:

$$RC = \frac{P}{A} \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

Donde:

- RC = Resistencia al cizallamiento paralelo al grano
- P = Carga máxima [kg]
- A = Superficie del plano en que se produce cizallamiento [cm²]

3.2.4 Clasificación estructural de la madera

La clasificación estructural de la madera establece cómo se deben organizar las piezas de madera según sus características físicas y mecánicas, las cuales pueden influir en el rendimiento estructural de la madera. Como lo especifica la Norma Técnica E.010 (2021) del Reglamento Nacional de Edificaciones, “el agrupamiento para uso estructural de la madera se basa en los valores de densidad básica, esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad para los grupos A, B, C y D”. Ver Tablas 2,3 y 4.

Tabla 2 — Densidad básica para maderas latifoliadas

Grupo	Densidad Básica [g/cm ³]
A	≥ 0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55
D	0,36 a 0,39

FUENTE: NORMA TÉCNICA E.010, 2021

Tabla 3 — Esfuerzos admisibles para maderas latifoliadas

Grupo	Esfuerzos admisibles MPa (kg/cm ²)				
	Flexión f_m	Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_c //$	Compresión Perpendicular $f_{c\perp}$	Corte Paralelo f_v
A	20,6 (210)	14,2 (145)	14,2 (145)	3,9 (40)	1,5 (15)
B	14,7 (150)	10,3 (105)	10,8 (110)	2,7 (28)	1,2 (12)
C	9,8 (100)	7,3 (75)	7,8 (80)	1,5 (15)	0,8 (8)
D	6,8 (70)	5,8 (60)	6,2 (63)	1,3 (13)	0,6 (6)

NOTA
Valores para un contenido de humedad < 22 %

FUENTE: NORMA TÉCNICA E.010, 2021



Tabla 4 — Módulo de elasticidad para maderas latifoliadas

Grupo	Módulo de elasticidad (E) MPa (kg/cm ²)	
	E _{min}	E _{prom}
A	9316 (95000)	12748 (130000)
B	7355 (75000)	9806 (100000)
C	5394 (55000)	8826 (90000)
D	4414 (45000)	6400 (65000)

FUENTE: NORMA TÉCNICA E.010, 2021

3.2.5 Sistema de cerchas tipo Fink

Diseñado por Albert Fink, esta cercha se caracteriza por su entramado interno en forma de W, lo cual crea secciones triangulares internas que permiten una distribución eficiente de las cargas. Además, es una solución que resulta más económica en comparación a otro tipo de cerchas por tener menos cantidad de elementos.

Este diseño distribuye las cargas de manera eficiente, lo que les confiere una gran resistencia rigidez y capacidad para soportar pesos considerables. Por tratarse de estructuras ligeras son manejables en el montaje y económicas tanto en mano de obra como en materiales a comparación de otros sistemas (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

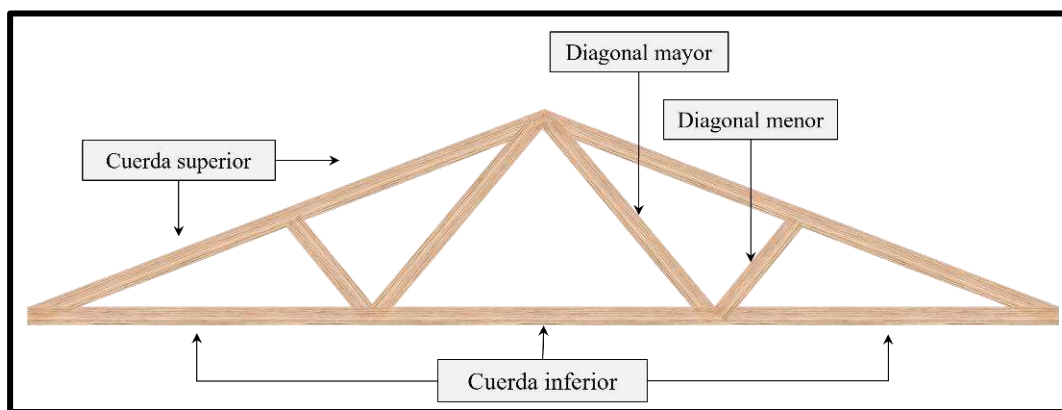


Figura 5 — Elementos de cercha tipo Fink

3.2.6 Diseño estructural

3.2.6.1 Método de análisis

Se debe realizar el análisis por procedimientos convencionales de análisis lineal. La determinación de los efectos de cargas (deformaciones, fuerzas y momentos) se deben efectuar con hipótesis concernientes y con métodos aceptados en la buena práctica de la ingeniería (JUNAC, 1984)



3.2.6.2 Método de diseño

El diseño de elementos de madera debe realizarse aplicando el método de esfuerzos admisibles considerando las cargas de servicio, se debe tener en cuenta criterios de rigidez, resistencia y estabilidad, considerando la condición más crítica. Los elementos estructurales deben ser diseñados de manera que los esfuerzos generados por las cargas de servicio sean menores o iguales a los esfuerzos admisibles del material, como indica la Norma Técnica E.010 (2021).

3.2.6.3 Esfuerzos admisibles

De acuerdo con la Norma Técnica E.010 (2021), el diseño de estructuras de madera se diferencia de otros materiales como el concreto armado o el acero. Mientras que para estos últimos se emplean métodos de resistencia última (que consisten en mayorar las cargas), en la madera se utiliza el método de esfuerzos admisibles. Este enfoque, de práctica globalmente aceptada, se basa en reducir la resistencia del material en lugar de incrementar las cargas aplicadas. Los esfuerzos admisibles se deben determinar aplicando la siguiente expresión:

$$Esfuerzo\ admisible = \frac{F.C. \times F.T.}{F.S. \times F.D.C.} \times Esfuerzo\ último$$

Donde:

- *F.C.* = Coeficiente de reducción por calidad (defectos)
- *F.T.* = Coeficiente de reducción por tamaño
- *F.S.* = Coeficiente de seguridad
- *F.D.C.* = Coeficiente de duración de carga

Tabla 5 — Coeficientes de reducción para determinación de esfuerzos admisibles

	Flexión	Compresión paralela	Corte paralelo	Compresión perpendicular
F.C.	0,80	*	*	*
F.T.	0,90	*	*	*
F.S.	2,00	1,60	4,00**	1,60
F.D.C.	1,15	1,25	*	*

NOTA
 (*) Incluido en F.S.
 (**) Incluye un coeficiente por concentración de esfuerzos = 2,00 debido a la posible presencia de rajaduras por secado en los extremos de la pieza.

FUENTE: NORMA TÉCNICA E.010, 2021



Para el cálculo del esfuerzo admisible en tracción paralela, se considerará el 70 % de los factores de corrección correspondientes al esfuerzo de flexión, tal como lo establece la Norma Técnica Peruana E.010.

3.2.6.4 Definición de cargas

El diseño de un sistema de cerchas debe tener en cuenta las diversas sollicitaciones posibles comunes, las formas en las que estas se aplican o son soportadas pueden ser específicas de la madera.

a) Cargas muertas

La Norma Técnica E.020 (2020) establece que son todas las cargas verticales derivadas del peso de los componentes permanentes de la estructura, estas cargas son constantes y no varían con el tiempo, proporcionando una base estable para el cálculo de otras cargas y el diseño estructural de la cercha. Esto abarca el peso de la madera y otros materiales de construcción fijos, como clavos, placas de conexión y recubrimientos permanentes como tejas o paneles.

b) Cargas vivas

Las cargas vivas son las fuerzas temporales o móviles que actúan sobre la estructura, es decir, todas aquellas cargas que no forman parte del peso propio de la estructura pero que está destinada resistir. Estas incluyen el peso de sobrecargas de nieve, viento y cualquier otro elemento que pueda variar en posición o magnitud con el tiempo, como lo indica la Norma Técnica E.020 (2020). A diferencia de las cargas muertas, las cargas vivas pueden cambiar con el tiempo y deben ser consideradas en el diseño para garantizar que la cercha pueda soportar todas las posibles variaciones durante su vida útil.

3.2.6.5 Uniones

Dado que la madera no puede ser fundida ni soldada como otros materiales de construcción comunes, como el concreto y el acero, es necesario utilizar elementos de unión, conexiones o fijaciones que permitan transferir los esfuerzos de un componente a otro. Espinosa y Salazar (2011) afirman que, "la fuerza y estabilidad de cualquier estructura de madera dependen en gran medida de los sistemas de fijación y de las conexiones entre sus partes. Una de las ventajas de utilizar madera en construcción es la facilidad con la que se pueden unir las piezas estructurales mediante diversos elementos". Actualmente, la Norma Técnica E.010 del



Reglamento Nacional de Edificaciones especifica dos tipos de uniones: clavadas y empernadas. No obstante, existen distintos tipos de uniones:

3.2.7 Uniones clavadas

Este tipo de uniones son las más comunes en la construcción de estructuras de maderas debido a su simplicidad y eficacia. Como establece la Norma Técnica E.010 (2021), en el diseño de uniones con clavos, la carga admisible aumenta con el número de clavos, siempre que estos cumplan con los requisitos mínimos de separación.

Tabla 6 — Carga admisible por clavo a cizallamiento simple

Longitud (L)		D	Carga admisible [kg]		
mm	Pulg.		Grupo A	Grupo B	Grupo C
51	2	2,4	45	35	25
		2,6	40	31	22
		2,9	46	36	25
		3,3	53	42	30
63	2 ½	2,6	40	31	22
		2,9	46	36	25
		3,3	53	42	30
		3,7	61	48	35
76	3	3,3	53	42	30
		3,7	61	48	35
		4,1	70	54	39
89	3 ½	3,7	61	48	35
		4,1	70	54	39
		4,5	78	61	44
102	4	4,1	70	54	39
		4,5	78	61	44
		4,9	87	68	49

NOTA
Para el grupo D, se debe tomar el 70 % de los valores establecidos para el grupo C.

FUENTE: NORMA TÉCNICA E.010 2021

Tabla 7 — Factores modificatorios de cargas admisibles para uniones clavadas

	Tipo de unión	Factor
a	Cizallamiento simple, clavo perpendicular al grano	1,00
b	Cizallamiento simple, clavo a tope (paralelo al grano de la madera que contiene a la punta)	0,67
c	Cizallamiento simple, clavos lanceros	0,83
d	Cizallamiento doble, clavo perpendicular al grano	1,80

FUENTE: NORMA TÉCNICA E.010, 2021

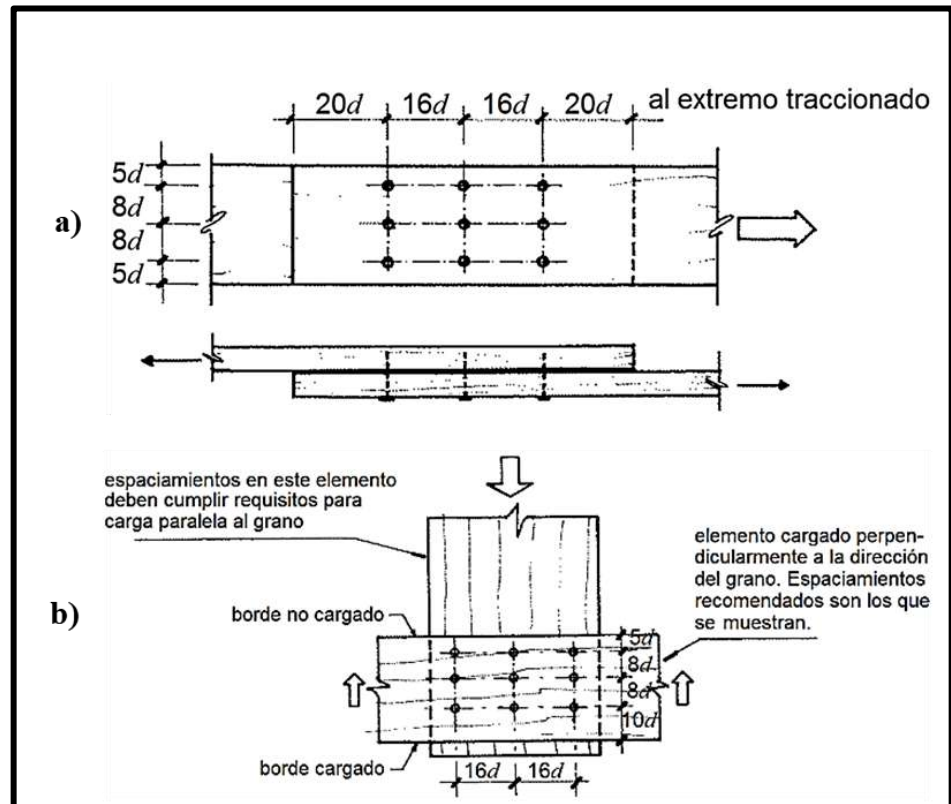
3.2.7.1 Espaciamientos mínimos entre clavos

Los espaciamientos de clavo a clavo es un requisito fundamental que debe



cumplirse para evitar que las piezas de madera se rajen durante el clavado y afecten a sus propiedades físicas y mecánicas. Se debe tener en cuenta la dirección de la carga.

Los espaciamientos mínimos para cizallamiento simple o doble clavado desde un lado se debe tener en cuenta los espaciamientos especificados en la Figura 6.



NOTA

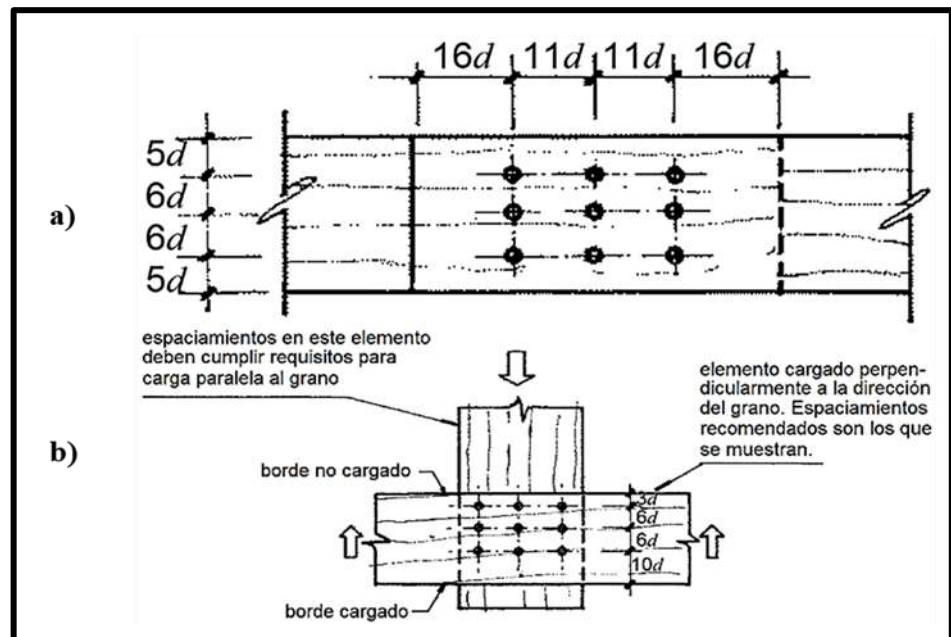
a) en elementos cargados paralelo al grano, b) en elementos cargados perpendicular al grano.

FUENTE: NORMA TÉCNICA E.010, 2021

Figura 6 — Espaciamiento de clavos para cizallamiento simple o doble, clavado por un lado

En maderas que presentan dificultad al clavado debe realizarse un pretaladrado con una broca o cabezal de 0,8 veces el diámetro del clavo y considerar los espaciamientos mínimos para cizallamiento con pretaladrado o doble cizallamiento clavado alternadamente de ambos lados se debe tener en cuenta lo especificado en la Figura 7





NOTA

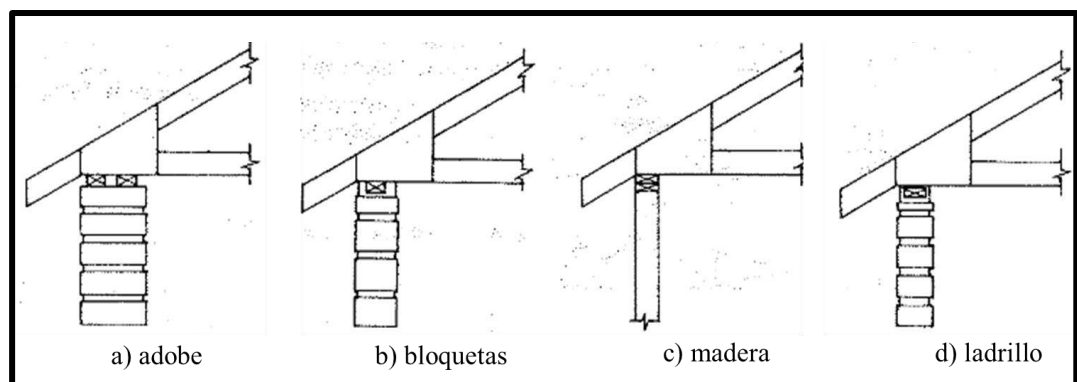
a) en elementos cargados paralelo al grano, b) en elementos cargados perpendicular al grano.

FUENTE: NORMA TÉCNICA E.010, 2021

Figura 7 — Espaciamiento de clavos para cizallamiento simple con pretaladrado o cizallamiento doble en ambos lados

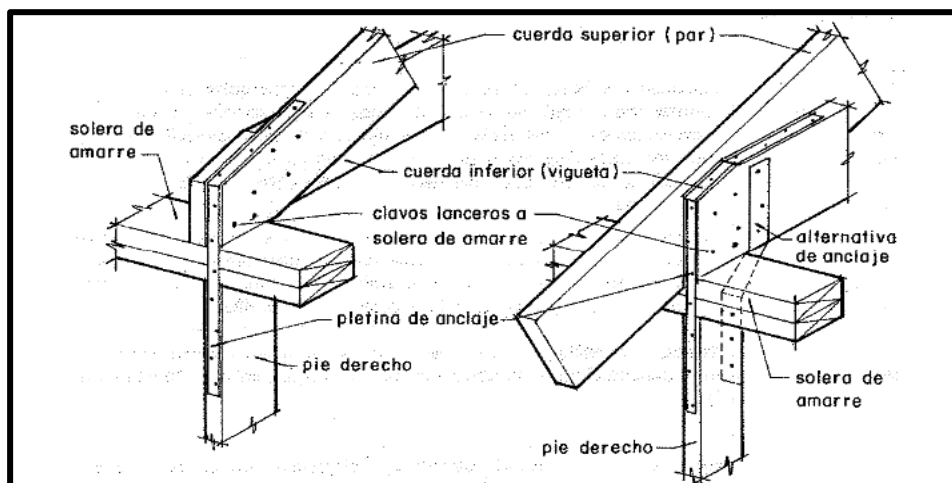
3.2.8 Estabilidad

JUNAC (1984) menciona que, para garantizar que las armaduras puedan desarrollar toda su capacidad de diseño es necesario que sus apoyos y arriostres sean adecuados.



FUENTE: JUNAC, 1984

Figura 8 — Encuentro de cerchas con muros



FUENTE: JUNAC, 1984

Figura 9 — Anclaje de cercha a muro

3.2.9 Criterios estadísticos

3.2.9.1 Media aritmética

Conocida como media o promedio, es una medida de tendencia central que se utiliza para representar un conjunto de datos con un solo valor. Se obtiene de la división entre la suma de todos los valores y la cantidad total de valores (Díaz y Rosado 2019).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Dónde:

- n = Número de datos
- \bar{x} = Media aritmética

3.2.9.2 Varianza muestral

Es una medida estadística que evalúa la dispersión o variabilidad de un conjunto de datos en relación a su media. En otras palabras, la varianza indica cuánto se apartan los datos en promedio de la media del conjunto. Según Díaz y Rosado (2019), “la varianza es una medida estadística que cuantifica cuánto varían los datos en un conjunto en relación con su media aritmética.

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

Dónde:

- s^2 = Varianza
- \bar{x} = Media aritmética o promedio



- n = Número de datos

3.2.9.3 Desviación estándar muestral

La desviación estándar es una medida estadística que se obtiene tomando la raíz cuadrada de la varianza, creada para superar la limitación de la varianza de expresar sus unidades al cuadrado (Díaz y Rosado 2019). Se expresa de la siguiente manera:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Dónde:

- s = Desviación estándar
- \bar{x} = Media aritmética o promedio
- n = Número de datos

3.2.9.4 Coeficiente de variación

Este coeficiente permite comparar la variabilidad entre diferentes conjuntos de datos con diferentes unidades o magnitudes (Díaz y Rosado 2019).

Se calcula a través de la siguiente expresión:

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100 [\%]$$

Dónde:

- CV = Coeficiente de variación
- s = Desviación estándar
- \bar{x} = Media aritmética o promedio

3.2.9.5 Outliers

Los outliers, o valores atípicos, son datos que se apartan del resto del conjunto de datos, pueden ser considerablemente mayores o menores que la mayoría de los datos. Pueden aparecer debido a diferentes factores, como errores en la medición, variabilidad natural o circunstancias excepcionales (Barrios et al. 2016).

a) Criterio de Chauvenet

Es una técnica estadística que nos sirve para eliminar puntos inciertos, influenciados u outliers. Barrios et al. (2016) menciona que, este criterio indica que una medición X_i debe ser descartada si el valor de “ r ” excede el valor de K_n especificado en la Tabla 8.



$$r = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s}$$

Dónde:

- \bar{x} = Media aritmética o promedio
- s = Desviación estándar

Tabla 8 — Criterios de Chauvenet

n	K _n	n	K _n	n	K _n
10	1,96	21	2,26	32	2,42
11	2,00	22	2,28	33	2,43
12	2,04	23	2,30	34	2,44
13	2,07	24	2,31	35	2,45
14	2,10	25	2,33	36	2,46
15	2,13	26	2,34	37	2,47
16	2,15	27	2,36	38	2,48
17	2,18	28	2,37	39	2,49
18	2,20	29	2,38	40	2,50
19	2,22	30	2,39	50	2,58
20	2,24	31	2,41	100	2,81

FUENTE: BENITES, 2021

Claves
n: número de datos
K_n: razón de aceptación o valor crítico

3.2.9.6 Intervalo de confianza

Según Díaz y Rosado (2019), el intervalo de confianza es un rango que se calcula a partir de una estimación, considerando las posibles variaciones que puedan existir por encima o por debajo de esa media. Este intervalo indica, con un determinado nivel de confianza, el rango dentro del cual se espera que se encuentren los valores. En otras palabras, representa la probabilidad de que un parámetro poblacional esté contenido dentro de ese intervalo, en una cierta proporción de los casos

En la presente investigación no se conoce la desviación estándar poblacional, el intervalo de confianza se calculará con las muestras ensayadas, con la siguiente fórmula.

$$IC_{1-\alpha} = \left[\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

$$L_{inf} = \bar{x} - t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$L_{sup} = \bar{x} + t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

- $t_{n-1,\alpha/2}$ = Valor crítico de t con n-1 grados (Ver Anexo G)
- L_{inf} = Límite inferior
- L_{sup} = Límite superior
- \bar{x} = Media aritmética.
- s = Desviación estándar
- n = Número de datos

3.2.9.7 Estadístico t de Student

Díaz y Rosado (2019) afirman que, El estadístico t de Student es una herramienta fundamental en la estadística inferencial, utilizada para determinar si existe una diferencia significativa entre una media muestral y un valor de referencia, o entre las medias de dos grupos independientes o relacionados.

Esta prueba es especialmente útil cuando se trabaja con muestras pequeñas ($n < 30$) y se desconoce la desviación estándar de la población.

La fórmula del estadístico t para una muestra es la siguiente:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- \bar{x} = Media muestral
- μ_0 = Media poblacional hipotética (valor de referencia)
- s = Desviación estándar muestral
- n = Tamaño de la muestra

El valor obtenido de t se compara con un valor crítico de la tabla t de Student, considerando los grados de libertad ($n - 1$) y un nivel de significancia preestablecido (por ejemplo, $\alpha = 0,05$). Si el valor t calculado supera al valor crítico, se rechaza la hipótesis nula (H_0), concluyéndose que la diferencia observada es estadísticamente significativa.



3.3 Marco conceptual

- a) **Anisotropía.** Característica de la madera por la cual sus propiedades varían según la dirección que se estudie, esta condición generalmente se manifiesta en sus tres direcciones principales, longitudinal, radial y tangencial (Umlandt et al. 2022).
- b) **Cercha.** Estructura compuesta por barras rectas unidas en sus extremos que forma un sistema rígido y estable. Su función principal es soportar cargas y transmitir las a los apoyos, distribuyéndolas de manera eficiente de manera que todos los elementos están interconectados para formar triángulos (Forest Products Laboratory 2021).
- c) **Deflexión.** Grado en el que un elemento estructural se desplaza bajo la aplicación de una fuerza o carga, se determina aplicando las leyes que relacionan las fuerzas y desplazamientos mediante cálculos geométricos, de energía o mediante herramientas informáticas (JUNAC, 1984).
- d) **Diseño estructural.** Conjunto de procedimientos destinados a evaluar la estabilidad, resistencia y rigidez de las estructuras, con el fin de diseñar una estructura que pueda soportar todas las cargas solicitadas sin fallar durante su vida útil (Rodas 2014).
- e) **Escuadría.** Precisión de la sección transversal de un elemento. En la construcción, se asegura que la madera esté bien escuadrada para que encaje correctamente en su lugar y las estructuras construidas sean estables y precisas (JUNAC, 1984).
- f) **Higroscopicidad.** Capacidad de absorber o liberar humedad en función de las condiciones ambientales. Este proceso de intercambio se produce de manera continua: la madera pierde agua por evaporación cuando la temperatura es elevada o la humedad relativa del aire es baja, y, en sentido contrario, absorbe vapor de agua cuando su contenido de humedad es inferior al del ambiente, hasta alcanzar un estado de equilibrio higroscópico (Llauradó, 2017).
- g) **Madera estructural.** Aquella seleccionada y utilizada con fines constructivos, específicamente para resistir cargas y garantizar la estabilidad de los elementos que conforman una edificación. Para ser considerada como tal, debe cumplir con los requisitos establecidos en la Norma Técnica E.010 (2021), según sus propiedades físico-mecánicas como densidad, resistencia a la compresión, flexión, cizallamiento y módulo de elasticidad. Debe presentar condiciones adecuadas de humedad, dimensiones y calidad, libres de defectos críticos que puedan comprometer su desempeño.



- h) Módulo de Elasticidad.** El módulo de elasticidad es una medida que analiza la rigidez de un material, es decir, su capacidad para deformarse elásticamente bajo la acción de una carga y recuperar su forma original al retirarla. En la madera, debido a su naturaleza anisotrópica, se distinguen tres módulos principales: longitudinal, radial y tangencial (Forest Products Laboratory 2021).
- i) Módulo de Rotura.** Capacidad máxima de carga que un elemento puede resistir en flexión antes de fallar, siendo proporcional al momento máximo soportado por la probeta durante el ensayo. Constituye un criterio de resistencia de la madera; sin embargo, no corresponde a una tensión real, ya que la expresión utilizada para su cálculo es estrictamente válida dentro del rango elástico (Forest Products Laboratory 2021).



CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1 Tipo y nivel de investigación

4.1.1 Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada, ya que tiene como objetivo convertir el conocimiento teórico derivado de investigaciones básicas en conceptos, prototipos y productos (Lozada 2014). Además, el enfoque adoptado es cuantitativo, lo que implica que el proceso investigativo se centra en las mediciones numéricas. Esto se logra mediante la recolección de datos a través de la observación, para su posterior análisis (Cortés e Iglesias 2004, p. 10).

4.1.2 Nivel de investigación

Esta investigación adopta un nivel descriptivo, ya que tiene como objetivo detallar las características y el comportamiento de la cercha bajo condiciones específicas. De acuerdo con Hernández y Mendoza (2018) “un estudio descriptivo busca precisar las características de procesos, objetos u otros fenómenos mediante el análisis independiente de las variables”. En este contexto, la investigación se enfocó en evaluar el comportamiento estructural de cerchas tipo Fink construidas con madera *Cedrelinga catenaeformis*.

4.2 Diseño de investigación

De la misma forma, la presente investigación plantea un diseño experimental de clase preexperimental, puesto que realizará estudios de caso con un grado de control mínimo ya que las condiciones de la investigación no permiten un control total del experimento.

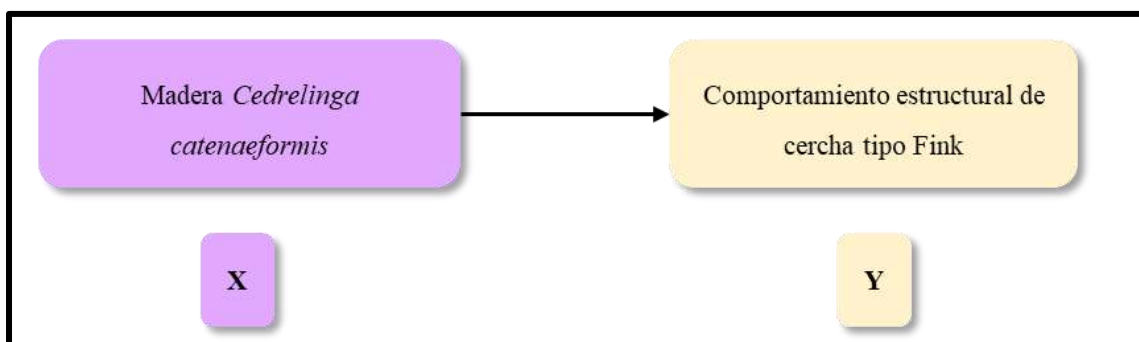


Figura 10 — Diseño de investigación



4.3 Población y muestra

4.3.1 Población

La población objeto de estudio estuvo conformada por un lote de madera de la especie *Cedrelinga catenaeformis*, conocida comercialmente como madera tornillo, específicamente tres tablones con dimensiones nominales de 8" × 12" × 10'. Estos tablones fueron seleccionados de forma intencional. A partir de estos tablones se realizaron los cortes necesarios para obtener las probetas destinadas a la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la especie, asegurando que todas provengan de una misma fuente para reducir la variabilidad interna de la muestra.

Este enfoque permitió trabajar con una población definida, controlada y representativa, adecuada para cumplir con los objetivos experimentales del estudio estructural propuesto.

4.3.2 Muestra

Tabla 9 — Cantidad de muestras estudiadas

Ensayo	Cantidad de muestras
Contenido de humedad	Previo a los ensayos de compresión perpendicular
Densidad básica	20
Cizallamiento paralelo	20
Compresión paralela	20
Compresión perpendicular	20
Flexión estática	20
Prototipo de cerchas	03

4.3.2.1 Muestreo

Otzen y Manterola (2017) mencionan que, en el muestreo de tipo no probabilístico intencional, la selección de los sujetos a estudio dependerá de ciertas características, criterios, etc. que él investigador considere en ese momento.

La ventaja de utilizar una muestra no probabilística en estudios cuantitativos radica en su utilidad para ciertos diseños de investigación que no requieren la representatividad de toda una población, sino que se enfocan en seleccionar de manera cuidadosa y controlada casos específicos con características previamente determinadas en el planteamiento del problema (Hernández y Mendoza 2018, p. 215).



4.4 Procedimiento

La investigación se desarrollará en tres etapas:

- **Primera etapa:** Se realizó la selección de las muestras de madera para determinar las propiedades físicas y mecánicas, para lo cual que se llevaron a cabo ensayos exhaustivos para caracterizar las propiedades físicas como la densidad y contenido de humedad, y las propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión paralela al grano, flexión estática, tracción paralela al grano y cizallamiento paralelo al grano. De esta manera se tuvo la certeza de que la madera a utilizar será apta para uso estructural y el diseño posterior se tomarán los valores determinados en los ensayos.
- **Segunda etapa:** Se diseñó detalladamente la cercha según el requerimiento de cargas de servicio, utilizando principios del diseño estructural, teniendo en cuenta las cargas específicas del entorno y teniendo en cuenta los estándares de seguridad estructural, esto incluirá la configuración de las uniones, el dimensionamiento de los elementos estructurales y la verificación de estabilidad de la estructura bajo cargas.
- **Tercera etapa:** Se construyeron los prototipos, siguiendo las consideraciones del diseño realizado en la etapa anterior, para posteriormente ser sometida a prueba de carga para evaluar su comportamiento estructural y evaluar la eficacia del diseño propuesto y comparar entre el modelo teórico y los prototipos construidos.



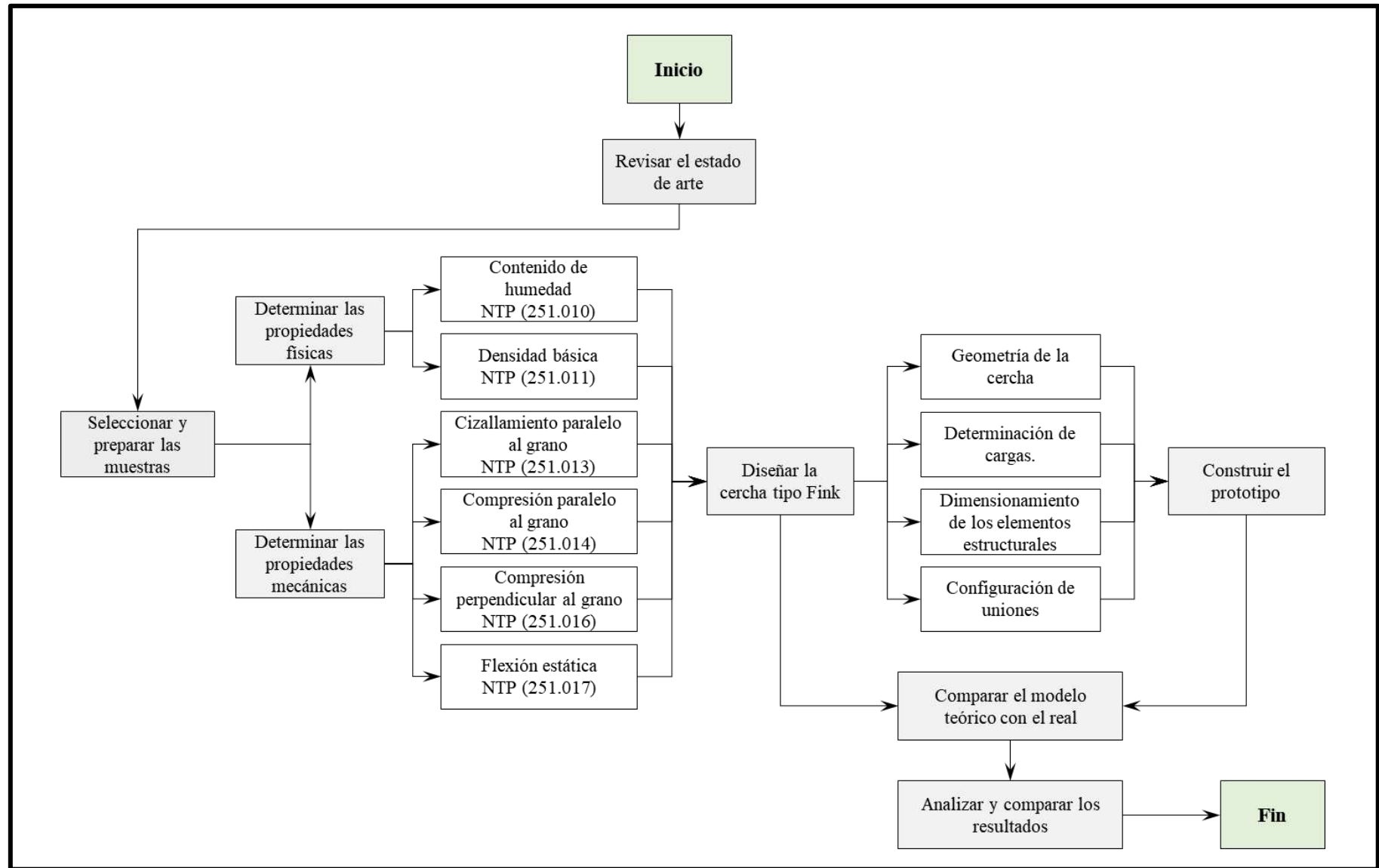


Figura 11 — Procedimiento de la investigación

4.4.1 Selección y colección de muestras

La madera para los ensayos fue adquirida del aserradero “Madre de Dios” en la ciudad de Abancay, las cuales fueron seleccionadas mediante inspección visual conforme a la NTP 251.104, eligiendo únicamente piezas estructurales sin defectos que afecten sus propiedades físicas y mecánicas, asegurando así la validez y confiabilidad de los resultados experimentales.



Figura 12 — Clasificación visual de madera aserrada

Los listones fueron dimensionados mediante corte con sierra circular, de acuerdo con los requerimientos de cada ensayo. Posteriormente, las probetas se trasladaron al laboratorio Lunix Ingenieros para la ejecución de las pruebas experimentales.



Figura 13 — Obtención de probetas

4.4.2 Determinación de las propiedades físicas

4.4.2.1 Ensayo del contenido de humedad

La determinación del contenido de humedad se realizó sobre un conjunto de 20 probetas, reutilizando estratégicamente aquellas previamente empleadas en el ensayo de compresión perpendicular. Siguiendo los lineamientos de la NTP 251.010, las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en horno eléctrico con incremento térmico gradual hasta alcanzar una temperatura constante de 103 °C, con el propósito de lograr un contenido de humedad en estado seco comprendido entre el 10 % y el 13 %.

Alcanzada la humedad requerida, las probetas fueron retiradas del horno y dejadas enfriar a temperatura ambiente. Finalmente, se procedió a la medición individual del contenido de humedad mediante un higrómetro digital de lectura directa.

Tabla 10 — Datos obtenidos del contenido de humedad

Cód. Probeta	C.H. (%)	Cód. Probeta	C.H. (%)
CH - 01	11,60	CH - 11	11,70
CH - 02	11,50	CH - 12	11,60
CH - 03	12,20	CH - 13	12,10
CH - 04	12,40	CH - 14	11,60
CH - 05	10,60	CH - 15	11,20
CH - 06	11,60	CH - 16	10,80
CH - 07	11,50	CH - 17	11,70
CH - 08	12,10	CH - 18	11,60
CH - 09	11,50	CH - 19	10,30
CH - 10	11,40	CH - 20	11,50

4.4.2.2 Ensayo de la densidad básica

La determinación de la densidad básica se realizó conforme a la NTP 251.011, utilizando 20 probetas de 3 cm × 3 cm × 10 cm. Inicialmente, se registró su volumen en estado verde. Posteriormente, se sometieron a secado en horno eléctrico con incremento térmico gradual hasta alcanzar 103 °C, manteniéndose hasta lograr peso constante.



Finalmente, las muestras se enfriaron a temperatura ambiente para determinar su peso en estado seco.

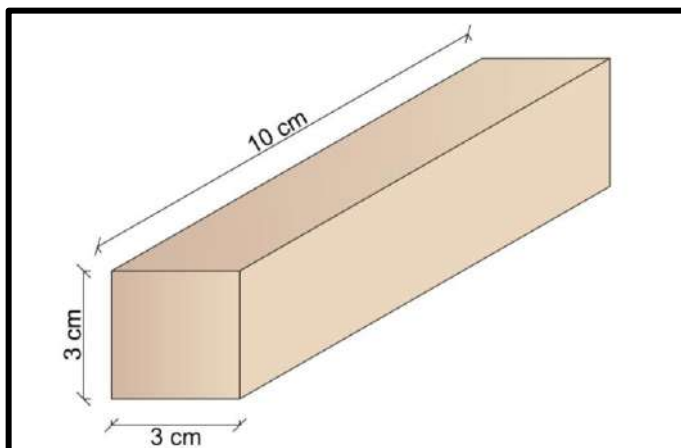


Figura 14 — Probetas para ensayo de cizallamiento

Finalmente, todos los datos obtenidos fueron registrados de manera sistemática para su posterior procesamiento y análisis estadístico.

Tabla 11 — Datos obtenidos de los ensayos de densidad básica

Cód. Probeta	C.H. [%]	Peso seco [g]	Ancho [cm]	Altura [cm]	Largo [cm]
DB - 01	10,80	50,65	3,38	3,39	10,49
DB - 02	10,40	45,70	3,19	2,97	10,13
DB - 03	11,40	49,71	3,23	3,10	10,23
DB - 04	11,00	47,15	2,99	3,16	10,09
DB - 05	11,30	35,31	3,27	3,15	9,35
DB - 06	10,90	49,02	3,18	3,06	9,86
DB - 07	10,80	35,06	3,20	3,06	10,35
DB - 08	11,30	40,37	3,13	3,24	9,53
DB - 09	11,40	39,21	3,00	3,01	10,18
DB - 10	11,10	38,92	3,17	2,88	10,51
DB - 11	10,80	48,80	3,00	3,23	10,40
DB - 12	10,90	39,39	3,32	3,28	10,47
DB - 13	10,70	51,47	3,32	2,91	10,73
DB - 14	11,10	43,73	3,15	3,02	9,77
DB - 15	10,80	37,30	2,96	2,96	9,44
DB - 16	11,40	50,18	3,38	3,17	9,50
DB - 17	10,20	52,99	3,29	3,38	10,06
DB - 18	10,90	40,87	3,30	2,90	9,73
DB - 19	10,40	37,77	3,30	2,88	9,40
DB - 20	11,10	43,05	3,36	3,20	9,91

A partir de los resultados experimentales obtenidos, se llevó a cabo el cálculo correspondiente de la resistencia al corte, para el caso de la probeta DB – 07 se calculó de la manera:

$$DB = \frac{P_s}{V}$$

$$DB_{DB-07} = \frac{35,06 \text{ g}}{101,35 \text{ cm}^3}$$

$$DB_{DB-07} = 0,35 \text{ g/cm}^3$$

El mismo procedimiento se siguió para calcular el valor de la densidad básica de las demás probetas.

Tabla 12 — Datos procesados de los ensayos de densidad básica

Cód. Probeta	CH [%]	Volumen [cm³]	Peso seco [g]	DB [g/cm³]
DB - 01	10,80	120,20	50,65	0,42
DB - 02	10,40	95,97	45,70	0,48
DB - 03	11,40	102,43	49,71	0,49
DB - 04	11,00	95,33	47,15	0,49
DB - 05	11,30	96,31	35,31	0,37
DB - 06	10,90	95,95	49,02	0,51
DB - 07	10,80	101,35	35,06	0,35
DB - 08	11,30	96,65	40,37	0,42
DB - 09	11,40	91,93	39,21	0,43
DB - 10	11,10	95,95	38,92	0,41
DB - 11	10,80	100,78	48,80	0,48
DB - 12	10,90	114,01	39,39	0,35
DB - 13	10,70	103,66	51,47	0,50
DB - 14	11,10	92,94	43,73	0,47
DB - 15	10,80	82,71	37,30	0,45
DB - 16	11,40	101,79	50,18	0,49
DB - 17	10,20	111,87	52,99	0,47
DB - 18	10,90	93,12	40,87	0,44
DB - 19	10,40	89,34	37,77	0,42
DB - 20	11,10	106,55	43,05	0,40



4.4.3 Determinación de las propiedades mecánicas

4.4.3.1 Ensayo de cizallamiento paralelo al grano

La evaluación de la resistencia al cizallamiento paralelo al grano se realizó conforme a la NTP 251.013, utilizando 20 probetas con dimensiones de 5 cm × 5 cm × 6,3 cm, previamente recortadas en una de sus caras, tal como se muestra en la Figura 15. Previo al ensayo, las probetas fueron secadas en horno eléctrico hasta alcanzar un contenido de humedad entre el 10 % y el 13 %, tras lo cual se dejaron enfriar a temperatura ambiente.

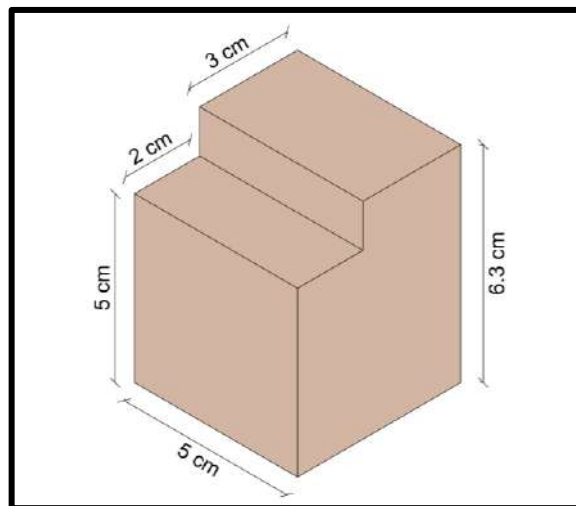


Figura 15 — Probetas para ensayo de cizallamiento

Para garantizar una aplicación adecuada de carga durante el ensayo, se empleó un aditamento metálico estabilizador que facilitó una transmisión uniforme y controlada de los esfuerzos.

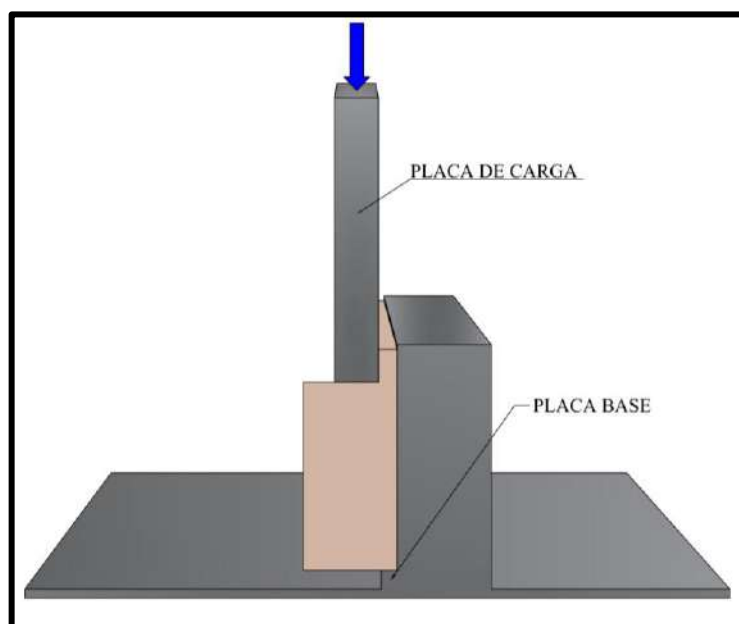


Figura 16 — Aditamento para cizallamiento de probetas

Finalmente, las probetas fueron sometidas a esfuerzos de cizallamiento paralelo al grano mediante una máquina de compresión, registrando el valor del esfuerzo máximo aplicado para su posterior análisis.

Tabla 13 — Datos obtenidos del ensayo de cizallamiento paralelo al grano

Cód. Probeta	C.H. [%]	A [cm ²]	P [kg]
CZ - 01	11,10	25,00	779,81
CZ - 02	11,40	25,00	961,44
CZ - 03	10,50	25,00	844,95
CZ - 04	10,20	25,00	958,44
CZ - 05	11,50	25,00	890,31
CZ - 06	11,30	25,00	808,30
CZ - 07	12,10	25,00	1098,10
CZ - 08	11,20	25,00	826,35
CZ - 09	11,30	25,00	844,53
CZ - 10	10,90	25,00	820,87
CZ - 11	12,20	25,00	735,58
CZ - 12	11,80	25,00	793,68
CZ - 13	10,60	25,00	648,92
CZ - 14	10,70	25,00	719,65
CZ - 15	11,50	25,00	1230,33
CZ - 16	10,20	25,00	800,72
CZ - 17	11,90	25,00	980,55
CZ - 18	12,30	25,00	749,36
CZ - 19	12,00	25,00	794,33
CZ - 20	11,90	25,00	832,15

Con los datos obtenidos de los ensayos, se procedió a realizar el cálculo de la Resistencia a cizallamiento con la siguiente fórmula:

$$RC = \frac{P}{A}$$

$$RC_{CZ-18} = \frac{749,36 \text{ kg}}{25,00 \text{ cm}^2}$$

$$RC_{CZ-18} = 29,97 \text{ kg/cm}^2$$

Posteriormente, se determinó el esfuerzo admisible a cizallamiento de la misma probeta, mediante la aplicación del coeficiente de seguridad definido por la normativa correspondiente:



$$fv = \frac{1,00 \times 1,00}{4,00 \times 1,00} \times RC$$

$$fv_{CZ-18} = \frac{1,00 \times 1,00}{4,00 \times 1,00} \times 29,72 \text{ kg/cm}^2$$

$$fv_{CZ-18} = 7,49 \text{ kg/cm}^2$$

El mismo procedimiento se aplicó a todas las probetas ensayadas, calculándose en cada caso la resistencia última a cortante a partir de la carga máxima registrada y el área de la sección transversal. Luego, se determinó el esfuerzo admisible utilizando el coeficiente de seguridad correspondiente. Estos valores permitieron caracterizar el comportamiento de la madera frente al esfuerzo de cizallamiento y fueron utilizados en el análisis estadístico general.

Tabla 14 — Datos procesados del ensayo de cizallamiento paralelo al grano

Cód. Probeta	CH [%]	RC [kg/cm ²]	fv [kg/cm ²]
CZ - 01	11,10	31,19	7,80
CZ - 02	11,40	38,46	9,61
CZ - 03	10,50	33,80	8,45
CZ - 04	10,20	38,34	9,58
CZ - 05	11,50	35,61	8,90
CZ - 06	11,30	32,33	8,08
CZ - 07	12,10	43,92	10,98
CZ - 08	11,20	33,05	8,26
CZ - 09	11,30	33,78	8,45
CZ - 10	10,90	32,83	8,21
CZ - 11	12,20	29,42	7,36
CZ - 12	11,80	31,75	7,94
CZ - 13	10,60	25,96	6,49
CZ - 14	10,70	28,79	7,20
CZ - 15	11,50	49,21	12,30
CZ - 16	10,20	32,03	8,01
CZ - 17	11,90	39,22	9,81
CZ - 18	12,30	29,97	7,49
CZ - 19	12,00	31,77	7,94
CZ - 20	11,90	33,29	8,32



4.4.3.2 Ensayo de compresión paralela al grano

Para la determinación de la resistencia a compresión paralela al grano se cumplió con lo establecido por la NTP 251.014 vigente, en este ensayo se emplearon probetas de 5 cm × 5 cm de sección transversal y 20 cm de longitud.

Previo al ensayo, las probetas fueron sometidas a un proceso de acondicionamiento en horno eléctrico, donde la temperatura se elevó progresivamente hasta alcanzar un contenido de humedad entre 10 % y 13 %, rango considerado óptimo para garantizar la estabilidad dimensional y la representatividad de las propiedades mecánicas de la madera. Una vez alcanzado dicho rango, las muestras se retiraron del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente en condiciones controladas, evitando variaciones bruscas de humedad o temperatura que pudieran alterar sus características físicas.

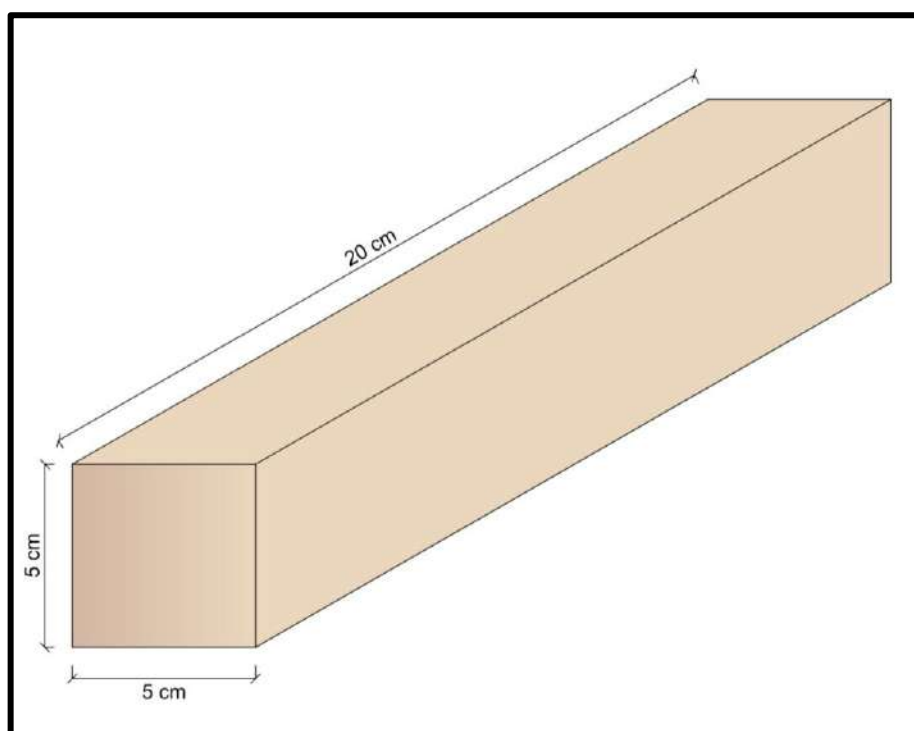


Figura 17 — Probetas para ensayo de compresión paralela

Posteriormente, se procedió al ensayo de compresión paralela utilizando una máquina universal de ensayos calibrada, en cada caso, se aplicó carga de forma. Durante este proceso, se registró con precisión la carga máxima soportada y la deformación correspondiente, haciendo uso de un deformímetro analógico acoplado al sistema de ensayo.

Tabla 15 — Datos obtenidos del ensayo de compresión paralela al grano

Cód. Probeta	C.H. [%]	A [cm²]	L [cm]	D [cm]	P' [kg]	P [kg]
PC // 01	12,40	27,13	20,31	0,20	8644,00	10173,00
PC // 02	12,00	25,73	19,94	0,18	10285,00	11141,00
PC // 03	11,80	26,00	20,24	0,15	10783,00	11792,00
PC // 04	12,10	27,87	19,75	0,10	9027,00	11100,00
PC // 05	12,00	27,26	19,99	0,13	11629,00	13790,00
PC // 06	12,20	27,41	20,06	0,18	9759,00	10635,00
PC // 07	12,10	26,36	20,59	0,18	11422,00	12907,00
PC // 08	12,40	28,01	20,31	0,18	8273,00	9780,00
PC // 09	12,60	27,60	20,03	0,20	9310,00	10436,00
PC // 10	11,90	28,01	20,33	0,15	9695,00	11210,00
PC // 11	12,40	26,74	19,90	0,15	8651,00	9789,00
PC // 12	12,50	27,82	20,01	0,15	10681,00	12541,00
PC // 13	12,30	28,63	20,01	0,15	11625,00	12602,00
PC // 14	10,80	26,25	20,38	0,18	9438,00	12292,00
PC // 15	12,10	27,69	19,89	0,18	9849,00	10575,00
PC // 16	11,60	27,69	20,01	0,18	9357,00	10698,00
PC // 17	13,10	28,10	20,27	0,13	9980,00	11543,00
PC // 18	11,40	26,58	20,19	0,15	11208,00	12735,00
PC // 19	11,70	27,52	20,30	0,18	10891,00	12300,00
PC // 20	11,90	27,96	20,01	0,23	10061,00	11415,00

Con base en los datos registrados durante los ensayos, se efectuó el cálculo del Esfuerzo Limite Proporcional (ELP), Resistencia Máxima (RM), Módulo de Elasticidad (MOE) y el esfuerzo admisible a compresión paralela ($f_c //$).

Para el cálculo se emplearon las siguientes fórmulas:

$$- ELP = \frac{P'}{A}$$

$$ELP_{PC//07} = \frac{11422,00 \text{ kg}}{26,36 \text{ cm}^2}$$

$$ELP_{PC//07} = 433,29 \text{ kg/cm}^2$$



$$- \quad RM = \frac{P}{A}$$

$$RM_{PC//07} = \frac{12907,00 \text{ kg}}{26,36 \text{ cm}^2}$$

$$RM_{PC//07} = 489,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$- \quad MOE = \frac{P' \times L}{A \times D}$$

$$MOE_{PC//07} = \frac{11422,00 \text{ kg} \times 20,59 \text{ cm}}{26,36 \text{ cm}^2 \times 0,18 \text{ cm}}$$

$$MOE_{PC//07} = 50167,14 \text{ kg/cm}^2$$

$$- \quad fc// = \frac{1,00 \times 1,00}{1,60 \times 1,25} \times RM$$

$$fc//_{PC//07} = \frac{1,00 \times 1,00}{1,60 \times 1,25} \times 489,62 \text{ kg/cm}^2$$

$$fc//_{PC//07} = 244,81 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 16 — Datos procesados de los ensayos de compresión paralela

Cód. Probeta	CH [%]	ELP [kg/cm²]	RM [kg/cm²]	MOE [kg/cm²]	fc// [kg/cm²]
PC // 01	12,40	318,64	375,00	31843,13	187,50
PC // 02	12,00	399,72	432,99	44819,14	216,49
PC // 03	11,80	414,67	453,48	55064,01	226,74
PC // 04	12,10	273,85	358,29	53234,03	179,14
PC // 05	12,00	315,82	376,50	49713,43	188,25
PC // 06	12,20	356,01	387,96	40165,93	193,98
PC // 07	12,10	433,29	489,62	50167,14	244,81
PC // 08	12,40	289,92	349,10	33113,91	174,55
PC // 09	12,60	337,34	378,14	33252,39	189,07
PC // 10	11,90	346,13	400,22	46162,06	200,11
PC // 11	12,40	323,49	366,05	42243,23	183,02
PC // 12	12,50	383,93	450,79	50414,86	225,39
PC // 13	12,30	386,84	440,18	50799,49	220,09
PC // 14	10,80	359,51	468,22	41212,22	234,11
PC // 15	12,10	355,62	381,84	39772,76	190,92
PC // 16	11,60	337,95	386,38	38031,20	193,19
PC // 17	13,10	317,14	390,92	50609,27	195,46
PC // 18	11,40	384,04	463,12	50877,88	231,56
PC // 19	11,70	395,80	447,01	45196,45	223,50
PC // 20	11,90	359,78	408,20	31494,18	204,10



4.4.3.3 Ensayo de la compresión perpendicular al grano

La resistencia a compresión perpendicular al grano se determinó siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 251.016. Para ello, se utilizaron probetas de 5 cm × 5 cm de sección transversal y 15 cm de longitud.

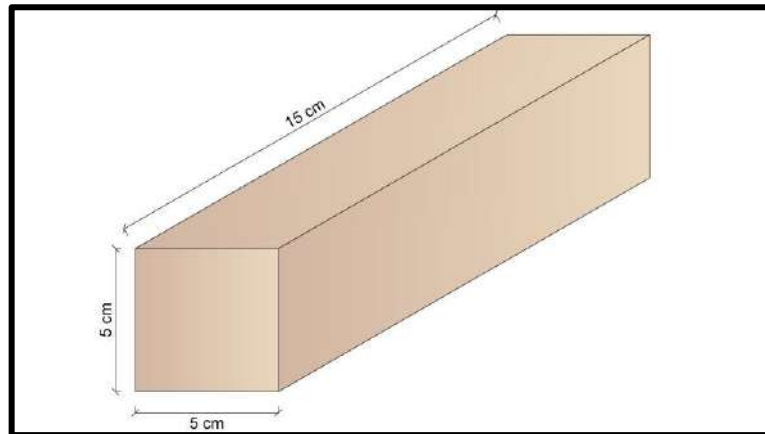


Figura 18 — Probetas para ensayo de compresión perpendicular

Previo al ensayo, las probetas fueron sometidas a un secado controlado en horno eléctrico, con incremento térmico progresivo hasta alcanzar un contenido de humedad entre el 10 % y el 13 %. Una vez alcanzado este rango, se retiraron del horno y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, se registraron las dimensiones reales, el contenido de humedad y el peso seco de cada muestra. Finalmente, las probetas fueron colocadas en la máquina de compresión, aplicando carga mediante una placa metálica rectangular de 7,48 cm × 17 cm y 1,26 cm de espesor, registrándose la carga máxima y la deformación asociada al momento de falla.

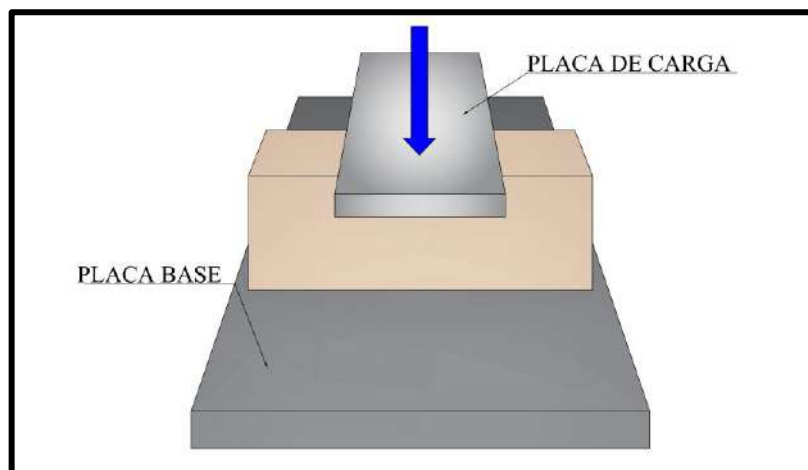


Figura 19 — Ensayo de compresión perpendicular al grano

Tabla 17 — Datos obtenidos del ensayo de compresión perpendicular al grano

Cód. Probeta	C.H. [%]	S [cm ²]	P' [kg]	P [kg]
PC ⊥ 01	11,60	38,39	3216,13	3530,20
PC ⊥ 02	11,50	38,27	3665,82	3753,52
PC ⊥ 03	12,20	39,04	4249,68	4695,72
PC ⊥ 04	12,40	37,40	2894,93	3337,48
PC ⊥ 05	10,60	40,38	3989,07	4389,81
PC ⊥ 06	11,60	39,71	3355,83	3493,49
PC ⊥ 07	11,50	38,44	2741,24	2812,29
PC ⊥ 08	12,10	39,69	3169,23	3434,35
PC ⊥ 09	11,50	39,23	3841,21	3990,09
PC ⊥ 10	11,40	40,25	4051,98	4400,71
PC ⊥ 11	11,70	37,85	2570,03	2678,15
PC ⊥ 12	11,60	39,41	3427,21	3705,59
PC ⊥ 13	12,10	38,52	3763,40	4138,72
PC ⊥ 14	11,60	38,88	4019,66	4241,95
PC ⊥ 15	11,20	39,07	3336,46	3854,47
PC ⊥ 16	10,80	40,17	4106,33	4250,11
PC ⊥ 17	11,70	37,48	2646,58	2799,08
PC ⊥ 18	11,60	39,69	3995,18	4286,82
PC ⊥ 19	10,30	39,78	3190,42	3254,22
PC ⊥ 20	11,50	38,09	3124,36	3438,43

A partir de los datos obtenidos en los ensayos, se determinó el Esfuerzo Límite Proporcional (ELP), así como el esfuerzo admisible a compresión perpendicular al grano ($f_c \perp$), de acuerdo con los criterios establecidos por la normativa técnica correspondiente.

Para el cálculo del ELP se utilizó la siguiente fórmula:

$$ELP = \frac{P'}{S}$$

$$ELP_{PC \perp 11} = \frac{2180,12 \text{ kg}}{37,85 \text{ cm}^2}$$

$$ELP_{PC \perp 11} = 67,91 \text{ kg/cm}^2$$

Y para el cálculo de $f_{c\perp}$ la siguiente expresión:

$$f_{c\perp} = \frac{1,00 \times 1,00}{1,60 \times 1,00} \times ELP$$

$$f_{c\perp_{PC\perp 11}} = \frac{1,00 \times 1,00}{1,60 \times 1,00} \times 67,91 \text{ kg/cm}^2$$

$$f_{c\perp_{PC\perp 11}} = 42,44 \text{ kg/cm}^2$$

Al replicar el procedimiento en cada una de las probetas, se determinó la totalidad de los valores obtenidos para el análisis respectivo.

Tabla 18 — Datos procesados de los ensayos de compresión perpendicular

Cód. Probeta	CH [%]	ELP [kg/cm ²]	$f_{c\perp}$ [kg/cm ²]
PC \perp 01	11,60	83,77	52,36
PC \perp 02	11,50	95,78	59,86
PC \perp 03	12,20	108,87	68,04
PC \perp 04	12,40	77,39	48,37
PC \perp 05	10,60	98,79	61,74
PC \perp 06	11,60	84,51	52,82
PC \perp 07	11,50	71,32	44,57
PC \perp 08	12,10	79,86	49,91
PC \perp 09	11,50	97,92	61,20
PC \perp 10	11,40	100,68	62,92
PC \perp 11	11,70	67,91	42,44
PC \perp 12	11,60	86,97	54,35
PC \perp 13	12,10	97,70	61,06
PC \perp 14	11,60	103,39	64,62
PC \perp 15	11,20	85,39	53,37
PC \perp 16	10,80	102,22	63,89
PC \perp 17	11,70	70,61	44,13
PC \perp 18	11,60	100,67	62,92
PC \perp 19	10,30	80,21	50,13
PC \perp 20	11,50	82,02	51,26

4.4.3.4 Ensayo de flexión estática

Para determinar la flexión estática se usó el método secundario establecido en la NTP 251.017, se ensayaron 20 probetas de 2,5 cm \times 2,5 cm \times 41 cm de longitud, con una luz de 35 cm (distancia entre apoyos).

Las probetas fueron secadas en horno eléctrico a temperatura controlada hasta alcanzar un contenido de humedad entre 10 % y 13 %. Tras el enfriamiento, se midieron sus dimensiones reales.

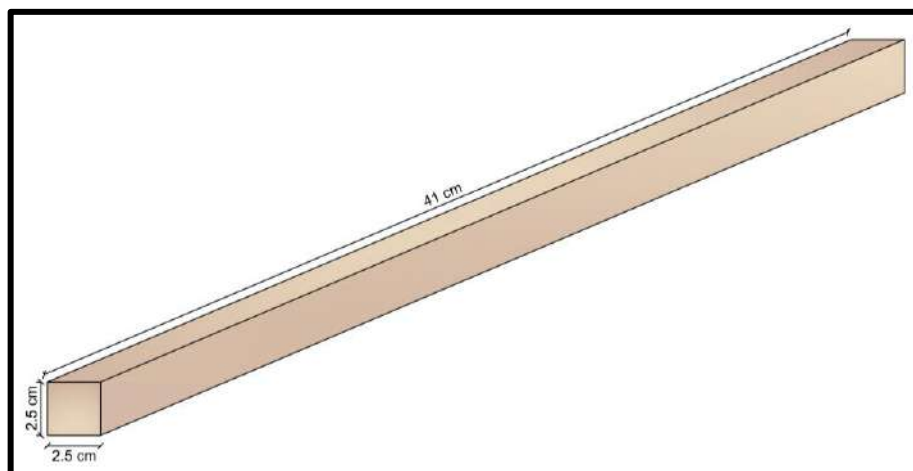


Figura 20 — Probetas para ensayo de flexión estática

Una vez registradas las dimensiones reales de cada probeta, se procedió a su colocación en la máquina universal de compresión debidamente calibrada. El objetivo fue determinar el Esfuerzo al Límite Proporcional, Módulo de ruptura y el Módulo de Elasticidad.

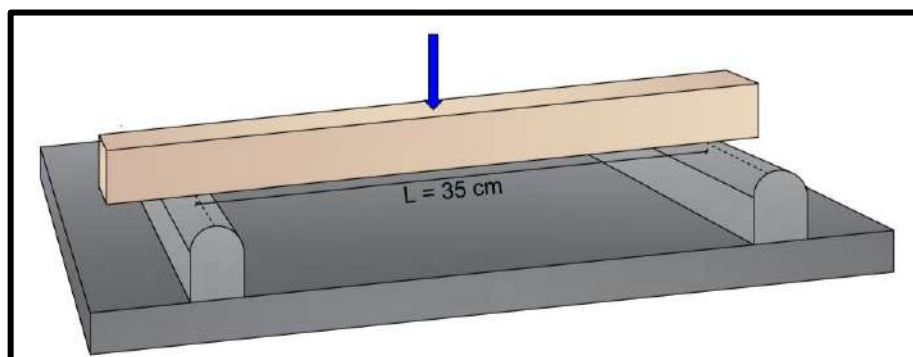


Figura 21 — Ensayo de flexión estática

La carga se aplicó de forma continua y controlada hasta alcanzar la ruptura del material. Durante este proceso, se utilizó un deformímetro análogo para registrar las deformaciones progresivas, permitiendo así construir la curva esfuerzo-deformación de cada probeta evaluada.

Al alcanzar el estado límite de resistencia, se registraron tanto la carga máxima soportada como la deformación total correspondiente. Estos valores constituyen la base para el análisis de capacidad estructural del material ensayado.

Tabla 19 — Datos obtenidos del ensayo de flexión estática

Cód. Probeta	C.H. [%]	L [cm]	a [cm]	e [cm]	Y [cm]	P' [kg]	P [kg]
FL - 01	11,50	35,00	2,50	2,78	0,41	150,59	217,72
FL - 02	11,70	35,00	2,35	2,49	0,41	160,57	224,98
FL - 03	12,10	35,00	2,30	2,54	0,41	129,73	176,90
FL - 04	11,70	35,00	2,51	2,52	0,46	159,07	216,18
FL - 05	11,50	35,00	2,51	2,51	0,41	153,97	236,57
FL - 06	11,50	35,00	2,47	2,48	0,36	127,01	196,86
FL - 07	11,70	35,00	2,30	2,45	0,41	146,06	205,02
FL - 08	10,50	35,00	2,43	2,48	0,46	182,34	232,24
FL - 09	12,30	35,00	2,49	2,51	0,41	127,01	170,55
FL - 10	11,50	35,00	2,43	2,48	0,41	153,31	214,10
FL - 11	12,00	35,00	2,33	2,55	0,36	119,75	179,62
FL - 12	12,00	35,00	2,48	2,59	0,51	174,18	219,54
FL - 13	11,90	35,00	2,47	2,47	0,36	164,20	237,68
FL - 14	10,80	35,00	2,48	2,53	0,41	185,07	254,01
FL - 15	12,00	35,00	2,41	2,56	0,36	136,98	205,93
FL - 16	11,70	35,00	2,43	2,50	0,41	145,15	208,20
FL - 17	11,80	35,00	2,46	2,50	0,41	173,27	252,20
FL - 18	11,10	35,00	2,51	2,52	0,41	202,30	264,90
FL - 19	12,00	35,00	2,34	2,63	0,36	113,40	165,56
FL - 20	12,30	35,00	2,48	2,41	0,44	121,56	177,81

Con base en los datos registrados durante los ensayos, se efectuó el cálculo del Esfuerzo Limite Proporcional (ELP), Módulo de Rotura (MOR), Módulo de Elasticidad (MOE) y el esfuerzo admisible a flexión compresión paralela (f_m). Para el cálculo se emplearon las siguientes fórmulas:

$$- ELP = \frac{3 \times P' \times L}{2 \times a \times e^2}$$

$$ELP_{FL-10} = \frac{3 \times 153,31 \text{ kg} \times 35 \text{ cm}}{2 \times 2,43 \text{ cm} \times 2,48^2 \text{ cm}^2}$$

$$ELP_{FL-10} = 540,74 \text{ kg/cm}^2$$

$$- MOR = \frac{3 \times P \times L}{2 \times a \times e^2}$$

$$MOR_{FL-10} = \frac{3 \times 214,10 \text{ kg} \times 35,00 \text{ cm}}{2 \times 2,43 \text{ cm} \times 2,48^2 \text{ cm}^2}$$

$$MOR_{FL-10} = 755,12 \text{ kg/cm}^2$$



$$- \quad MOE = \frac{P' \times L^3}{4 \times a \times e^3 \times Y}$$

$$MOE_{FL-10} = \frac{153,31 \text{ kg} \times 35,00^3 \text{ cm}^3}{4 \times 2,43 \text{ cm} \times 2,48^3 \text{ cm}^3 \times 0,41 \text{ cm}}$$

$$MOE_{FL-10} = 109716,50 \text{ kg/cm}^2$$

$$- \quad fm = \frac{0,80 \times 0,90}{2,00 \times 1,15} \times MOR$$

$$fm_{FL-10} = \frac{0,80 \times 0,90}{2,00 \times 1,15} \times 755,12 \text{ kg/cm}^2$$

$$fm_{FL-10} = 236,39 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 20 — Datos procesados de los ensayos de flexión estática

Cód. Probeta	CH [%]	ELP [kg/cm ²]	MOR [kg/cm ²]	MOE [kg/cm ²]	fm [kg/cm ²]
FL - 01	11,50	410,02	592,80	74228,49	185,57
FL - 02	11,70	579,23	811,58	117006,45	254,06
FL - 03	12,10	459,22	626,21	90791,85	196,03
FL - 04	11,70	525,40	714,01	93141,39	223,52
FL - 05	11,50	513,85	789,50	103012,25	247,15
FL - 06	11,50	438,56	679,77	101572,59	212,80
FL - 07	11,70	555,15	779,28	113881,04	243,95
FL - 08	10,50	639,50	814,49	115058,25	254,97
FL - 09	12,30	424,20	569,64	84869,46	178,32
FL - 10	11,50	540,74	755,12	109716,50	236,39
FL - 11	12,00	414,44	621,67	93277,75	194,61
FL - 12	12,00	549,09	692,08	85073,03	216,65
FL - 13	11,90	572,06	828,07	133082,57	259,22
FL - 14	10,80	610,61	838,09	121104,07	262,36
FL - 15	12,00	457,52	687,80	102772,41	215,31
FL - 16	11,70	500,33	717,66	100461,99	224,66
FL - 17	11,80	592,39	862,22	118994,43	269,91
FL - 18	11,10	666,59	872,84	132888,81	273,24
FL - 19	12,00	369,07	538,84	80723,21	168,68
FL - 20	12,30	442,70	647,54	84339,15	202,71



4.4.4 Diseño

4.4.4.1 Consideraciones generales

El sistema de techado, de configuración a dos aguas, ha sido diseñado conforme a criterios de eficiencia estructural, seguridad y factibilidad constructiva, aplicando lo establecido en la Norma Técnica E.010: Madera, del Reglamento Nacional de Edificaciones. Se adoptó el método de esfuerzos admisibles, considerando propiedades mecánicas, rigidez, humedad de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), con el objetivo de garantizar el adecuado desempeño estructural y cumplimiento normativo. A continuación, se detallan los parámetros generales que guían el dimensionamiento y configuración de la estructura portante:

Tabla 21 — Parámetros generales para el diseño estructural

Parámetro	Especificación
Número de aguas	2
Tipo de cercha	Fink
Material de cercha	Tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>)
Material de obertura	Calamina 0,22 mm
Cielo raso	Baldosa Vinyl 7mm
Luz libre	5,00 m
Separación entre cerchas (S)	1,67 m
Separación entre correas (Sc)	0,45 m

4.4.4.2 Geometría de la estructura

La cercha tipo Fink utilizada en el sistema de techado presenta una luz libre de 5,00 m entre apoyos y una altura total de 1,00 m en el vértice central, configurando un sistema simétrico de dos aguas. Este esquema triangular genera una pendiente uniforme hacia ambos extremos, determinada por un ángulo de inclinación de $21,80^\circ$ entre la cuerda inferior y cada una de las cuerdas superiores. Dicha pendiente no solo optimiza el escurrimiento pluvial, sino que también mejora la eficiencia en la distribución de esfuerzos gravitacionales y reduce momentos flectores en los cordones.

De acuerdo con recomendaciones de autores especializados en diseño estructural de cerchas, los nudos se modelan como conexiones articuladas, y las distancias entre nodos se definen desde eje a eje de cada elemento. Esta convención permite una modelación precisa del sistema en software de análisis estructural y facilita la identificación de las trayectorias principales de carga. Además, dicho enfoque asegura la compatibilidad geométrica entre elementos diagonales, verticales y cordones, respetando condiciones de continuidad estructural y contribuyendo a la rigidez global del sistema.

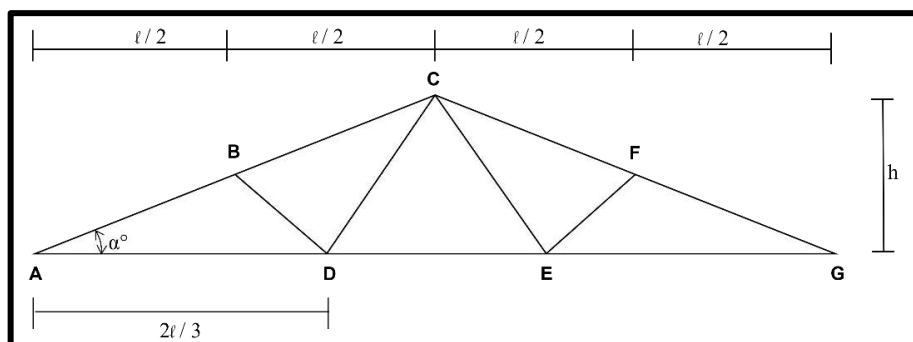


Figura 22 — Ejes de la cercha

4.4.4.3 Definición de cargas

a) Metrado de cargas

- **Sobre la cuerda superior**

Carga Muerta (LD):

Peso propio de la armadura	=	15,00 kg/m ²
Peso de las correas	=	5,00 kg/m ²
Peso de la cobertura	=	2,04 kg/m ²
Clavos y otros	=	1,62 kg/m ²
<hr/>		
LD Total por m ²	=	23,66 kg/m ²
LD Total distribuida	=	39,43 kg/m

Carga Viva (LL):

Sobrecarga de diseño	=	30,00 kg/m ²
<hr/>		
LL Total por m ²	=	30,00 kg/m ²
LL Total distribuida	=	50,00 kg/m

Carga de Viento (LW):

Para el cálculo de la carga de viento se tomó el criterio de la Norma E.020.



i. Velocidad de diseño

$$V_h = V(h/10)^{0,22} \geq 75 \text{ km/h}$$

Donde:

- V_h : velocidad de diseño en la altura “h” [km/h]
- V : velocidad de diseño hasta 10 m de altura [km/h] ($V_{Abancay} = 60$).
- h : altura sobre el terreno [m] (3,5 m para el diseño realizado).

$$V_h = 60 \times (3,5/10)^{0,22}$$

$$V_h = 47,63 \text{ km/h}$$

Dado que la velocidad de diseño calculada es inferior al valor mínimo establecido por la normativa vigente, se adopta una velocidad de diseño de 75 km/h, conforme a lo dispuesto por la norma técnica correspondiente.

ii. Carga exterior de viento

$$P_h = 0,005 \times C \times V_h^2 \text{ [kg/m}^2\text{]}$$

Donde:

- P_h : presión o succión del viento a una altura “h”
- C : factor de forma adimensional.
- V_h : velocidad de diseño a la altura “h” [km/h]

El diseño realizado presenta una superficie inclinada entre 15 ° y 60 °, como resultado los factores de barlovento y sotavento serán:

Tabla 22 — Factores de forma (C)

	Barlovento	Sotavento
Factores	+ 0,7 - 0,3	- 0,6

iii. Carga interior de viento

La estructura presenta factores de forma en elementos de cierre uniforme en lados a barlovento y sotavento, por lo tanto tenemos que:



Tabla 23 — Factores de forma para cargas adicionales (C)

	Barlovento	Sotavento
Factores	+ 0,3	- 0,3

Finalmente calcularemos la carga de viento en la condición más desfavorable para la estructura.

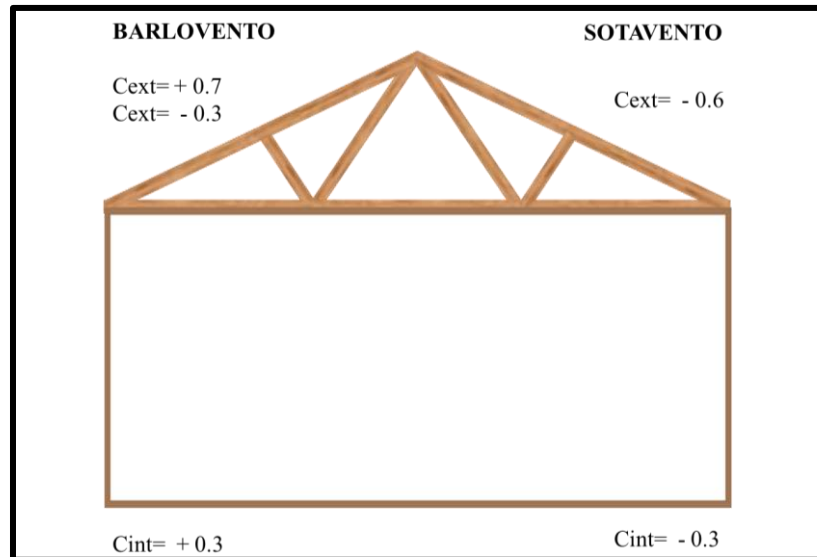


Figura 23 — Cargas de viento en la cercha

Tabla 24 — Carga de viento en condición desfavorable

	BARLOVENTO	SOTAVENTO
$C = C_{ext} - C_{int}$	+ 0,40	- 0,30
	- 0,60	0,00
$Ph [kg/m^2]$	+ 11,25	- 8,44
	- 16,88	0,00

Concluimos que la condición más desfavorable se da cuando la carga en la región de barlovento es de +11,25.

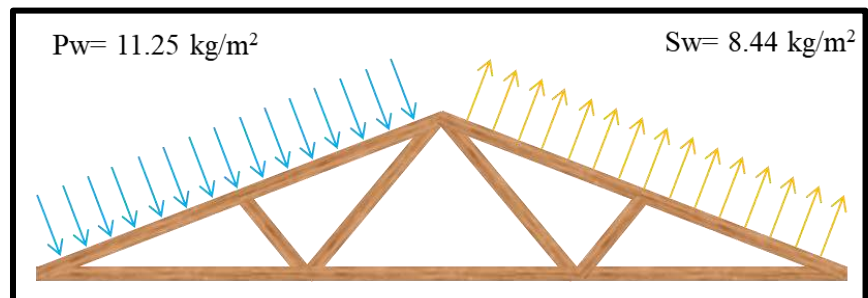


Figura 24 — Carga desfavorable de viento

Finalmente se calcula la carga de viento distribuida uniformemente

en la cercha, por lo que se debe multiplicar la carga por el coseno del ángulo de inclinación de la estructura y por la separación entre cercha y cercha.

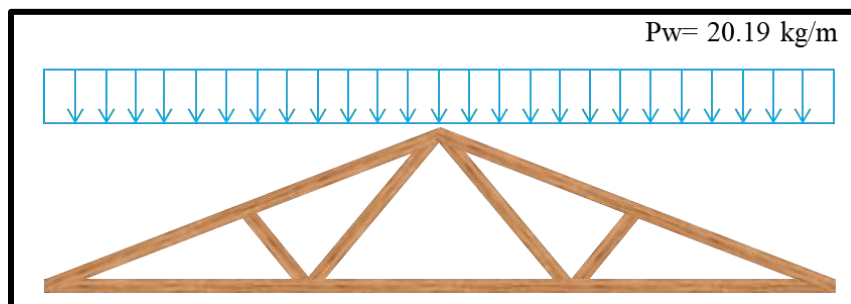


Figura 25 — Carga de viento distribuida

Carga de viento	= 12,12 kg/m ²
LW Total por m ²	= 12,12 kg/m ²
LW Total distribuida	= 20,19 kg/m

- **Sobre la cuerda inferior**

Carga de Cielo Raso (CR):

Baldosas	= 5,50 kg/m ²
Accesorios y otros	= 5,00 kg/m ²
CR Total por m ²	= 10,50 kg/m ²
CR Total distribuida	= 17,50 kg/m

b) Combinación de cargas

- **Sobre la cuerda superior**

Dado que la cuerda superior está sometida a cargas muertas, vivas y de viento, se realizará la combinación de estas según lo establecido en el Artículo 19 de la Norma Técnica Peruana E.020, garantizando el cumplimiento de los requisitos normativos.

Tabla 25 — Combinación de cargas sobre la cuerda superior

Combinación 1:	D = 39,43 kg/m
Combinación 2:	D + L = 39,43 + 50,00 D + L = 89,43 kg/m
Combinación 3:	D + W = 39,43 + 20,19 D + W = 59,62 kg/m
Combinación 4:	$\alpha(D+L+W) = 0,75 (39,43 + 50,00 + 20,19)$ $\alpha(D+L+W) = 82,22 \text{ kg/m}$



Entre las cuatro combinaciones analizadas, la más crítica, que lleva la cercha al límite, es la Combinación 2. En consecuencia, se considerará una carga distribuida uniformemente (WP) de 89,43 kg/m a lo largo de la cuerda superior.

- **Sobre la cuerda inferior**

La cuerda inferior solo soporta la carga del cielo raso, por lo que la carga distribuida en la cuerda superior (WQ) es de 17,50 kg/m.

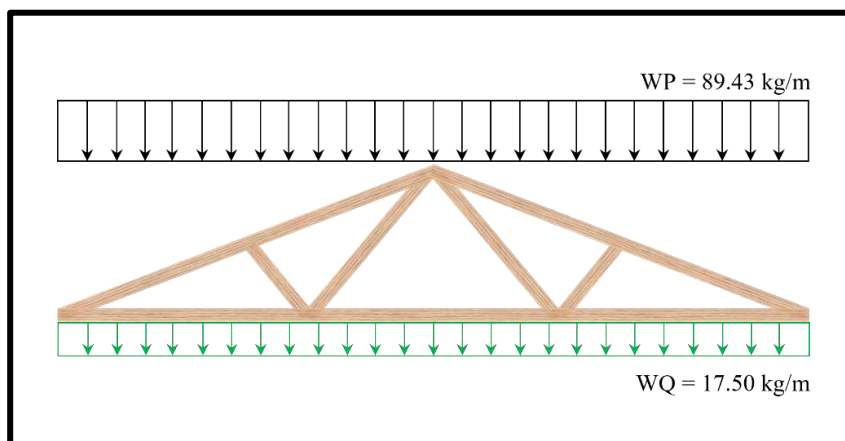


Figura 26 — Cargas distribuidas a lo largo de la cercha

c) Cargas concentradas en los nodos

- **Sobre la cuerda superior**

Para convertir la carga distribuida en cargas puntuales equivalentes en la cuerda superior, es fundamental considerar que los nodos de los extremos soportan la mitad de la carga que los nodos centrales. Por ello, el cálculo se realizará de la siguiente manera:

$$P = \frac{WP \times (2l)}{n_{CS} - 1}$$

Donde:

- P = Carga equivalente en la cuerda superior
- WP = Carga distribuida en la cuerda superior [kg/m]
- $2l$ = Largo de la cercha [m]
- n_{CS} = Número de nodos en la cuerda superior

$$P = \frac{89,43 \times 5}{5 - 1}$$

$$P = 111,79 \text{ kg}$$



- **Sobre la cuerda inferior**

En la cuerda inferior, las cargas distribuidas se convierten en cargas puntuales equivalentes, teniendo en cuenta que los nodos de los extremos no soportan carga, mientras que los nodos centrales asumen la totalidad. Por lo tanto, estas cargas se determinan de la siguiente manera:

$$Q = \frac{WQ \times (2l)}{n_{ci} - 1} \text{ [kg]}$$

Donde:

- Q = Carga equivalente en la cuerda inferior
- WQ = Carga distribuida en la cuerda superior [kg/m]
- $2l$ = Largo de la cercha [m]
- n_{ci} = Número de nodos en la cuerda inferior

$$Q = \frac{17,50 \times 5}{4 - 1}$$

$$Q = 29,17 \text{ kg}$$

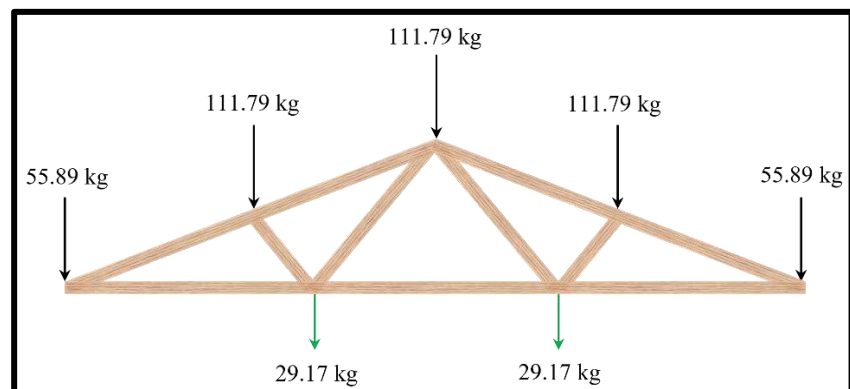


Figura 27 — Cargas puntuales equivalentes en los nodos

4.4.4.4 Cálculo de fuerzas axiales en los elementos

Para calcular las fuerzas internas de los elementos, es fundamental garantizar la estabilidad interna y externa de la estructura. Para ello, uno de los apoyos debe ser fijo y el otro móvil, como se muestra en la Figura 28, lo que permite una correcta transmisión de cargas y evita esfuerzos indeseados por restricciones excesivas.



Para calcular las reacciones en los apoyos de la cercha, se deben utilizar las ecuaciones de equilibrio estático para toda la estructura antes de aplicar el método de los nodos. Estas ecuaciones son:

- **Sumatoria de fuerzas en dirección vertical:** $\sum F_Y = 0$

$$R_{AY} + R_{GY} = 447,15 \text{ kg}$$

- **Sumatoria de fuerzas en dirección horizontal:** $\sum F_X = 0$

$$R_{AX} = 0$$

- **Sumatoria de momentos:** $\sum M_A = 0$

$$R_{GY} = 223,57 \text{ kg}$$

$$R_{AY} = 223,57 \text{ kg}$$

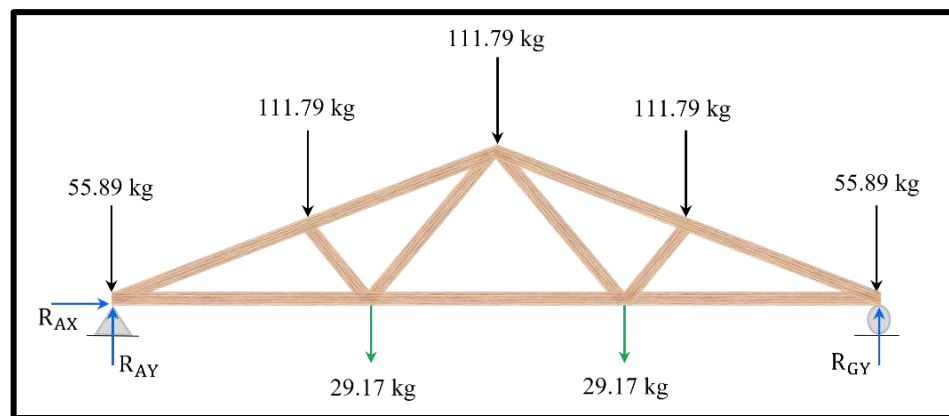


Figura 28 — Reacciones en los apoyos

El cálculo de los esfuerzos internos en la cercha se realizó mediante el método de los nodos, analizando el equilibrio de fuerzas en cada punto de intersección. Este método permite descomponer las fuerzas y aplicar las ecuaciones de equilibrio estático para determinar con precisión las fuerzas axiales en la estructura.

Dada la simetría de la cercha, el análisis se enfocó en los nodos A, B, C y D, optimizando el cálculo sin afectar la precisión. La descomposición de fuerzas facilita la interpretación de la distribución de esfuerzos y su efecto en la estructura.

- **Nodo A.** En la Figura 29 se presenta el diagrama de cuerpo libre correspondiente al nodo A. Aplicando las ecuaciones de equilibrio estático, se obtienen las siguientes expresiones:



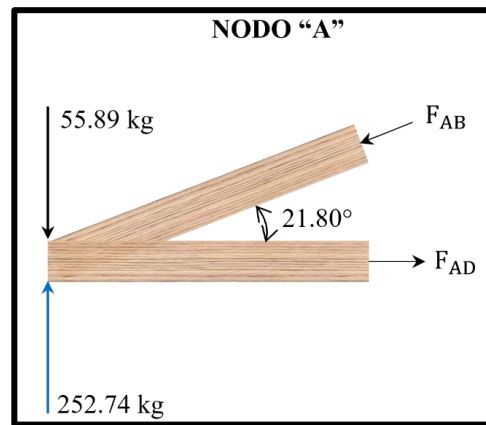


Figura 29 — Diagrama de fuerzas en el nodo A

$$- \quad +\uparrow \sum F_Y = 0; 252,74 - 55,89 - F_{AB} \times \text{sen}(21,80^\circ) = 0$$

$$\therefore F_{AB} = 530,02 \text{ kg (Compresión)}$$

$$- \quad \rightarrow \sum F_X = 0; F_{AD} - F_{AB} \times \text{cos}(21,80^\circ) = 0$$

$$\therefore F_{AD} = 492,12 \text{ kg (Tracción)}$$

- **Nodo B.** En la Figura 30 se presenta el diagrama de cuerpo libre correspondiente al nodo B. Aplicando las ecuaciones de equilibrio estático, se obtienen las siguientes expresiones:

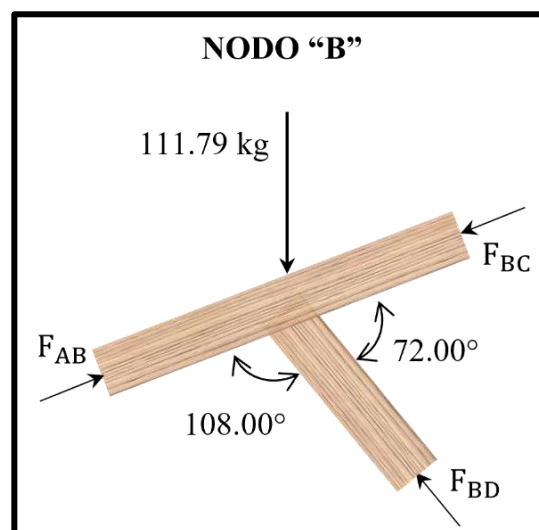


Figura 30 — Diagrama de fuerzas en el nodo B

$$- \quad +\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$F_{AB} \times \text{cos}(21,80^\circ) + F_{BD} \times \text{sen}(50,19^\circ) - F_{BC} \times \text{sen}(21,80^\circ) = 0$$

$$F_{BD} \times \text{sen}(50,19^\circ) = F_{BC} \times \text{sen}(21,80^\circ) + F_{AB} \times \text{cos}(21,80^\circ)$$

$$F_{BD} = \frac{F_{BC} \times \text{sen}(21,80^\circ) + F_{AB} \times \text{cos}(21,80^\circ)}{\text{sen}(50,19^\circ)} \dots (1)$$

$$\cdot \quad \rightarrow \sum F_X = 0$$

$$F_{AB} \times \cos(21,80^\circ) - F_{BC} \times \cos(21,80^\circ) - F_{BD} \times \cos(50,19^\circ) = 0$$

$$F_{BC} \times \cos(21,80^\circ) = F_{AB} \times \cos(21,80^\circ) - F_{BD} \times \cos(50,19^\circ)$$

$$F_{BC} = \frac{F_{AB} \times \cos(21,80^\circ) - F_{BD} \times \cos(50,19^\circ)}{\cos(21,80^\circ)} \dots (2)$$

Reemplazando F_{AB} y (1) en (2) tenemos que:

$$\therefore F_{BC} = 454,78 \text{ kg (Compresión)}$$

$$\therefore F_{BD} = 109,13 \text{ kg (Compresión)}$$

- **Nodo C.** Teniendo en cuenta la simetría que presenta que la cercha, consideraremos que el valor de F_{BC} es igual a F_{CF} y F_{CD} es igual a F_{CE} , por lo tanto, tenemos que:

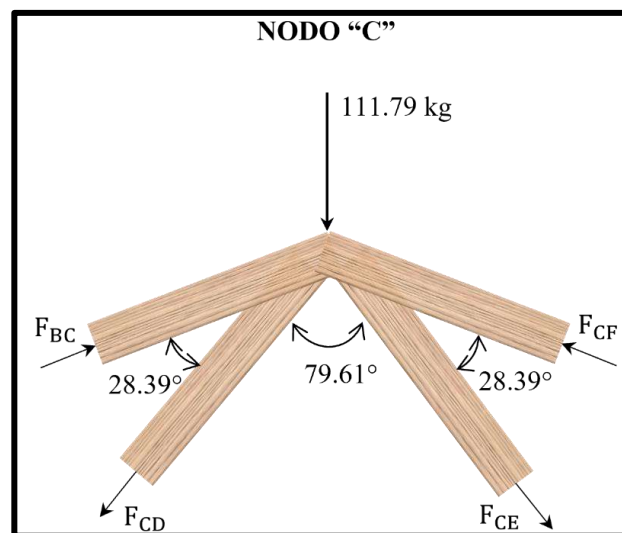


Figura 31 — Diagrama de fuerzas en el nodo C

$$\cdot \quad +\uparrow \sum F_Y = 0$$

$$2F_{BC} \times \text{sen}(21,80^\circ) - 2F_{CD} \times \text{sen}(50,19^\circ) - 111,79 = 0$$

$$F_{BC} \times \text{sen}(21,80^\circ) - F_{CD} \times \text{sen}(50,19^\circ) - 55,90 = 0$$

$$F_{CD} = \frac{F_{BC} \times \text{sen}(21,80^\circ) - 55,90}{\text{sen}(50,19^\circ)} \dots (3)$$

Reemplazando F_{BC} en (3) tenemos que:

$$\therefore F_{CD} = F_{CE} = 147,10 \text{ kg (Tracción)}$$

- **Nodo D.** En la Figura 32 se presenta el diagrama de cuerpo libre correspondiente al nodo D, ya que conocemos los valores de F_{BD} y F_{CD} tendemos que encontrar el equilibrio en el eje horizontal, obteniendo las siguientes expresiones:



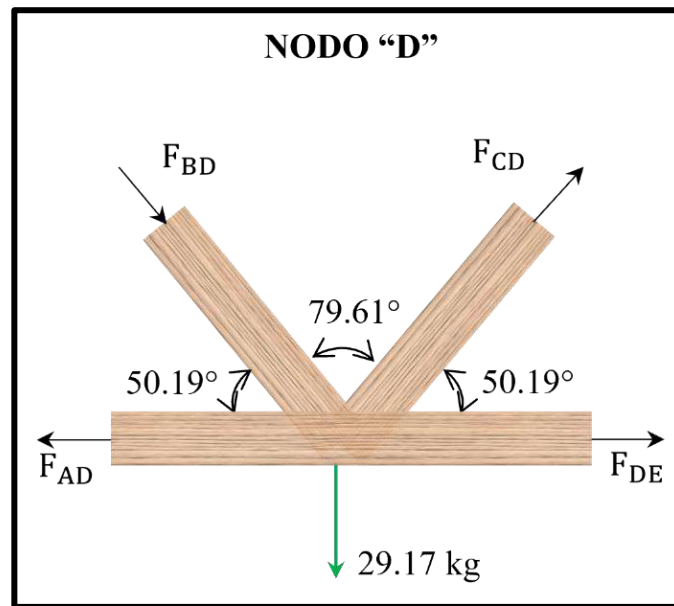


Figura 32 — Diagrama de fuerzas en el nodo D

$$\rightarrow \sum F_x = 0$$

$$F_{DE} + F_{CD} \times \cos(50,19^\circ) + F_{BD} \times \cos(50,19^\circ) - F_{AD} = 0$$

$$F_{DE} = F_{AD} - F_{CD} \times \cos(50,19^\circ) - F_{BD} \times \cos(50,19^\circ) \dots (4)$$

Reemplazando F_{AD} , F_{CD} y F_{BD} en (4) tenemos que:

$$\therefore F_{DE} = 328,08 \text{ kg (Tracción)}$$

Tabla 26 — Resumen de fuerzas internas en los elementos

Elemento	Fuerza (kg)	Sentido
AB	530,02	Compresión
BC	454,78	Compresión
CF	454,78	Compresión
FG	530,02	Compresión
AD	492,12	Tracción
DE	328,08	Tracción
EG	492,12	Tracción
BD	109,13	Compresión
EF	109,13	Compresión
CD	147,10	Tracción
CE	147,10	Tracción

4.4.4.5 Diseño de los elementos

Para el diseño de los elementos tendremos en consideración las propiedades mecánicas de la madera, específicamente del Grupo C en la Norma E.010.



Tabla 27 — Propiedades mecánicas para el diseño

Esfuerzos admisibles (kg/cm ²)					Módulo de elasticidad (kg/cm ²)
f_m	f_t	$f_{c//}$	$f_{c\perp}$	f_v	E_{min}
226,00	179,77	205,10	55,50	8,22	74228,49

a) Diseño de la cuerda superior

Para los elementos de la cuerda superior AB, BC, CF y FG, se seleccionó aquel que está sometido a la mayor sollicitación. En el presente diseño, el elemento AB representa la condición más desfavorable.

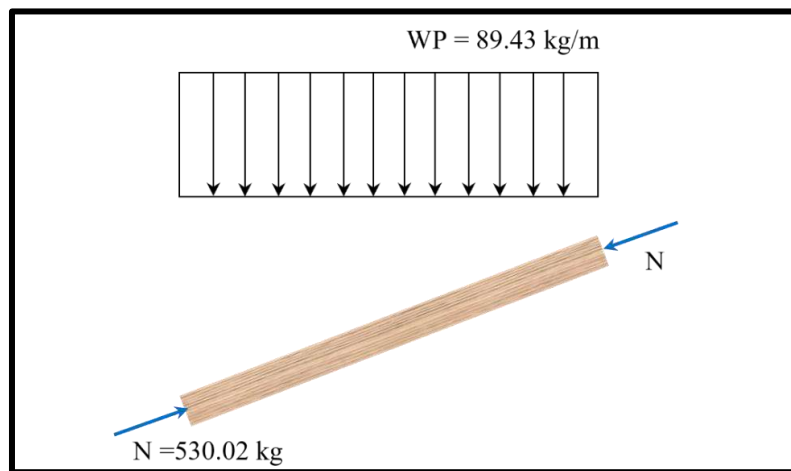


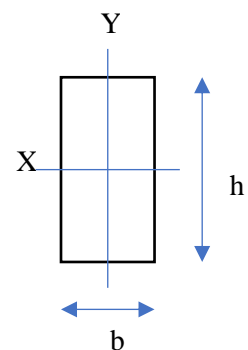
Figura 33 — Cuerda superior

La cuerda superior está compuesta por elementos sujetos a flexo-compresión, por lo que deben cumplir con la siguiente ecuación:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{k_m \times |M|}{Z \times f_m} < 1$$

Para iniciar el diseño, es fundamental determinar las propiedades geométricas, por lo que asumiremos que la escuadría del elemento es de 4 cm × 9 cm.

- b = 4,00 cm
- h = 9,00 cm
- l = 134,63 cm
- A = 36,00 cm²
- I_x = 243,00 cm⁴
- Z_x = 54,00 cm³



La longitud efectiva está dada por:



$$L_{ef} = 0,8(l)$$

$$L_{ef} = 0,8(134,63)$$

$$L_{ef} = 107,70 \text{ cm}$$

El momento se calcula con la formula $M = \frac{W * L^2}{10}$, donde la carga es igual a 0,89 kg/cm y la longitud es equivalente a 125 cm, por lo tanto:

$$M = \frac{0,89 \times 125^2}{10}$$

$$\therefore M = 1397,33 \text{ kg-cm}$$

Para clasificar que tipo de columna es el elemento debemos calcular la esbeltez (λ) y la relación de esbeltez limite (CK).

$$\lambda_x = \frac{L_{ef}}{d} = \frac{107,70}{9} \rightarrow \lambda_x = 11,97$$

$$C_k = 0,7025 \sqrt{\frac{E_{min}}{f_{c//}}} = 0,7025 \sqrt{\frac{74228,49}{205,10}} \rightarrow C_k = 13,36$$

Como $10 < \lambda < C_k$, el elemento se clasifica como una Columna Intermedia. En consecuencia, la carga admisible se determina mediante la siguiente expresión.

$$N_{adm} = f_{c//} \times A \times \left[1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$$

$$N_{adm} = 205,10 \times 36 \times \left[1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{11,97}{13,36} \right)^4 \right]$$

$$\therefore N_{adm} = 5801,27 \text{ kg}$$

Para el cálculo de la carga crítica de Euler para pandeo debemos emplear la fórmula:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times E_{min} \times I}{(L_{ef})^2}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \times 74228,49 \times 243}{(107,70)^2}$$

$$\therefore N_{cr} = 15346,83 \text{ kg}$$

El factor de magnificación de momentos está dado por:

$$k_m = \frac{1}{1 - 1,5 \times \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - 1,5 \times \frac{530,02}{15346,83}}$$

$$\therefore k_m = 1,05$$



Verificamos si:

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{k_m \times |M|}{Z \times f_m} < 1$$

$$\frac{530,02}{5801,27} + \frac{1,05 \times |1397,33|}{54 \times 226} = 0,21$$

$$0,21 < 1 \text{ (CUMPLE)}$$

Para garantizar la esbeltez en la cuerda superior, el espaciamiento máximo entre las correas será de:

$$L_c = b \times \lambda = 4 \times 11,97$$

$$\therefore L_c = 47,87 \text{ cm}$$

Por lo tanto, la sección a usar será en los elementos de la cuerda superior será de 2" × 4" (4 cm × 9 cm) y el espaciamiento de las correas no excederá 47,87 centímetros.

b) Diseño de la cuerda inferior

Para el diseño de la cuerda inferior se ha tomado como referencia el elemento AD, el cuál es el que se encuentra sometido a mayor fuerza interna.

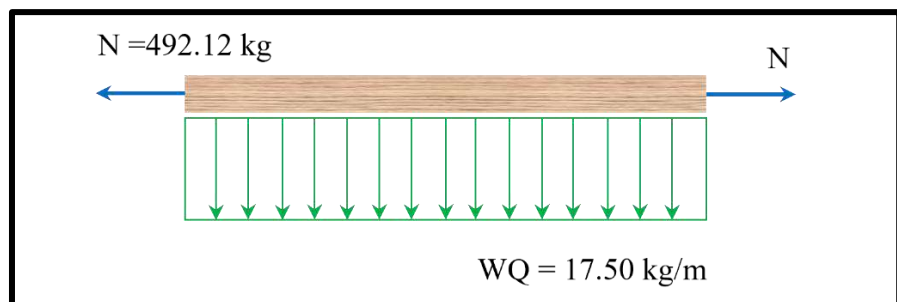


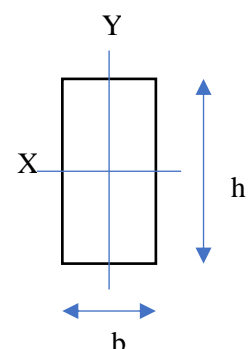
Figura 34 — Cuerda inferior

Dado que se encuentra sometido a flexo – tracción, se debe satisfacer la siguiente expresión:

$$\frac{N}{A \times f_t} + \frac{|M|}{Z \times f_m} < 1$$

Asumimos una escuadría de 4 cm × 9 cm, entonces:

- b = 4,00 cm
- h = 9,00 cm
- L = 166,67 cm
- A = 36,00 cm²
- I_X = 243,00 cm⁴
- Z_X = 54,00 cm³



La carga distribuida que soporta el elemento es de 0,18 kg/cm, por consiguiente el momento será de:

$$M = \frac{W \times L^2}{8} = \frac{0,18 \times 166,67^2}{8}$$

$$\therefore M = 607,64 \text{ kg-cm}$$

Verificamos si:

$$\frac{N}{A \times f_t} + \frac{|M|}{Z \times f_m} < 1$$

$$\frac{492,12}{36 \times 179,77} + \frac{|607,64|}{54 \times 226} = 0,13$$

$$0,13 < 1 \text{ (CUMPLE)}$$

Por lo tanto, la sección a usar será en los elementos de la cuerda superior será de 2" × 4" (4 cm × 9 cm).

c) Diseño de la diagonal menor

En el diseño, los elementos BD y EF corresponden a las diagonales menores y están sometidos a cargas de compresión.

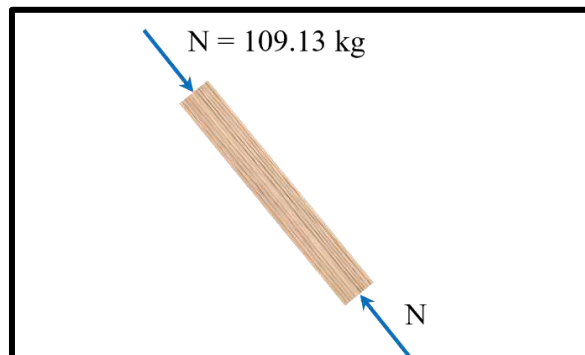


Figura 35 — Diagonal menor

Por ello, se debe verificar que el esfuerzo admisible N_{adm} sea superior a la fuerza interna que soporta.

$$N_{adm} > N$$

Asumimos una escuadría de 4 cm × 6,5 cm, por lo tanto:

$$b = 4,00 \text{ cm}$$

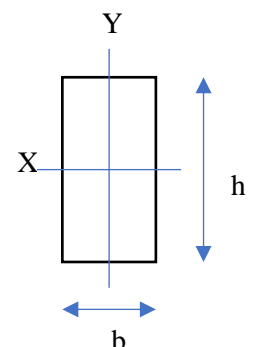
$$h = 6,50 \text{ cm}$$

$$L = 65,09 \text{ cm}$$

$$A = 26,00 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 91,54 \text{ cm}^4$$

$$Z_x = 28,17 \text{ cm}^3$$



Para seguir con el cálculo debemos calcular el valor de la longitud efectiva con la siguiente expresión:

$$L_{ef} = 0,8(l_d)$$

$$L_{ef} = 0,8(65,09)$$

$$L_{ef} = 52,07 \text{ cm}$$

Para determinar el tipo de columna al que pertenece el elemento, es necesario calcular su esbeltez (λ) y compararla con la relación de esbeltez límite (C_k).

$$\lambda_x = \frac{L_{ef}}{d} = \frac{52,07}{4}$$

$$\rightarrow \lambda_x = 13,02$$

$$C_k = 0,7025 \sqrt{\frac{E_{min}}{f_{c//}}} = 0,7025 \sqrt{\frac{55000}{80}}$$

$$\rightarrow C_k = 13,36$$

Dado que $10 < \lambda < C_k$, el elemento se clasifica como una Columna Intermedia por lo tanto la carga admisible se calcula con la siguiente expresión:

$$N_{adm} = f_{c//} \times A \times \left[1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{\lambda}{C_k} \right)^4 \right]$$

$$N_{adm} = 205,10 \times 26 \times \left[1 - \frac{1}{3} \times \left(\frac{13,02}{13,36} \right)^4 \right]$$

$$\therefore N_{adm} = 3732,76 \text{ kg}$$

Verificamos si:

$$N_{adm} > N$$

$$3732,76 > 109,13 \text{ kg (CUMPLE)}$$

Por lo tanto, la sección de las diagonales menores será de 2" x 3" (4 cm x 6,5 cm).

d) Diseño de la diagonal mayor

Los elementos CD y CE son diagonales mayores, los cuales están sometidos a las mismas fuerzas axiales de tracción.



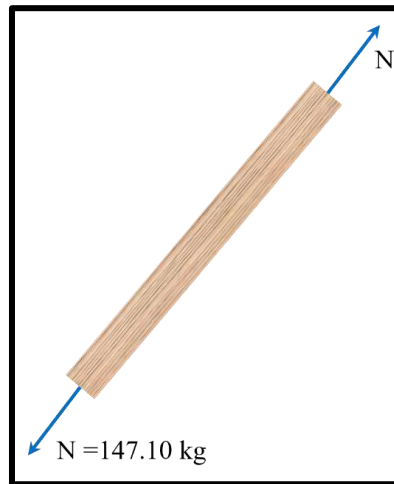


Figura 36 — Diagonal mayor

Es fundamental verificar que el esfuerzo admisible del material (N_{adm}) sea mayor que la fuerza interna a la que está sometido el elemento (N). Para ello, se compararán ambos valores y se evaluará si el elemento cumple con los criterios de seguridad estructural establecidos en el diseño. Asumimos que la escuadría es de $4\text{ cm} \times 4\text{ cm}$.

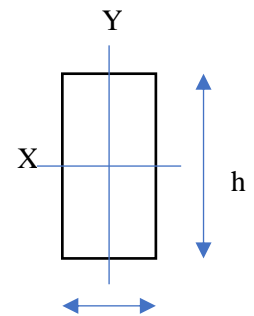
$$b = 4,00\text{ cm}$$

$$h = 6,50\text{ cm}$$

$$A = 26,00\text{ cm}^2$$

$$I_x = 91,54\text{ cm}^4$$

$$Z_x = 28,17\text{ cm}^3$$



Para elementos sometidos en tracción axial el esfuerzo admisible se calcula con la siguiente expresión:

$$N_{adm} = f_t \times A$$

Si reemplazamos estos valores tendremos que:

$$N_{adm} = 179,77 \times 26$$

$$N_{adm} = 4674,14\text{ kg}$$

$$4674,14 > 147,10\text{ kg (CUMPLE)}$$

Entonces la sección que usaremos para las diagonales mayores será de $2'' \times 3''$ ($4\text{ cm} \times 6,5\text{ cm}$).

e) Cálculo de deflexiones

Para el cálculo de las deflexiones se usó el método de trabajos virtuales, el cual consiste en aplicar una carga virtual unitaria en la dirección del desplazamiento buscado, en nuestro caso determinaremos el



desplazamiento en el nodo D, la expresión práctica para el cálculo es la siguiente:

$$\delta = \frac{1}{E} \sum \left(\frac{N_i \times n_i \times L_i}{A_i} \right)$$

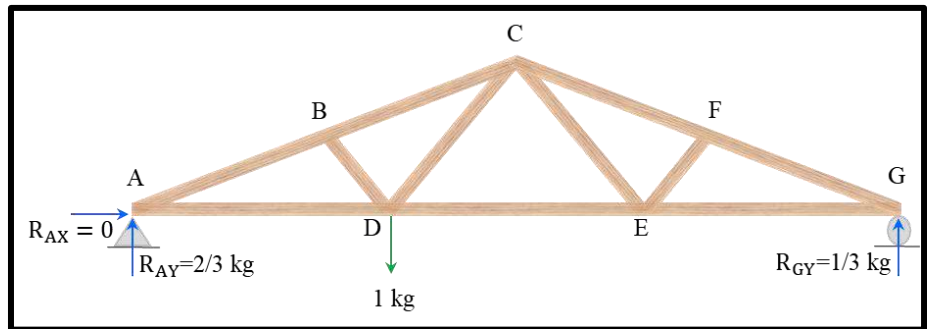


Figura 37 — Aplicación de carga virtual unitaria

Tras aplicar la carga unitaria virtual en el nodo y dirección de interés, la cercha se analiza como un problema estático independiente. Primero se determinan las reacciones en los apoyos y luego, mediante el método de nudos o secciones, se obtienen las fuerzas virtuales en cada barra.

Tabla 28 — Trabajos virtuales en la cercha

ELEMENTO	L [cm]	[n _i]	N _i [kg]	A [cm ²]	(L · n _i · N _i) / A
AB	134,63	1,80	530,02	36,00	3558,03
BC	134,63	1,80	454,78	36,00	3052,89
CF	134,63	0,90	454,78	36,00	1526,45
FG	134,63	0,90	530,02	36,00	1779,02
AD	166,67	-1,67	-492,12	36,00	3797,19
DE	166,67	-0,83	-328,08	36,00	1265,73
EG	166,67	-0,83	-492,12	36,00	1898,59
BD	65,09	0,00	109,13	26,00	0,00
EF	65,09	0,00	109,13	26,00	0,00
CD	130,17	-1,30	-147,10	26,00	958,67
CE	130,17	0,00	147,10	26,00	0,00
$\Sigma =$					17836,57

Claves

n_i= fuerza axial en el elemento i, producido por una fuerza unitaria aplicada en el nodo (nodo D en este caso)

N_i= fuerza axial en el elemento i.

A= área de la sección del elemento.

L= longitud del elemento



Por lo tanto, la deflexión en el nodo D se calcula con la siguiente ecuación:

$$\delta_D = \frac{1}{E} \sum \left(\frac{N_i \times n_i \times L_i}{A_i} \right) = \frac{1}{74228,49} \times 17836,57$$

$$\delta_D = 0,24 \text{ cm}$$

Para calcular la deformación máxima en la cuerda inferior “ δ_f ”, el Manual de diseño del Grupo Andino recomienda que para evaluar este tipo de cerchas se use la siguiente expresión:

$$\delta_f = 1,75 \left(1,15 \delta + \frac{w \times l^4 \times 10^4}{E \times I} \right)$$

Donde “w” es la carga a la cual está sometida la cuerda inferior, en este caso es de 17,5 kg, por consiguiente, la deflexión máxima es:

$$\delta_f = 1,75 \left(1,15 \delta_D + \frac{w \times l^4 \times 10^4}{E \times I} \right)$$

$$\delta_f = 1,75 \left(1,15 \times 0,24 + \frac{17,5 \times (1,67)^4 \times 10^4}{74228,49 \times 243} \right)$$

$$\delta_f = 0,61 \text{ cm}$$

La norma E.010 establece que la deflexión máxima admisible para cargas permanentes más cargas vivas de servicio con cielo raso de yeso es de "L/300".

Ésta debe ser mayor a la deflexión de la cuerda inferior de la cercha, por lo tanto:

$$\frac{L}{300} = \frac{500}{300} = 1,67 \text{ cm}$$

La verificación de deformaciones indica que la deflexión máxima de la cuerda inferior se encuentra dentro del límite permisible, validando así la idoneidad del diseño de los elementos estructurales.

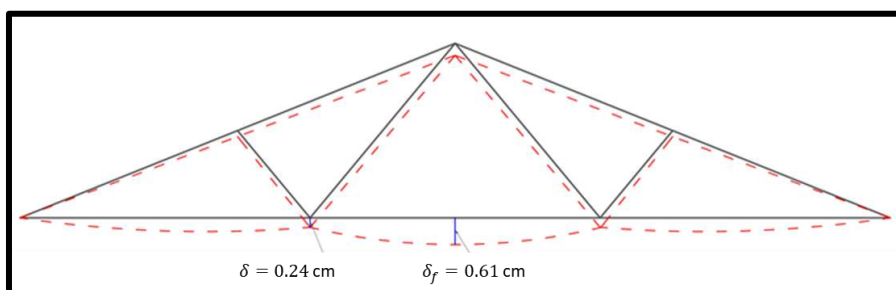


Figura 38 — Deformación de la cercha

4.4.4.6 Diseño de las uniones

Para la totalidad del diseño estructural, se emplearán clavos con una longitud de 76 mm (3 pulgadas) y un diámetro de 3,3 mm, los cuales serán utilizados en las uniones colocadas por ambos lados, para garantizar la adecuada fijación y transferencia de esfuerzos entre los elementos de la cercha.

Además, se incorporarán cartelas de madera contrachapada de 20 mm de espesor en ambos lados de las conexiones, por ello todas las uniones estarán sometidas a esfuerzos de cizallamiento doble.

En consecuencia, la carga admisible de un clavo en doble cizallamiento (Q_{admDC}) se obtiene multiplicando la carga admisible en simple cizallamiento (Q_{admSC}) por un factor de ajuste. Cabe puntualizar que la madera se encuentra en estado verde.

- $Q_{admDC} = Q_{admSC} \times \text{Factor de modificación}$

Donde:

- $Q_{admSC} = 30,00 \text{ kg}$
- $\text{Factor} = 1,80$

Entonces:

$$\begin{aligned} \rightarrow Q_{admDC} &= 30 \times 1,80 \\ Q_{admDC} &= 54 \text{ kg} \end{aligned}$$

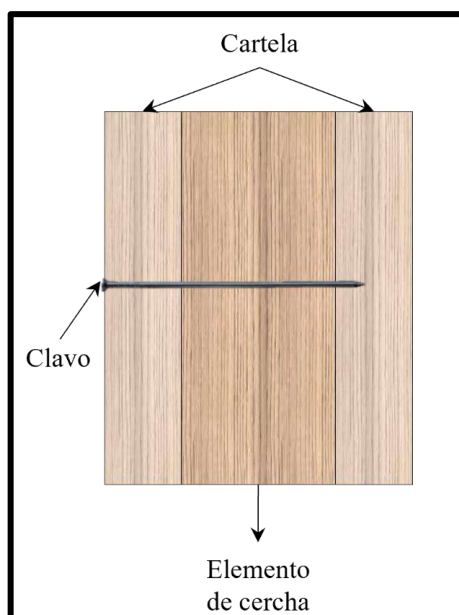


Figura 39 — Vista lateral típica de unión con cartelas en ambos lados

b) Unión del Nodo B

Verificación de espesores y longitudes

- Longitud de penetración en el elemento adyacente a la cabeza:

$$5d = 16 \text{ mm} < 20 \text{ mm (CONFORME)}$$

- Longitud de penetración en el elemento central:

$$10d = 33 \text{ mm} < 40 \text{ mm (CONFORME)}$$

- Longitud de penetración del elemento que contiene la punta:

$$5d = 16 \text{ mm} < 20 \text{ mm (CONFORME)}$$

- Penetración real del clavo en el elemento que contiene la punta:

$$l - (5d + 10d) = 76 - (20 + 40)$$

$$l - (5d + 10d) = 16 \text{ mm (igual a } 5d, \text{ NO REDUCIR)}$$

Por lo tanto, la carga admisible a doble cizallamiento simétrico en el Nodo A será de 54 kg.

Cálculo del número de clavos

- Cuerda superior AB:

$$\#clavos_{AB} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{AB} = \frac{530,02}{54} = 9,82$$

$$\#clavos_{AB} \cong 10$$

- Cuerda superior BC:

$$\#clavos_{BC} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{BC} = \frac{454,78}{54} = 8,42$$

$$\#clavos_{BC} \cong 8$$

- Diagonal menor BD:

$$\#clavos_{BD} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{BD} = \frac{109,13}{54} = 2,02$$

$$\#clavos_{BD} \cong 2$$

Distribución de clavos (espaciamientos mínimos)

- Cuerda superior AB:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm



- | | | |
|--|---------------------|------------|
| | Distancia al borde: | 5d = 16 mm |
|--|---------------------|------------|
- Cuerda superior BC:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm
	Distancia al borde:	5d = 16 mm
- Diagonal menor BD:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm
	Distancia al borde:	5d = 16 mm

c) Unión del Nodo C

Verificación de espesores y longitudes

- Longitud de penetración en el elemento adyacente a la cabeza:

$$5d = 16 \text{ mm} < 20 \text{ mm (CONFORME)}$$
- Longitud de penetración en el elemento central:

$$10d = 33 \text{ mm} < 40 \text{ mm (CONFORME)}$$
- Longitud de penetración del elemento que contiene la punta:

$$5d = 16 \text{ mm} < 20 \text{ mm (CONFORME)}$$
- Penetración real del clavo en el elemento que contiene la punta:

$$l - (5d + 10d) = 76 - (20 + 40)$$

$$l - (5d + 10d) = 16 \text{ mm (igual a 5d, NO REDUCIR)}$$

Por lo tanto, la carga admisible a doble cizallamiento simétrico en el Nodo A será de 54 kg.

Cálculo del número de clavos

- Cuerda superior BC:

$$\#clavos_{BC} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{BC} = \frac{454,78}{54} = 8,42$$

$$\#clavos_{BC} \cong 8$$

- Diagonal mayor CD:

$$\#clavos_{CD} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{CD} = \frac{147,10}{54} = 2,72$$

$$\#clavos_{CD} \cong 3$$



Distribución de clavos (espaciamientos mínimos)

- Cuerda superior BC:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm
	Distancia al borde:	5d = 16 mm
- Diagonal mayor CD:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm
	Distancia al borde:	5d = 16 mm

d) Unión del Nodo D

Verificación de espesores y longitudes

- Longitud de penetración en el elemento adyacente a la cabeza:

$$5d = 16 \text{ mm} < 20 \text{ mm (CONFORME)}$$
- Longitud de penetración en el elemento central:

$$10d = 33 \text{ mm} < 40 \text{ mm (CONFORME)}$$
- Longitud de penetración del elemento que contiene la punta:

$$5d = 16 \text{ mm} < 20 \text{ mm (CONFORME)}$$
- Penetración real del clavo en el elemento que contiene la punta:

$$l - (5d + 10d) = 76 - (20 + 40)$$

$$l - (5d + 10d) = 16 \text{ mm (igual a } 5d, \text{ NO REDUCIR)}$$

Por lo tanto, la carga admisible a doble cizallamiento simétrico en el Nodo A será de 54 kg.

Cálculo del número de clavos

- Cuerda inferior AD:

$$\#clavos_{AD} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{AD} = \frac{492,12}{54} = 9,11$$

$$\#clavos_{AD} \cong 9$$

- Diagonal menor BD:

$$\#clavos_{BD} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{BD} = \frac{109,13}{54} = 2,02$$

$$\#clavos_{BD} \cong 2$$



- Diagonal mayor CD:

$$\#clavos_{CD} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{CD} = \frac{147,10}{54} = 2,72$$

$$\#clavos_{CD} \cong 3$$

- Cuerda inferior DE:

$$\#clavos_{DE} = \frac{N}{Q_{admDC}}$$

$$\#clavos_{DE} = \frac{328,08}{54} = 6,08$$

$$\#clavos_{DE} \cong 6$$

Distribución de clavos (espaciamientos mínimos)

- Cuerda inferior AD:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm
	Distancia al borde:	5d = 16 mm

- Diagonal menor BD:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm
	Distancia al borde:	5d = 16 mm

- Diagonal mayor CD:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm
	Distancia al borde:	5d = 16 mm

- Cuerda inferior DE:

A lo largo del grano	Espaciamiento entre clavos:	16d = 52 mm
	Distancia al borde:	20d = 66 mm
Perpendicular al grano	Espaciamiento entre clavos:	8d = 26 mm
	Distancia al borde:	5d = 16 mm

e) Verificación de resistencia de las cartelas

La verificación de la resistencia de las cartelas será por cizallamiento, para el análisis se tomará las especificaciones técnicas de las cartelas, las cuales son:

$$f_v = 8 \text{ kg/cm}^2$$

$$e = 2 \text{ cm}$$



La unión más crítica en este caso se da en la unión del nodo B.

Por lo tanto:

- Área de corte = #cartelas × (área de cartela sometida a corte)
Área de corte = $2 \times (2 \times 54) = 216 \text{ cm}^2$
- Corte resistente = $f_v \times \text{Área de corte}$
Corte resistente = 8×216
Corte resistente = 1728 kg
- Corte actuante = $530,02 + 454,78$
Corte actuante = 984,80 kg
- Corte resistente > Corte actuante (**CONFORME**)

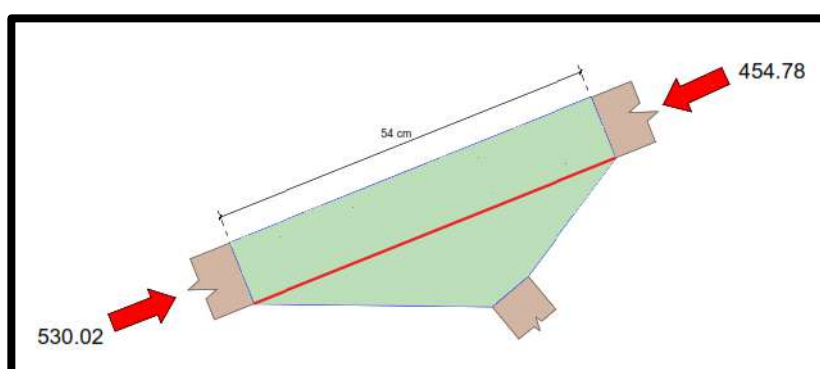


Figura 40 — Verificación de resistencia de la cartela

4.4.5 Construcción de prototipos y prueba de carga

Con base en el diseño estructural desarrollado y las secciones transversales definidas para cada elemento de la cercha tipo Fink, se procedió a la fabricación de tres prototipos a escala real, utilizando madera de la especie *Cedrelinga catenaeformis*, previamente ensayada y clasificada según sus propiedades físico-mecánicas.

Los elementos que conforman cada cercha fueron cortados con precisión, respetando las dimensiones definidas en el diseño: $4 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$ para las cuerdas superiores e inferiores, y $4 \text{ cm} \times 6,5 \text{ cm}$ para las diagonales mayores y menores. Las uniones estructurales se realizaron mediante conexiones con clavos de 3", utilizando cartelas de madera contra placada (triplay) de 2 cm de espesor, dispuestas a doble cara, lo que permitió una adecuada transferencia de esfuerzos y mayor rigidez en los nodos. Durante el proceso constructivo, se realizó el marcado de ejes para el espaciamiento de clavos, siguiendo un patrón uniforme para garantizar la simetría y estabilidad de las conexiones cuidando la alineación y perpendicularidad para que el prototipo sea lo más próximo al diseño estructural.

Dado que la prensa hidráulica utilizada para el ensayo de resistencia solo permite la aplicación de carga puntual en un único punto, y considerando que el diseño estructural de la cercha tipo Fink contempla cargas puntuales en todos sus nudos, se optó por simular dicha condición mediante una carga concentrada equivalente. Para ello, con ayuda del software SAP2000 se buscó una carga única equivalente de 400 kg en el punto superior de la cercha, la cual representa de forma aproximada la acción combinada de las cargas distribuidas en los nudos que incidirían sobre la estructura en condiciones reales.

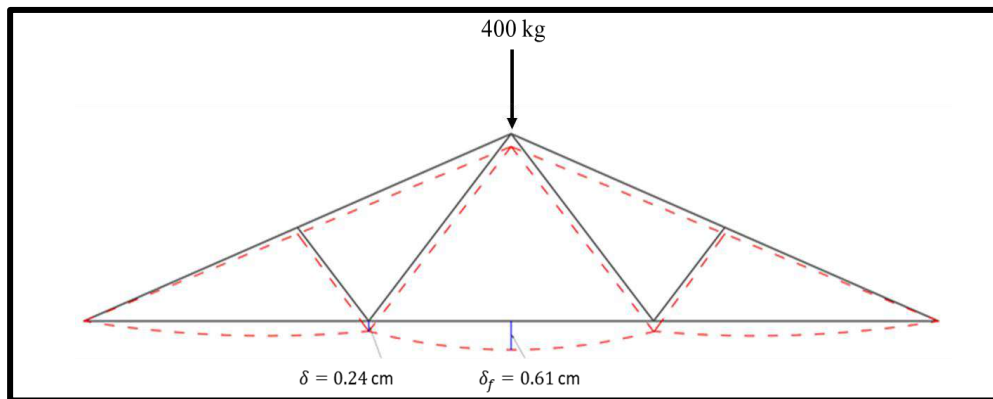


Figura 41 — Carga puntual equivalente

Una vez ensambladas, las cerchas fueron colocadas sobre un sistema de apoyos simples ubicados en ambos extremos. A continuación, se procedió a realizar la prueba de carga estática, aplicando una carga de forma progresiva y controlada en el nudo superior central.

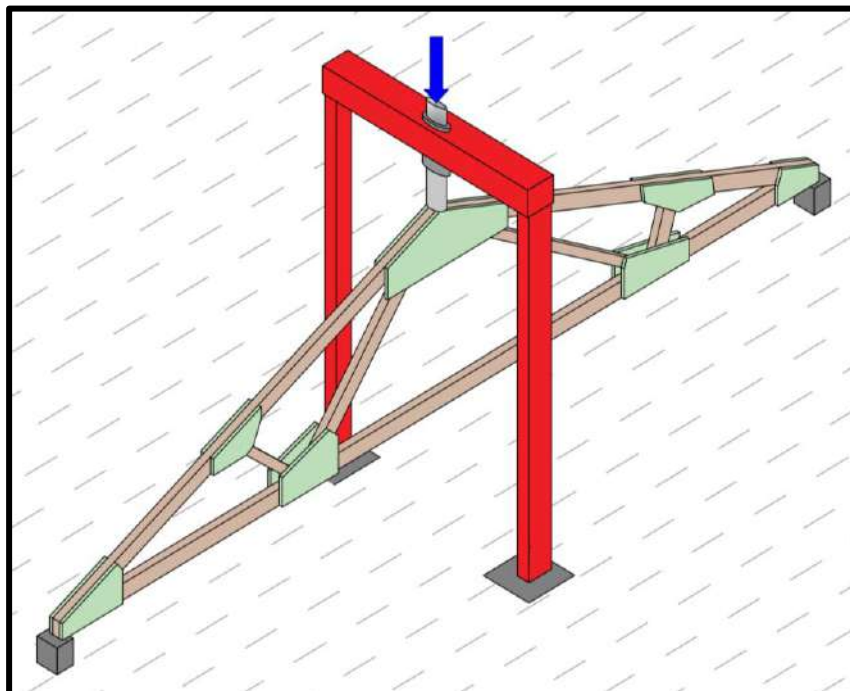


Figura 42 — Esquema de prueba de carga a cercha tipo Fink

La elección del centro de la cuerda inferior como punto de control responde a que este sector concentra la mayor flexión y, por lo tanto, representa el punto más desfavorable en términos de deflexión.

Las deflexiones fueron registradas con un deformímetro análogo de precisión, y los datos obtenidos se utilizaron para realizar un tratamiento estadístico que permita evaluar el comportamiento estructural, la repetibilidad de los resultados y la consistencia mecánica del sistema constructivo propuesto.

Tabla 29 — Datos obtenidos de la prueba de carga a los prototipos

PROTOTIPO 01		PROTOTIPO 02		PROTOTIPO 03	
Def.	Carga	Def.	Carga	Def.	Carga
[cm]	[kg]	[cm]	[kg]	[cm]	[kg]
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,03	50,00	0,04	50,00	0,03	50,00
0,08	100,00	0,08	100,00	0,06	100,00
0,13	150,00	0,13	150,00	0,09	150,00
0,17	200,00	0,18	200,00	0,12	200,00
0,21	250,00	0,23	250,00	0,16	250,00
0,25	300,00	0,28	300,00	0,20	300,00
0,29	350,00	0,34	350,00	0,25	350,00
0,35	400,00	0,41	400,00	0,28	400,00
0,39	450,00	0,45	450,00	0,32	450,00
0,43	500,00	0,50	500,00	0,36	500,00
0,48	550,00	0,56	550,00	0,41	550,00
0,59	600,00	0,72	600,00	0,49	600,00
0,65	650,00	0,76	650,00	0,62	650,00
		0,81	700,00		

Esta metodología permitió registrar el desplazamiento vertical en el centro de la cuerda inferior mediante un deformímetro análogo apoyado sobre un pedestal, en función de la carga aplicada.

Esto permitió obtener la curva de carga versus deformación, la cual refleja el comportamiento estructural de la cercha.



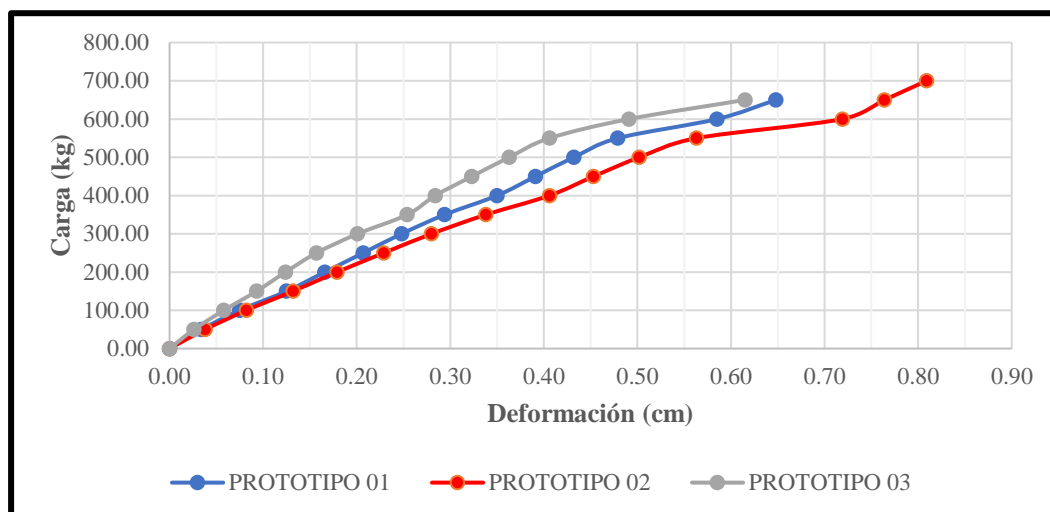


Figura 43 — Curva de carga vs deformación de prototipos de cerchas

4.5 Técnicas e instrumentos

4.5.1 Técnicas de investigación

SÁNCHEZ, ROMERO y MEJÍA (2018) indican que las técnicas de investigación, también conocidas como métodos de recolección de datos, son procedimientos concretos empleados en campos científicos específicos para obtener información.

La presente investigación empleará observación no participante de forma directa porque se centrará en observar y documentar el comportamiento estructural de la cercha sin intervenir o influir directamente en los eventos que estás estudiando. Esto permitirá obtener datos precisos y objetivos sobre cómo la cercha responde a las cargas y otras condiciones experimentales.

4.5.2 Instrumentos de investigación

4.5.2.1 Instrumentos

a) Instrumentos metodológicos o guías de información

- NTP 251.010:2020, Métodos para determinar el contenido de humedad.
- NTP 251.011:2014, Método para determinar la densidad.
- NTP 251.013:2015, Método para determinar el cizallamiento perpendicular al grano.
- NTP 251.014:2020, Método para determinar la compresión axial o paralela al grano.
- NTP 251.016:2015, Método para determinar la compresión perpendicular al grano.
- NTP 251.017: 2014 (revisado el 2019), Método para determinar la flexión estática.

b) Instrumentos de ingeniería

- Máquina universal de compresión uniaxial
- Vernier digital
- Balanza electrónica
- Deformímetro análogo
- Horno eléctrico
- Higrómetro digital

c) Instrumentos de recolección de datos

- Formatos:
 - i. Protocolo 01 - Determinación de densidad básica
 - ii. Protocolo 02 - Determinación de cizallamiento paralelo
 - iii. Protocolo 03 - Determinación de la compresión paralela
 - iv. Protocolo 04 - Determinación de la compresión perpendicular
 - v. Protocolo 05 - Determinación de la flexión estática
 - vi. Protocolo 06 - Prueba de carga estática en cercha tipo Fink

4.5.2.2 Validación de instrumentos

La validación de instrumentos es el proceso mediante el cual se evalúa si un instrumento de medición cumple con su propósito de manera efectiva; valida si el instrumento mide lo que se propone medir y si proporciona resultados precisos y confiables (Medina et al. 2023).

La investigación fue validada por cinco profesionales especialistas, quienes son:

- Ing. Javier Alfredo Calero Milla
- Ing. Cesar Aldair Llerena Calla
- Ing. Juan Pablo Fernández Bolaños
- Ing. Manuel Valenzuela Sánchez
- Ing. Anthony David Romero Alcázar

4.5.2.3 Confiabilidad de los instrumentos

La confiabilidad de un instrumento se refiere a su capacidad para ofrecer resultados estables y consistentes en distintas aplicaciones. Para evaluarla, se utilizan métodos como la consistencia interna (por ejemplo, el alfa de Cronbach), la prueba-reprueba y la equivalencia de formas. Estos permiten comprobar si el instrumento mantiene su precisión en diferentes momentos o versiones (Hernández y Mendoza 2018).



En particular, el alfa de Cronbach es un indicador que mide qué tan relacionados están los ítems de un cuestionario entre sí, con el fin de verificar si todos contribuyen a medir el mismo concepto o variable, lo que refuerza la fiabilidad del instrumento. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

Donde:

- α = Coeficiente alfa de Cronbach
- K = Número de ítems del instrumento
- $\sum S_i^2$ = Sumatoria de varianzas de los ítems
- S_T^2 = Varianza total

El coeficiente de Cronbach se encuentra en el rango de 0 a 1 y se tiene la siguiente interpretación.

Tabla 30 — Valoración alfa de Cronbach

Alfa de Cronbach	Valoración
$\alpha > 0,9$	Excelente
$\alpha > 0,8$	Bueno
$\alpha > 0,7$	Aceptable
$\alpha > 0,6$	Cuestionable
$\alpha > 0,5$	Pobre
$\alpha < 0,5$	Inaceptable

De igual forma, según el cálculo realizado (ver Anexo C), la evaluación de los cuatro profesionales arrojó los siguientes resultados.

$$K = 12$$

$$\sum S_i^2 = 4$$

$$S_T^2 = 14,96$$

Entonces tenemos que:

$$\alpha = \frac{12}{12 - 1} \left[1 - \frac{4}{14,96} \right]$$

$$\alpha = 0,81$$

Como $\alpha = 0,81$, se concluye que el coeficiente de confiabilidad es **“Bueno”**.



4.6 Análisis estadístico

4.6.1 Propiedades físicas

4.6.1.1 Contenido de humedad

A partir de los datos obtenidos, se calcularon los parámetros estadísticos, incluyendo la media aritmética, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Posteriormente, se aplicó el criterio de Chauvenet para evaluar la validez de los datos.

Tabla 31 — Validación de datos (1) del contenido de humedad

Cód. Probeta	CH [%]	Chauvenet (r)	Rc = 2,24 (r < Rc)
CH - 01	11,60	0,15	Válido
CH - 02	11,50	0,05	Válido
CH - 03	12,20	1,32	Válido
CH - 04	12,40	1,71	Válido
CH - 05	10,60	1,81	Válido
CH - 06	11,60	0,15	Válido
CH - 07	11,50	0,05	Válido
CH - 08	12,10	1,12	Válido
CH - 09	11,50	0,05	Válido
CH - 10	11,40	0,24	Válido
CH - 11	11,70	0,34	Válido
CH - 12	11,60	0,15	Válido
CH - 13	12,10	1,12	Válido
CH - 14	11,60	0,15	Válido
CH - 15	11,20	0,63	Válido
CH - 16	10,80	1,42	Válido
CH - 17	11,70	0,34	Válido
CH - 18	11,60	0,15	Válido
CH - 19	10,30	2,39	Descartar
CH - 20	11,50	0,05	Válido
\bar{x}	11,53		
s^2	0,26		
s	0,51		
CV%	4,44		

Habiendo aplicado el criterio de Chauvenet se determinó que el valor de la probeta CH – 19 es atípico, de modo que debe descartarse y aplicar nuevamente el criterio a los valores válidos restantes.



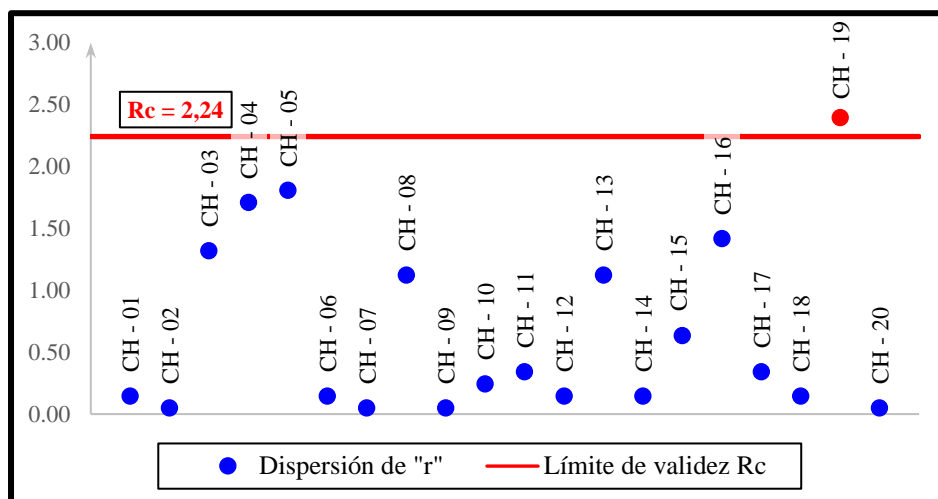


Figura 44 — Aplicación del criterio de Chauvenet (1) del CH

Tabla 32 — Validación de datos (2) del contenido de humedad

Cód. Probeta	CH [%]	Chauvenet (r)	Rc = 2,22 (r < Rc)
CH - 01	11,60	0,02	Válido
CH - 02	11,50	0,21	Válido
CH - 03	12,20	1,41	Válido
CH - 04	12,40	1,87	Válido
CH - 05	10,60	2,28	Descartar
CH - 06	11,60	0,02	Válido
CH - 07	11,50	0,21	Válido
CH - 08	12,10	1,18	Válido
CH - 09	11,50	0,21	Válido
CH - 10	11,40	0,44	Válido
CH - 11	11,70	0,25	Válido
CH - 12	11,60	0,02	Válido
CH - 13	12,10	1,18	Válido
CH - 14	11,60	0,02	Válido
CH - 15	11,20	0,90	Válido
CH - 16	10,80	1,82	Válido
CH - 17	11,70	0,25	Válido
CH - 18	11,60	0,02	Válido
CH - 19	-	-	-
CH - 20	11,50	0,21	Válido
\bar{x}	11,59		
s^2	0,19		
s	0,43		
CV%	3,75		

Luego de aplicar el criterio de Chauvenet por segunda vez, se identificó nuevamente un valor atípico dentro del conjunto de datos analizado, en consecuencia, dicho valor debe ser excluido.



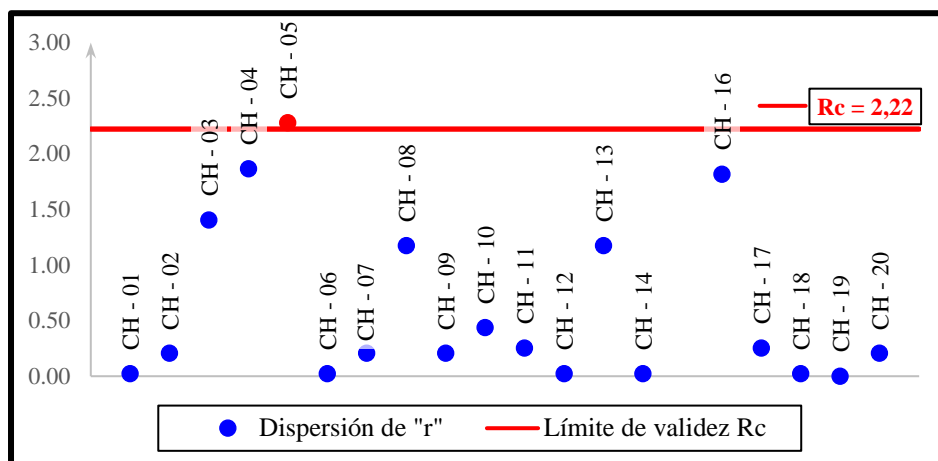


Figura 45 — Aplicación del criterio de Chauvenet (2) del CH

Tras esta exclusión, es necesario proceder con una nueva iteración del procedimiento.

Tabla 33 — Validación de datos (3) del contenido de humedad

Cód. Probeta	CH [%]	Chauvenet (r)	Rc = 2,20 (r < Rc)
CH - 01	11,60	0,02	Válido
CH - 02	11,50	0,21	Válido
CH - 03	12,20	1,41	Válido
CH - 04	12,40	1,87	Válido
CH - 05	-	-	-
CH - 06	11,60	0,02	Válido
CH - 07	11,50	0,21	Válido
CH - 08	12,10	1,18	Válido
CH - 09	11,50	0,21	Válido
CH - 10	11,40	0,44	Válido
CH - 11	11,70	0,25	Válido
CH - 12	11,60	0,02	Válido
CH - 13	12,10	1,18	Válido
CH - 14	11,60	0,02	Válido
CH - 15	11,20	0,90	Válido
CH - 16	10,80	1,82	Válido
CH - 17	11,70	0,25	Válido
CH - 18	11,60	0,02	Válido
CH - 19	-	-	-
CH - 20	11,50	0,21	Válido
\bar{x}	11,64		
s^2	0,14		
s	0,37		
CV%	3,20		

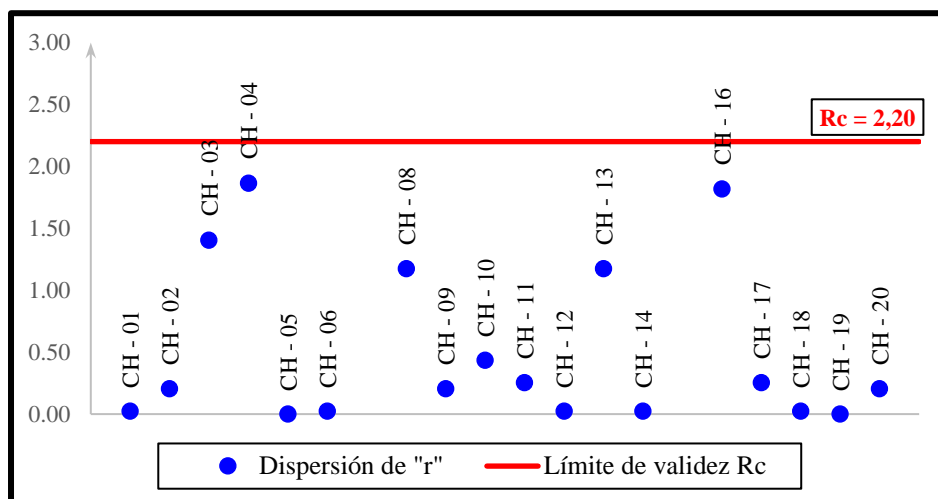


Figura 46 — Aplicación del criterio de Chauvenet (3) del CH

En la tercera aplicación del criterio de Chauvenet se obtienen todos los valores válidos, de manera que debe continuarse con el análisis estadístico.

$$IC_{1-\alpha} = \left[\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

$$L_{inf} = \bar{x} - t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$L_{sup} = \bar{x} + t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$$n = 18$$

$$t_{17; 0,025} = 2,11$$

$$- L_{inf} = \bar{x} - t_{17;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 11,64 - 2,11 \times \frac{0,37}{\sqrt{18}}$$

$$L_{inf} = 11,47 \%$$

$$- L_{sup} = \bar{x} + t_{17;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 11,64 + 2,11 \times \frac{0,37}{\sqrt{18}}$$

$$L_{sup} = 11,82 \%$$

Con los datos obtenidos de los ensayos de densidad básica se procede a aplicar el criterio de Chauvenet, obteniendo la totalidad de valores válidos como se muestra a continuación

Tabla 34 — Estadístico del contenido de humedad

Propiedad Física	Promedio	Intervalo de confianza		CV%
		Límite Inferior	Límite Superior	
C.H. [%]	11,64	11,47	11,82	3,20



4.6.1.2 Densidad básica

Con los datos obtenidos de los ensayos de densidad básica se procede a aplicar el criterio de Chauvenet, obteniendo la totalidad de valores válidos como se muestra a continuación.

Tabla 35 — Validación de datos de la densidad básica

Cód. Probeta	DB [g/cm ³]	Chauvenet (r)	K _n = 2,24 (r < K _n)
DB - 01	0,42	0,40	Válido
DB - 02	0,48	0,69	Válido
DB - 03	0,49	0,87	Válido
DB - 04	0,49	1,05	Válido
DB - 05	0,37	1,48	Válido
DB - 06	0,51	1,37	Válido
DB - 07	0,35	1,89	Válido
DB - 08	0,42	0,47	Válido
DB - 09	0,43	0,30	Válido
DB - 10	0,41	0,71	Válido
DB - 11	0,48	0,85	Válido
DB - 12	0,35	1,90	Válido
DB - 13	0,50	1,09	Válido
DB - 14	0,47	0,57	Válido
DB - 15	0,45	0,19	Válido
DB - 16	0,49	1,02	Válido
DB - 17	0,47	0,64	Válido
DB - 18	0,44	0,05	Válido
DB - 19	0,42	0,37	Válido
DB - 20	0,40	0,74	Válido
\bar{x}	0,44		
s ²	0,00		
s	0,05		
CV%	11,43		

Una vez verificados los valores válidos, se procedió a aplicar el mismo método para el cálculo de los límites del intervalo de confianza, donde el número de datos n es 20 y el valor crítico t_{19;0,025} es igual a 2,09.

$$- L_{inf} = \bar{x} - t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 0,44 - 2,09 \times \frac{0,05}{\sqrt{20}}$$

$$L_{inf} = 0,42 \text{ g/cm}^3$$

$$- L_{sup} = \bar{x} + t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 0,44 + 2,09 \times \frac{0,05}{\sqrt{20}}$$

$$L_{sup} = 0,47 \text{ g/cm}^3$$



Tabla 36 — Estadístico de la densidad básica

Propiedad Física	Promedio	Intervalo de confianza		CV%
		Límite Inferior	Límite Superior	
D.B. [g/cm ³]	0,44	0,42	0,47	11,43

4.6.2 Propiedades mecánicas

4.6.2.1 Cizallamiento paralelo al grano

Para el análisis se emplearán los mismos criterios optados para las propiedades físicas.

Tabla 37 — Validación de datos (1) de la RC por cizallamiento

Cód. Probeta	RC [kg/cm ²]	fv [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	K _n = 2,24 (r < K _n)
CZ - 01	31,19	7,80	0,56	Válido
CZ - 02	38,46	9,61	0,78	Válido
CZ - 03	33,80	8,45	0,08	Válido
CZ - 04	38,34	9,58	0,76	Válido
CZ - 05	35,61	8,90	0,25	Válido
CZ - 06	32,33	8,08	0,35	Válido
CZ - 07	43,92	10,98	1,79	Válido
CZ - 08	33,05	8,26	0,22	Válido
CZ - 09	33,78	8,45	0,08	Válido
CZ - 10	32,83	8,21	0,26	Válido
CZ - 11	29,42	7,36	0,89	Válido
CZ - 12	31,75	7,94	0,46	Válido
CZ - 13	25,96	6,49	1,53	Válido
CZ - 14	28,79	7,20	1,01	Válido
CZ - 15	49,21	12,30	2,77	Descartar
CZ - 16	32,03	8,01	0,41	Válido
CZ - 17	39,22	9,81	0,92	Válido
CZ - 18	29,97	7,49	0,79	Válido
CZ - 19	31,77	7,94	0,46	Válido
CZ - 20	33,29	8,32	0,18	Válido
\bar{x}	34,24			
s ²	29,15			
s	5,40			
CV%	15,77			



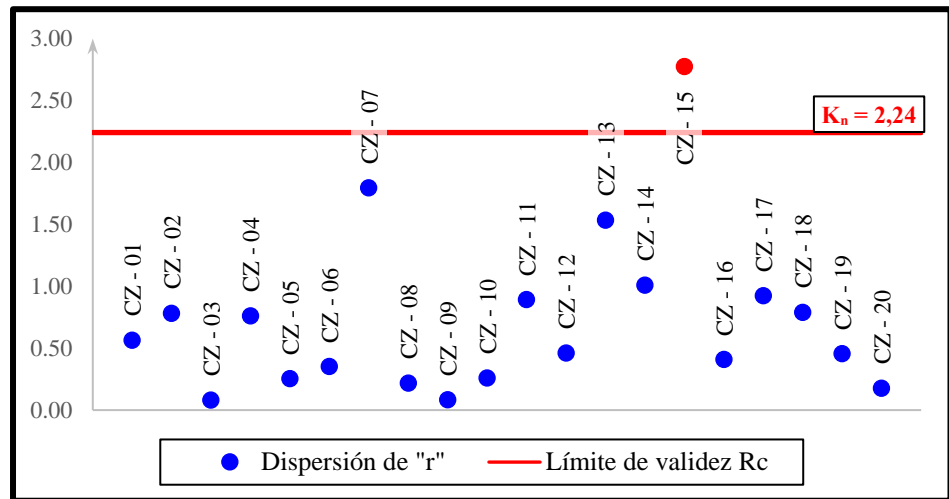


Figura 47 — Aplicación del criterio de Chauvenet (1) de la RC paralelo al grano

Tabla 38 — Validación de datos (2) de la RC por cizallamiento

Cód. Probeta	RC [kg/cm ²]	fv [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	K _n = 2,22 (r < K _n)
CZ - 01	31,19	7,80	0,54	Válido
CZ - 02	38,46	9,61	1,19	Válido
CZ - 03	33,80	8,45	0,08	Válido
CZ - 04	38,34	9,58	1,16	Válido
CZ - 05	35,61	8,90	0,52	Válido
CZ - 06	32,33	8,08	0,27	Válido
CZ - 07	43,92	10,98	2,49	Descartar
CZ - 08	33,05	8,26	0,09	Válido
CZ - 09	33,78	8,45	0,08	Válido
CZ - 10	32,83	8,21	0,15	Válido
CZ - 11	29,42	7,36	0,96	Válido
CZ - 12	31,75	7,94	0,40	Válido
CZ - 13	25,96	6,49	1,78	Válido
CZ - 14	28,79	7,20	1,11	Válido
CZ - 15	-	-	-	-
CZ - 16	32,03	8,01	0,34	Válido
CZ - 17	39,22	9,81	1,37	Válido
CZ - 18	29,97	7,49	0,83	Válido
CZ - 19	31,77	7,94	0,40	Válido
CZ - 20	33,29	8,32	0,04	Válido
\bar{x}	33,45			
s ²	17,65			
s	4,20			
CV%	12,56			



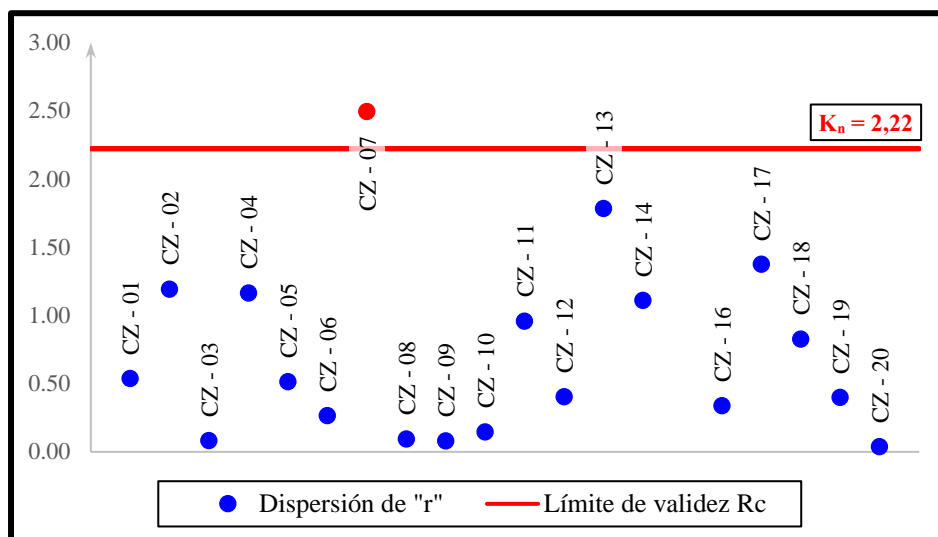


Figura 48 — Aplicación del criterio de Chauvenet (2) de la RC paralelo al grano

Tabla 39 — Validación de datos (3) de la RC por cizallamiento

Cód. Probeta	RC [kg/cm ²]	fv [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	Kn = 2,20 (r < Kn)
CZ - 01	31,19	7,80	0,54	Válido
CZ - 02	38,46	9,61	1,19	Válido
CZ - 03	33,80	8,45	0,08	Válido
CZ - 04	38,34	9,58	1,16	Válido
CZ - 05	35,61	8,90	0,52	Válido
CZ - 06	32,33	8,08	0,27	Válido
CZ - 07	-	-	-	-
CZ - 08	33,05	8,26	0,09	Válido
CZ - 09	33,78	8,45	0,08	Válido
CZ - 10	32,83	8,21	0,15	Válido
CZ - 11	29,42	7,36	0,96	Válido
CZ - 12	31,75	7,94	0,40	Válido
CZ - 13	25,96	6,49	1,78	Válido
CZ - 14	28,79	7,20	1,11	Válido
CZ - 15	-	-	-	-
CZ - 16	32,03	8,01	0,34	Válido
CZ - 17	39,22	9,81	1,37	Válido
CZ - 18	29,97	7,49	0,83	Válido
CZ - 19	31,77	7,94	0,40	Válido
CZ - 20	33,29	8,32	0,04	Válido
\bar{x}	32,87	8,22		
s ²	11,88	0,74		
s	3,45	0,86		
CV%	10,49	10,49		



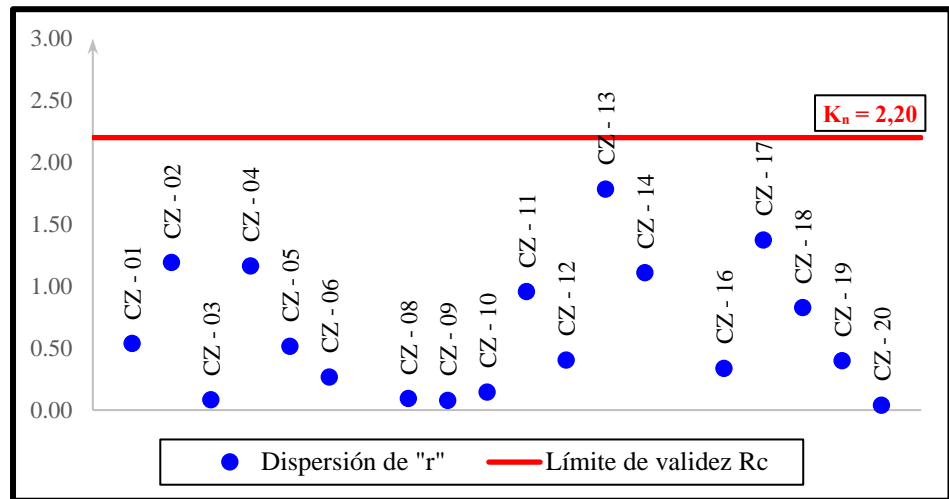


Figura 49 — Aplicación del criterio de Chauvenet (3) de la RC paralelo al grano

Tras la tercera aplicación del criterio de Chauvenet se obtienen los valores válidos, de ahí que debe continuarse con el análisis estadístico y con estos parámetros se calcula el intervalo de confianza con un nivel de confianza de 95% y los límites de confiabilidad aplicando las siguientes fórmulas:

$$IC_{1-\alpha} = \left[\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

$$L_{inf} = \bar{x} - t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$L_{sup} = \bar{x} + t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$$n = 18$$

$$t_{17;0,025} = 2,11$$

$$- L_{inf} = \bar{x} - t_{17;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 32,87 - 2,11 \times \frac{3,45}{\sqrt{18}}$$

$$L_{inf} = 31,24 \text{ kg/cm}^2$$

$$- L_{sup} = \bar{x} + t_{17;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 32,87 + 2,11 \times \frac{3,45}{\sqrt{18}}$$

$$L_{sup} = 34,49 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 40 — Estadístico del cizallamiento paralelo

Cizallamiento paralelo	CH (%)	Promedio	Intervalo de confianza		CV%
			Límite Inferior	Límite Superior	
RC [kg/cm ²]	11,33	32,87	31,24	34,49	10,49



4.6.2.2 Compresión paralela al grano

Para los ensayos de compresión paralelo al grano, se aplicaron los criterios de Chauvenet e intervalos de confianza a los valores de Esfuerzo Límite Proporcional (ELP), Resistencia Máxima (RM) y Módulo de Elasticidad (MOE).

a) Esfuerzo Límite Proporcional (ELP)

Tabla 41 — Validación de datos del ELP por compresión axial

Cód. Probeta	ELP [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	K _n = 2,24 (r < K _n)
PC // 01	318,64	0,86	Válido
PC // 02	399,72	1,09	Válido
PC // 03	414,67	1,45	Válido
PC // 04	273,85	1,94	Válido
PC // 05	315,82	0,93	Válido
PC // 06	356,01	0,04	Válido
PC // 07	433,29	1,89	Válido
PC // 08	289,92	1,55	Válido
PC // 09	337,34	0,41	Válido
PC // 10	346,13	0,20	Válido
PC // 11	323,49	0,74	Válido
PC // 12	383,93	0,71	Válido
PC // 13	386,84	0,78	Válido
PC // 14	359,51	0,12	Válido
PC // 15	355,62	0,03	Válido
PC // 16	337,95	0,40	Válido
PC // 17	317,14	0,90	Válido
PC // 18	384,04	0,71	Válido
PC // 19	395,80	0,99	Válido
PC // 20	359,78	0,13	Válido
\bar{x}	354,47		
s ²	1730,21		
s	41,60		
CV%	11,73		

Luego de aplicar el criterio de Chauvenet para identificar posibles valores atípicos dentro del conjunto de datos, se comprobó que ninguno de los valores experimentales excede el umbral estadístico establecido. Esto indica que todos los datos se encuentran dentro del rango de dispersión aceptable y, por lo tanto, pueden considerarse estadísticamente válidos.



En consecuencia, se concluye que la totalidad de los valores medidos son típicos y deben incluirse en el análisis posterior, ya que representan adecuadamente el comportamiento del sistema evaluado.

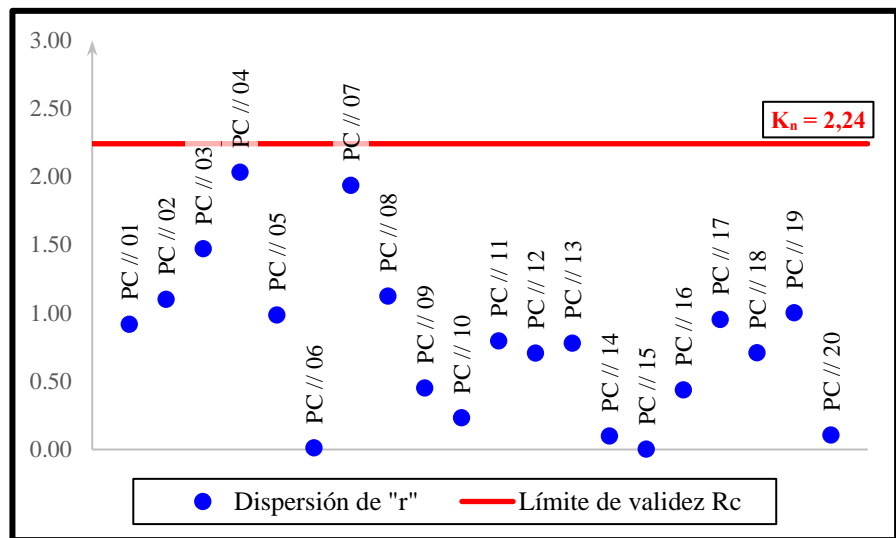


Figura 50 — Aplicación del criterio de Chauvenet del ELP por compresión axial

Una vez validado todos los datos del análisis se procede a calcular el intervalo de confianza con un nivel de confianza de 95% y los límites de confiabilidad aplicando las siguientes fórmulas:

$$IC_{1-\alpha} = \left[\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

$$L_{inf} = \bar{x} - t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$L_{sup} = \bar{x} + t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$$n = 20$$

$$t_{19;0,025} = 2,09$$

$$- L_{inf} = \bar{x} - t_{17;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 354,47 - 2,09 \times \frac{41,60}{\sqrt{20}}$$

$$L_{inf} = 335,01 \text{ kg/cm}^2$$

$$- L_{sup} = \bar{x} + t_{17;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 354,47 + 2,09 \times \frac{41,60}{\sqrt{20}}$$

$$L_{sup} = 373,94 \text{ kg/cm}^2$$



b) **Resistencia Máxima (RM)**

Tabla 42 — Validación de datos de la RM por compresión axial

Cód. Probeta	ELP [kg/cm ²]	fc // [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	K _n = 2,24 (r < K _n)
PC // 01	375,00	187,50	0,85	Válido
PC // 02	432,99	216,49	0,55	Válido
PC // 03	453,48	226,74	1,04	Válido
PC // 04	358,29	179,14	1,25	Válido
PC // 05	376,50	188,25	0,81	Válido
PC // 06	387,96	193,98	0,53	Válido
PC // 07	489,62	244,81	1,91	Válido
PC // 08	349,10	174,55	1,47	Válido
PC // 09	378,14	189,07	0,77	Válido
PC // 10	400,22	200,11	0,24	Válido
PC // 11	366,05	183,02	1,06	Válido
PC // 12	450,79	225,39	0,98	Válido
PC // 13	440,18	220,09	0,72	Válido
PC // 14	468,22	234,11	1,39	Válido
PC // 15	381,84	190,92	0,68	Válido
PC // 16	386,38	193,19	0,57	Válido
PC // 17	390,92	195,46	0,46	Válido
PC // 18	463,12	231,56	1,27	Válido
PC // 19	447,01	223,50	0,88	Válido
PC // 20	408,20	204,10	0,05	Válido
\bar{x}	410,20	205,10		
s ²	1731,07	432,77		
s	41,61	20,80		
CV%	10,14	10,14		

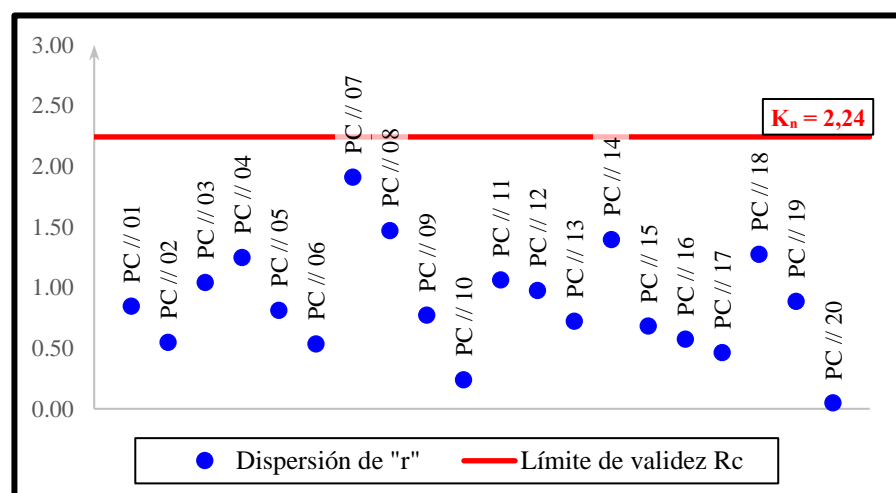


Figura 51 — Aplicación del criterio de Chauvenet de la RM por compresión axial



Habiéndose validado todos los datos del análisis, se procede a calcular el intervalo de confianza para los 20 datos y con un valor crítico $t_{19;0,025}=2,09$ con un nivel de confianza de 95 % y los límites de confiabilidad aplicando las siguientes fórmulas:

$$L_{inf} = \bar{x} - t_{17;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 410,20 - 2,09 \times \frac{41,61}{\sqrt{19}}$$

$$L_{inf} = 390,73 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_{sup} = \bar{x} + t_{17;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 410,20 + 2,09 \times \frac{41,61}{\sqrt{19}}$$

$$L_{sup} = 429,67 \text{ kg/cm}^2$$

c) **Módulo de Elasticidad (MOE)**

Tabla 43 — Validación de datos del MOE por compresión axial

Cód. Probeta	MOE [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	K _n = 2,24 (r < K _n)
PC // 01	31843,13	1,60	Válido
PC // 02	44819,14	0,12	Válido
PC // 03	55064,01	1,48	Válido
PC // 04	53234,03	1,24	Válido
PC // 05	49713,43	0,77	Válido
PC // 06	40165,93	0,50	Válido
PC // 07	50167,14	0,83	Válido
PC // 08	33113,91	1,43	Válido
PC // 09	33252,39	1,41	Válido
PC // 10	46162,06	0,30	Válido
PC // 11	42243,23	0,22	Válido
PC // 12	50414,86	0,86	Válido
PC // 13	50799,49	0,91	Válido
PC // 14	41212,22	0,36	Válido
PC // 15	39772,76	0,55	Válido
PC // 16	38031,20	0,78	Válido
PC // 17	50609,27	0,89	Válido
PC // 18	50877,88	0,92	Válido
PC // 19	45196,45	0,17	Válido
PC // 20	31494,18	1,65	Válido
\bar{x}	43909,33		
s ²	56873563,75		
s	7541,46		
CV%	17,18		

Aplicando el criterio de Chauvenet aleatoriamente al módulo de elasticidad de la probeta PC // 07 tenemos que:



$$r = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s}$$

$$r = \frac{|50167,14 - 43909,33|}{7541,46}$$

$$r = 0,83 < K_{20}=2,24$$

Tras aplicar el criterio de Chauvenet a los valores del Módulo de Elasticidad, se verificó que la probeta PC // 07, al igual que el resto de las probetas evaluadas, cumple con los criterios establecidos, por lo que no se identificaron valores atípicos.

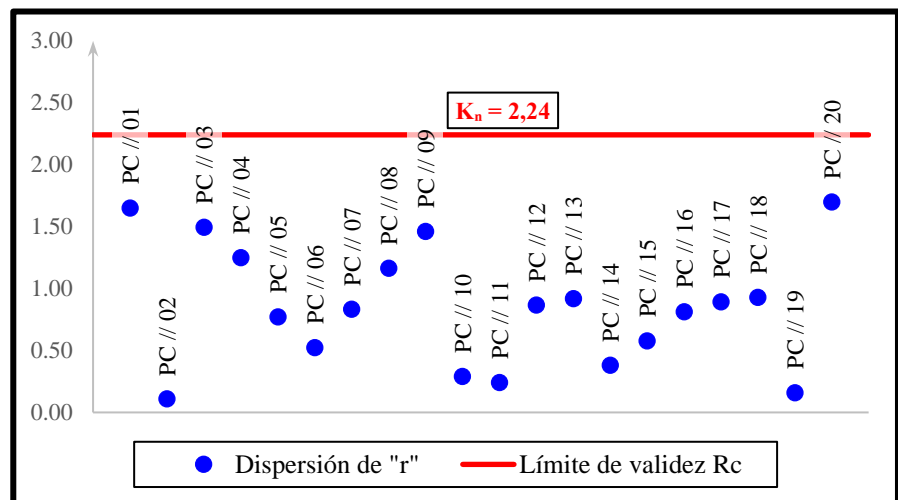


Figura 52 — Dispersión del criterio de Chauvenet del MOE por compresión axial

Una vez validados todos los datos del análisis, se procede al cálculo del intervalo de confianza al 95 %, así como de sus respectivos límites de confiabilidad, aplicando las siguientes fórmulas:

$$L_{inf} = \bar{x} - t_{n-1,\alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$L_{sup} = \bar{x} + t_{n-1,\alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$$n = 20$$

$$t_{19;0,025}=2,09$$

$$- L_{inf} = \bar{x} - t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 43909,33 - 2,09 \times \frac{7541,46}{\sqrt{20}}$$

$$L_{inf} = 40379,87 \text{ kg/cm}^2$$

$$- L_{sup} = \bar{x} + t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 43909,33 + 2,09 \times \frac{7541,46}{\sqrt{20}}$$

$$L_{sup} = 47438,80 \text{ kg/cm}^2$$



Tabla 44 — Estadístico de la compresión paralela

Compresión paralela	CH [%]	Promedio	Intervalo de confianza		CV%
			Límite Inferior	Límite Superior	
ELP [kg/cm ²]	12,07	354,47	335,01	373,94	11,73
RM [kg/cm ²]		410,20	390,73	429,67	10,14
MOE [kg/cm ²]		43909,33	40379,87	47438,80	17,18

4.6.2.3 Compresión perpendicular al grano

Luego de haber realizado los ensayos de compresión en dirección perpendicular al grano se obtuvo el Esfuerzo Límite Proporcional de cada probeta, como se muestra a continuación.

Tabla 45 — Validación de datos del ELP por compresión perpendicular

Cód. Probeta	ELP [kg/cm ²]	$f_{c\perp}$ [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	$K_n = 2,24$ (r < K_n)
PC \perp 01	83,77	52,36	0,41	Válido
PC \perp 02	95,78	59,86	0,57	Válido
PC \perp 03	108,87	68,04	1,64	Válido
PC \perp 04	77,39	48,37	0,93	Válido
PC \perp 05	98,79	61,74	0,82	Válido
PC \perp 06	84,51	52,82	0,35	Válido
PC \perp 07	71,32	44,57	1,43	Válido
PC \perp 08	79,86	49,91	0,73	Válido
PC \perp 09	97,92	61,20	0,74	Válido
PC \perp 10	100,68	62,92	0,97	Válido
PC \perp 11	67,91	42,44	1,71	Válido
PC \perp 12	86,97	54,35	0,15	Válido
PC \perp 13	97,70	61,06	0,73	Válido
PC \perp 14	103,39	64,62	1,19	Válido
PC \perp 15	85,39	53,37	0,28	Válido
PC \perp 16	102,22	63,89	1,10	Válido
PC \perp 17	70,61	44,13	1,48	Válido
PC \perp 18	100,67	62,92	0,97	Válido
PC \perp 19	80,21	50,13	0,70	Válido
PC \perp 20	82,02	51,26	0,55	Válido
\bar{x}	88,80	55,50		
s^2	149,99	58,59		
s	12,25	7,65		
CV%	13,79	13,79		

Luego de aplicar el criterio de Chauvenet a los valores del Esfuerzo Límite Proporcional, se constató que todas las probetas analizadas cumplen con



los criterios establecidos, sin evidenciarse valores atípicos. En consecuencia, la totalidad de los datos fue considerada válida para su inclusión en el análisis.

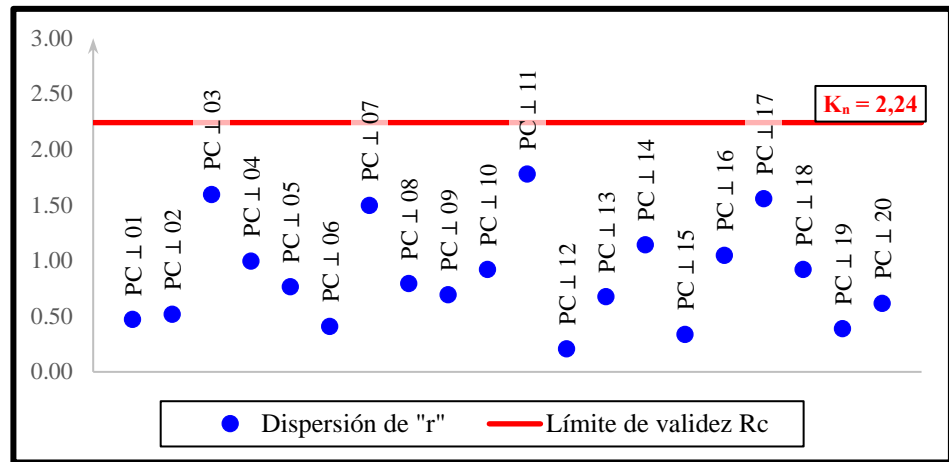


Figura 53 — Aplicación del criterio de Chauvenet del ELP por compresión perpendicular

Una vez validados todos los datos del análisis, se procedió al cálculo del intervalo de confianza al 95 % para el conjunto de 20 observaciones, utilizando el valor crítico correspondiente a $t_{19;0,025} = 2,09$. A continuación, se determinaron los límites de confiabilidad mediante la aplicación de las siguientes fórmulas:

$$L_{inf} = \bar{x} - t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 88,80 - 2,09 \times \frac{12,25}{\sqrt{20}}$$

$$L_{inf} = 83,07 \text{ kg/cm}^2$$

$$L_{sup} = \bar{x} + t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 88,80 + 2,09 \times \frac{12,25}{\sqrt{20}}$$

$$L_{sup} = 94,53 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 46 — Estadístico de la compresión perpendicular

Compresión perpendicular	CH (%)	Promedio	Intervalo de confianza		CV%
			Límite Inferior	Límite Superior	
ELP [kg/cm ²]	11,53	88,80	83,07	94,53	13,79

4.6.2.4 Flexión estática

Los valores de Esfuerzo Límite Proporcional (ELP), Módulo de Ruptura (MOR) y Módulo de Elasticidad (MOE), obtenidos a partir de los ensayos de flexión estática, fueron evaluados aplicando el criterio de Chauvenet para la detección de valores atípicos, así como el cálculo de intervalos de confianza.



a) Esfuerzo Límite Proporcional (ELP)

Tabla 47 — Validación de datos del ELP por flexión estática

Cód. Probeta	ELP [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	Kn = 2,24 (r < Kn)
FL - 01	410,02	1,23	Válido
FL - 02	579,23	0,79	Válido
FL - 03	459,22	0,64	Válido
FL - 04	525,40	0,15	Válido
FL - 05	513,85	0,01	Válido
FL - 06	438,56	0,89	Válido
FL - 07	555,15	0,50	Válido
FL - 08	639,50	1,51	Válido
FL - 09	424,20	1,06	Válido
FL - 10	540,74	0,33	Válido
FL - 11	414,44	1,18	Válido
FL - 12	549,09	0,43	Válido
FL - 13	572,06	0,71	Válido
FL - 14	610,61	1,17	Válido
FL - 15	457,52	0,66	Válido
FL - 16	500,33	0,15	Válido
FL - 17	592,39	0,95	Válido
FL - 18	666,59	1,84	Válido
FL - 19	369,07	1,72	Válido
FL - 20	442,70	0,84	Válido
\bar{x}	513,03		
s ²	6991,33		
s	83,61		
CV%	16,30		

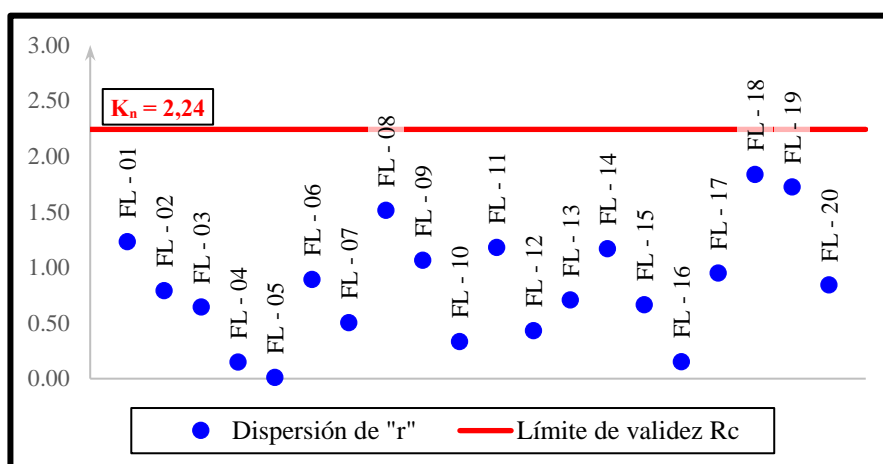


Figura 54 — Dispersión del criterio de Chauvenet del ELP por flexión estática

Como los 20 datos son válidos, se consideran 19 grados de libertad y el factor $t_{0,025}$ igual a 2,09 para determinar los valores del intervalo de confianza.

$$IC_{1-\alpha} = \left[\bar{x} \pm t_{n-1,\alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

Entonces tenemos que:

$$- L_{\text{inf}} = \bar{x} - t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 513,03 - 2,09 \times \frac{83,61}{\sqrt{20}}$$

$$L_{\text{inf}} = 473,90 \text{ kg/cm}^2$$

$$- L_{\text{sup}} = \bar{x} + t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 513,03 + 2,09 \times \frac{83,61}{\sqrt{20}}$$

$$L_{\text{sup}} = 552,17 \text{ kg/cm}^2$$

b) Módulo de Ruptura (MOR)

Tabla 48 — Análisis estadístico del MOR por flexión estática

Cód. Probeta	MOR [kg/cm ²]	fm [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	Kn = 2,24 (r < Kn)
FL - 01	592,80	185,57	1,28	Válido
FL - 02	811,58	254,06	0,89	Válido
FL - 03	626,21	196,03	0,95	Válido
FL - 04	714,01	223,52	0,08	Válido
FL - 05	789,50	247,15	0,67	Válido
FL - 06	679,77	212,80	0,42	Válido
FL - 07	779,28	243,95	0,57	Válido
FL - 08	814,49	254,97	0,91	Válido
FL - 09	569,64	178,32	1,50	Válido
FL - 10	755,12	236,39	0,33	Válido
FL - 11	621,67	194,61	0,99	Válido
FL - 12	692,08	216,65	0,30	Válido
FL - 13	828,07	259,22	1,05	Válido
FL - 14	838,09	262,36	1,15	Válido
FL - 15	687,80	215,31	0,34	Válido
FL - 16	717,66	224,66	0,04	Válido
FL - 17	862,22	269,91	1,39	Válido
FL - 18	872,84	273,24	1,49	Válido
FL - 19	538,84	168,68	1,81	Válido
FL - 20	647,54	202,71	0,73	Válido
\bar{x}	721,96	226,00		
s^2	10254,32	1004,88		
s	101,26	31,70		
CV%	14,03	14,03		



Aplicando el criterio de Chauvenet aleatoriamente al módulo de resistencia de la probeta FL - 05 tenemos que:

$$r = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s} = \frac{|789,50 - 721,96|}{101,26}$$

$$r = 0,67 < K_{20}=2,24$$

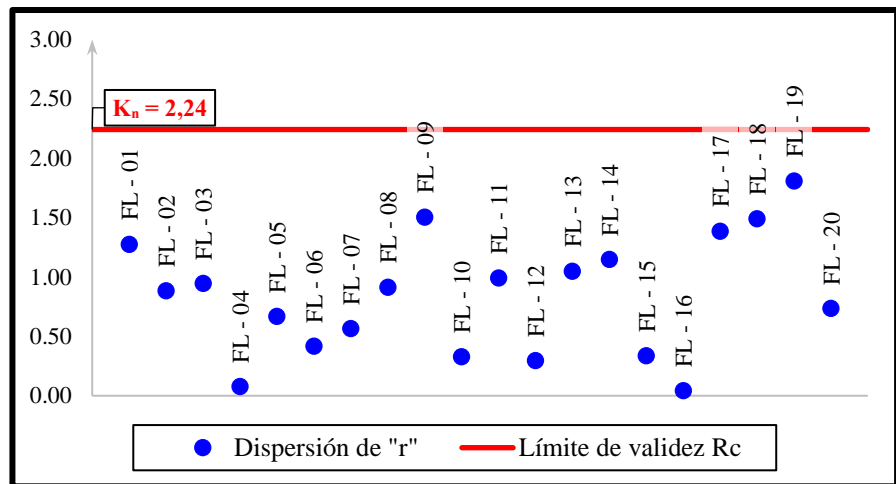


Figura 55 — Dispersión del criterio de Chauvenet del MOR por flexión estática

Validados todos los datos del análisis, se procedió al cálculo del intervalo de confianza al 95 % para las 20 observaciones, empleando el valor crítico correspondiente a $t_{19;0,025} = 2,09$. Seguidamente, se determinaron los límites de confianza aplicando las siguientes fórmulas:

$$IC_{1-\alpha} = \left[\bar{x} \pm t_{n-1,\alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

Entonces tenemos que:

$$- L_{\text{inf}} = \bar{x} - t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 721,96 - 2,09 \times \frac{101,26}{\sqrt{20}}$$

$$L_{\text{inf}} = 674,57 \text{ kg/cm}^2$$

$$- L_{\text{sup}} = \bar{x} + t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}} = 721,96 + 2,09 \times \frac{101,26}{\sqrt{20}}$$

$$L_{\text{sup}} = 769,35 \text{ kg/cm}^2$$

c) Módulo de Elasticidad (MOE)

Con los valores del Módulo de Elasticidad obtenidos tras los ensayos, se llevó a cabo el análisis estadístico, determinando la media aritmética, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Seguidamente se aplicó el criterio de Chauvenet para validar los siguientes valores.



Tabla 49 — Análisis estadístico del MOE por flexión estática

Cód. Probeta	MOE [kg/cm ²]	Chauvenet (r)	Kn = 2,24 (r < Kn)
FL - 01	74228,49	1,67	Válido
FL - 02	117006,45	0,83	Válido
FL - 03	90791,85	0,70	Válido
FL - 04	93141,39	0,56	Válido
FL - 05	103012,25	0,01	Válido
FL - 06	101572,59	0,07	Válido
FL - 07	113881,04	0,65	Válido
FL - 08	115058,25	0,72	Válido
FL - 09	84869,46	1,05	Válido
FL - 10	109716,50	0,40	Válido
FL - 11	93277,75	0,56	Válido
FL - 12	85073,03	1,04	Válido
FL - 13	133082,57	1,77	Válido
FL - 14	121104,07	1,07	Válido
FL - 15	102772,41	0,00	Válido
FL - 16	100461,99	0,14	Válido
FL - 17	118994,43	0,95	Válido
FL - 18	132888,81	1,76	Válido
FL - 19	80723,21	1,29	Válido
FL - 20	84339,15	1,08	Válido
\bar{x}	102799,78		
s^2	292517284,78		
s	17103,14		
CV%	16,64		

Aplicando el criterio de Chauvenet al valor del módulo de módulo de elasticidad de la probeta FL - 16, se verificó que dicho valor, al igual que el resto del conjunto de datos se encuentra dentro del rango aceptable. Por lo tanto, todos los valores fueron considerados válidos para el análisis.

$$r = \frac{|x_i - \bar{x}|}{s}$$

$$r = \frac{|100461,99 - 102799,78|}{17103,14}$$

$$r = 0,14 < K_{20}=2,24$$

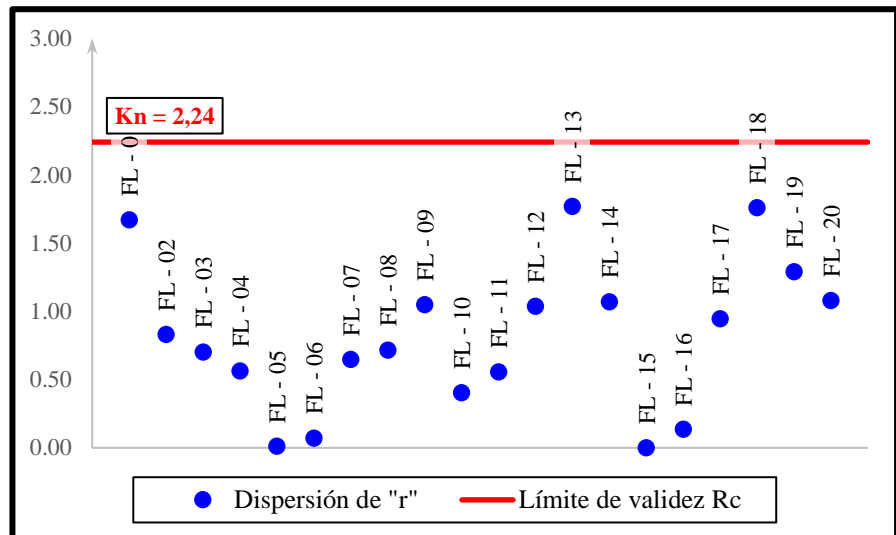


Figura 56 — Aplicación del criterio de Chauvenet del MOE por flexión estática

Del análisis determinamos que todos los valores son típicos y deben ser considerados para calcular el intervalo de confianza, teniendo en cuenta que se cuenta con 20 valores válidos, 19 grados de libertad y $t_{0,025}$ igual a 2,09, los límites son:

$$IC_{1-\alpha} = \left[\bar{x} \pm t_{n-1, \alpha/2} \times \frac{s}{\sqrt{n}} \right]$$

Entonces tenemos que:

$$- L_{inf} = \bar{x} - t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$L_{inf} = 102799,78 - 2,09 \times \frac{17103,14}{\sqrt{20}}$$

$$L_{inf} = 94795,36 \text{ kg/cm}^2$$

$$- L_{sup} = \bar{x} + t_{19;0,025} \times \frac{s}{\sqrt{n}}$$

$$L_{sup} = 102799,78 + 2,09 \times \frac{17103,14}{\sqrt{20}}$$

$$L_{sup} = 110804,21 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 50 — Estadístico de la compresión paralela

Compresión paralela	CH [%]	Promedio	Intervalo de confianza		CV%
			Límite Inferior	Límite Superior	
ELP (kg/cm ²)	11,68	513,03	473,90	552,17	16,30
MOR (kg/cm ²)		721,96	674,57	769,35	14,03
MOE (kg/cm ²)		102799,78	94795,36	110804,21	16,64



4.6.3 Prueba de carga

Para el análisis estadístico de las pruebas de carga, se consideraron las deformaciones verticales medidas en el punto medio de la cuerda inferior de la cercha, correspondientes a la deflexión máxima experimentada por la estructura. Esta medición se realizó bajo la aplicación de una carga estática uniaxial equivalente de 400 kg, centrada en el nodo superior de la cercha, replicando las condiciones de carga más críticas según el diseño estructural.

Tabla 51 — Datos obtenidos de la prueba de carga

Código	Deformación máxima [cm]
PROTOTIPO - 01	0,35
PROTOTIPO - 02	0,41
PROTOTIPO - 03	0,28
\bar{x}	0,35
s^2	0,004
s	0,06
CV%	17,62

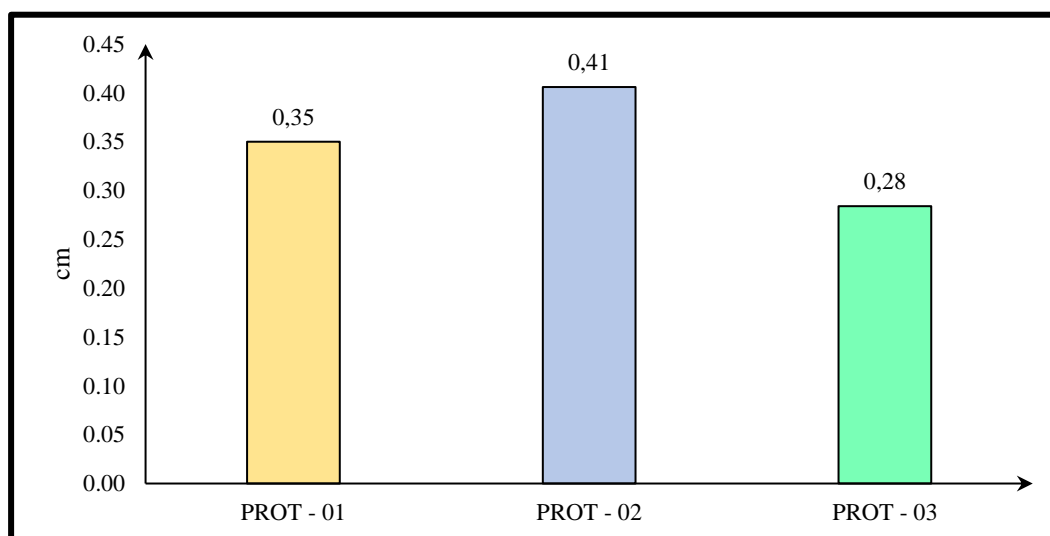


Figura 57 — Deflexión máxima registrada en los prototipos durante la prueba de carga

Con los datos obtenidos de los ensayos de prueba de carga, en esta etapa del análisis, se calcularon los principales parámetros estadísticos descriptivos, como la media, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación, con el propósito de evaluar la dispersión y consistencia de los resultados obtenidos.



CAPÍTULO V RESULTADOS Y DISCUSIONES

5.1 Análisis de resultados

5.1.1 Resultado de las propiedades físicas

Tabla 52 — Resultados de las propiedades físicas

Propiedades físicas	Promedio	Intervalo de confianza		CV [%]
		Límite Inferior	Límite Superior	
Contenido de Humedad				
- C.H. [%]	11,64	11,47	11,82	3,20
Densidad Básica				
- D.B. [g/cm ³]	0,44	0,42	0,47	11,43

5.1.2 Resultado de las propiedades mecánicas

Tabla 53 — Resultados de las propiedades mecánicas

Propiedades mecánicas	CH [%]	Promedio	Intervalo de confianza		Desv. estándar	CV [%]
			Límite Inferior	Límite Superior		
Cizallamiento o corte paralelo al grano						
- RC [kg/cm ²]	11,33	32,87	31,24	34,49	3,45	10,49
Compresión paralela al grano						
- ELP [kg/cm ²]	12,07	355,49	336,70	374,29	41,60	11,30
- RM [kg/cm ²]		410,20	390,73	429,67	41,61	10,14
- MOE [kg/cm ²]		44025,74	40570,73	47480,74	7541,46	16,77
Compresión perpendicular al grano						
- ELP [kg/cm ²]	11,53	88,80	83,07	94,53	12,25	13,79
Flexión estática						
- ELP [kg/cm ²]	11,68	513,03	473,90	552,17	83,61	16,30
- MOR [kg/cm ²]		721,96	674,57	769,35	101,26	14,03
- MOE [kg/cm ²]		102799,78	94795,36	110804,21	17103,14	16,64

Distintos autores afirman que, la resistencia a la tracción es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela, por lo que en la presente investigación tomaremos que:

$$\text{Esfuerzo de tracción paralela} = \text{Esfuerzo de rotura} = 2 \times 410,20 \text{ kg}$$

$$\text{Esfuerzo de tracción paralela} = \text{Esfuerzo de rotura} = 820,40 \text{ kg}$$

Para la determinación de los esfuerzos admisibles del material, se utilizó la fórmula establecida por la Norma Técnica E.010 “Madera”:

$$\text{Esfuerzo admisible} = \frac{F.C. \times F.T.}{F.S. \times F.D.C} \times \text{Esfuerzo último}$$

Donde se ha considerado el esfuerzo último lo siguiente:

a) Flexión: Módulo de Rotura

$$f_{c//} = \frac{0,80 \times 0,90}{2,00 \times 1,15} \times 721,96$$

$$f_m = 226,00 \text{ kg/cm}^2$$

b) Tracción paralela: Esfuerzo de rotura

$$f_t = 70 \% \times \frac{0,80 \times 0,90}{2,00 \times 1,15} \times 820,40$$

$$f_t = 179,77 \text{ kg/cm}^2$$

c) Compresión paralela: Resistencia Máxima

$$f_{c//} = \frac{1,00 \times 1,00}{1,60 \times 1,25} \times 410,20$$

$$f_{c//} = 205,10 \text{ kg/cm}^2$$

d) Compresión perpendicular: Esfuerzo al Límite Proporcional

$$f_{c\perp} = \frac{1,00 \times 1,00}{1,60 \times 1,00} \times 88,80$$

$$f_{c\perp} = 55,50 \text{ kg/cm}^2$$

e) Cizallamiento o corte paralelo: Resistencia al cizallamiento

$$f_v = \frac{1,00 \times 1,00}{4,00 \times 1,00} \times 32,87$$

$$f_v = 8,22 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla 54 — Resultado de los esfuerzos admisibles

Esfuerzos Admisibles [kg/cm ²]				
Flexión <i>f_m</i>	Tracción Paralela <i>f_t</i>	Compresión Paralela <i>f_{c//}</i>	Compresión Perpendicular <i>f_{c⊥}</i>	Corte Paralelo <i>f_v</i>
226,00	179,77	205,10	55,50	8,22



Tabla 55 — Resultado del módulo de elasticidad

Módulo de elasticidad (E) [kg/cm ²]	
E _{min}	E _{prom}
74228,49	102799,78

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos físicos y mecánicos realizados en laboratorio, se procedió a clasificar la madera *Cedrelinga catenaeformis* conforme a los criterios establecidos en la Norma Técnica E.010.

Tabla 56 — Clasificación de las propiedades físicas

Grupo	Densidad Básica [g/cm ³]
Norma Técnica E.010	
A	≥ 0,71
B	0,56 a 0,70
C	0,40 a 0,55
D	0,36 a 0,39
Madera Tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>)	
	0,44
CLASE	C

Tabla 57 — Clasificación de las propiedades mecánicas

Grupo	Esfuerzos admisibles [kg/cm ²]				
	Flexión f_m	Tracción Paralela f_t	Compresión Paralela $f_c //$	Compresión Perpendicular $f_{c\perp}$	Corte Paralelo f_v
Norma Técnica E.010					
A	210,00	145,00	145,00	40,00	15,00
B	150,00	105,00	110,00	28,00	12,00
C	100,00	75,00	80,00	15,00	8,00
D	70,00	60,00	63,00	13,00	6,00
Madera Tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>)					
	226,00	179,77	205,10	55,50	8,22
CLASE	A	A	A	A	C

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos físicos y mecánicos realizados en laboratorio, se procedió a clasificar la madera *Cedrelinga catenaeformis* conforme a los criterios establecidos en la Norma Técnica E.010.



Tabla 58 — Clasificación del módulo de elasticidad

Grupo	Módulo de elasticidad (E) [kg/cm ²]	
	E _{min}	E _{prom}
Norma Técnica E.010		
A	95000	130000
B	75000	100000
C	55000	90000
D	45000	65000
Madera Tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>)		
	74228,49	102799,78
CLASE	C	B

5.1.3 Resultado del diseño de la cercha

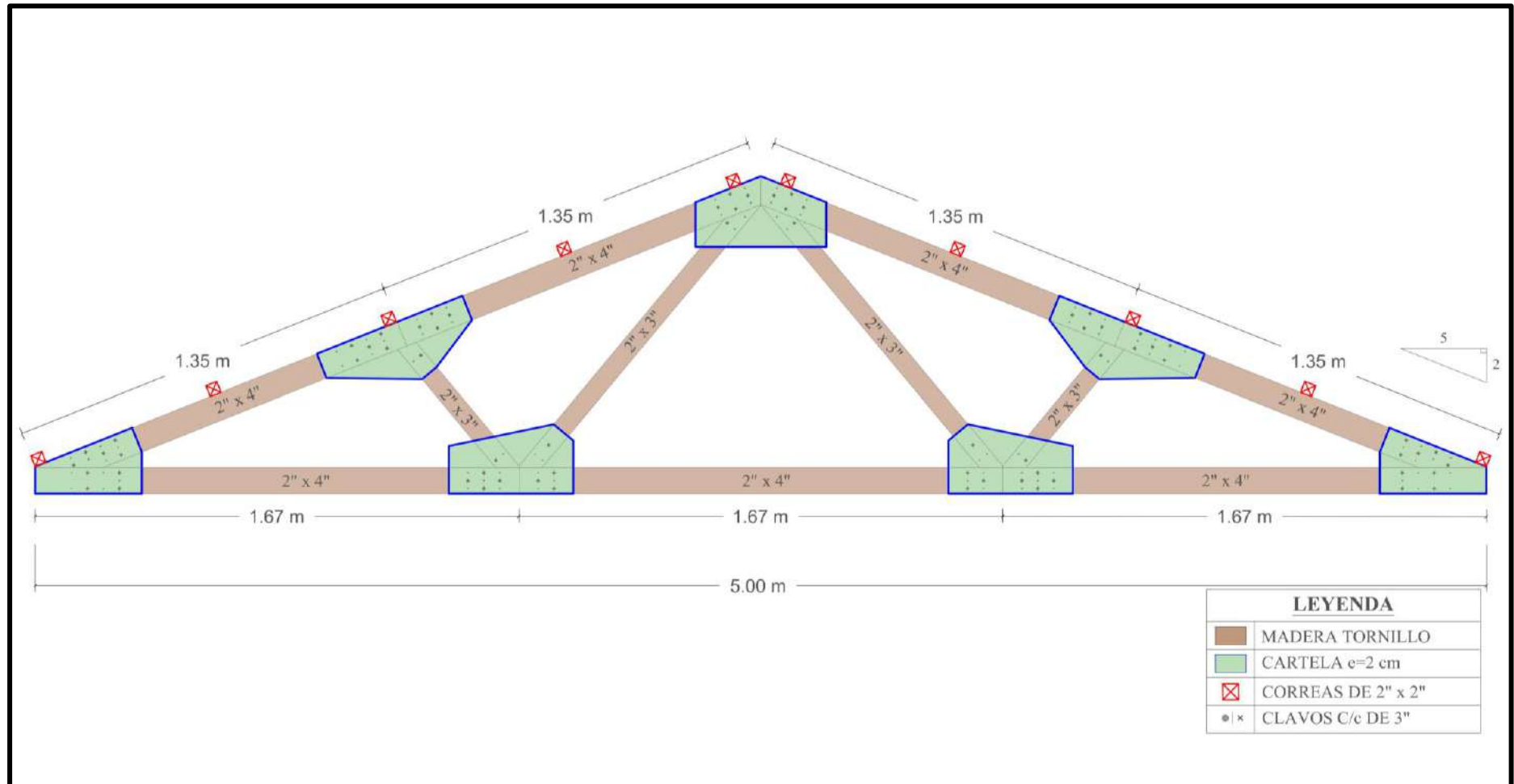


Figura 58 — Cercha tipo Fink

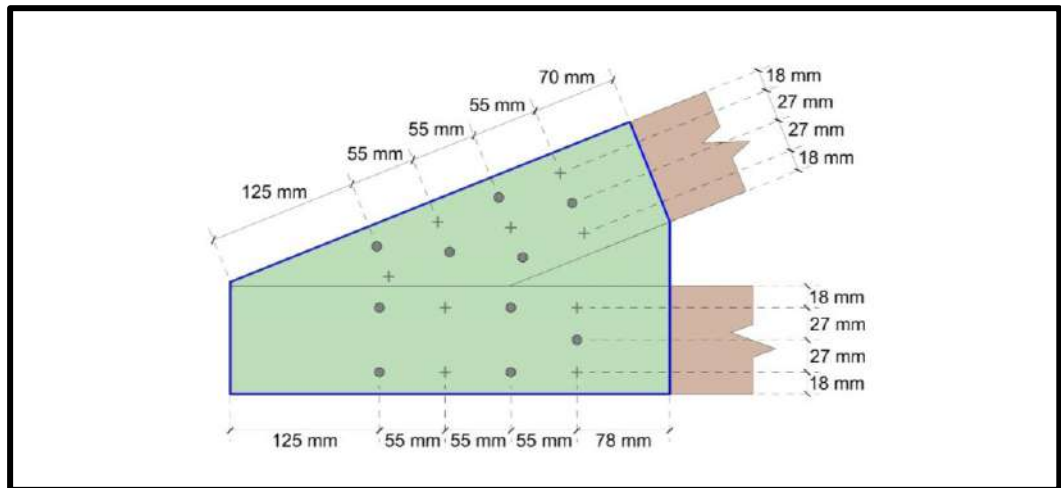


Figura 59 — Configuración de unión en el nodo A

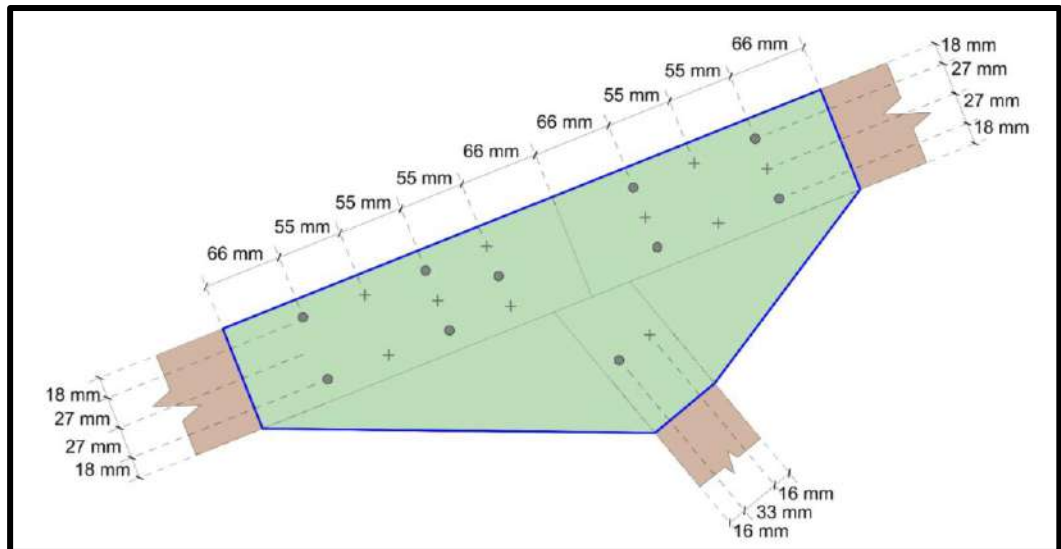


Figura 60 — Configuración de unión en el nodo B

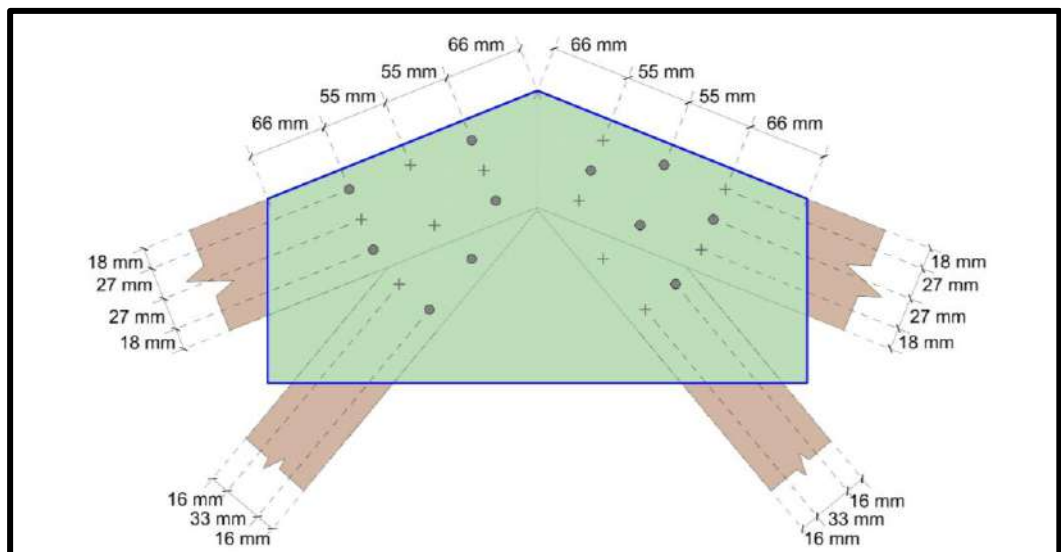


Figura 61 — Configuración de unión en el nodo C

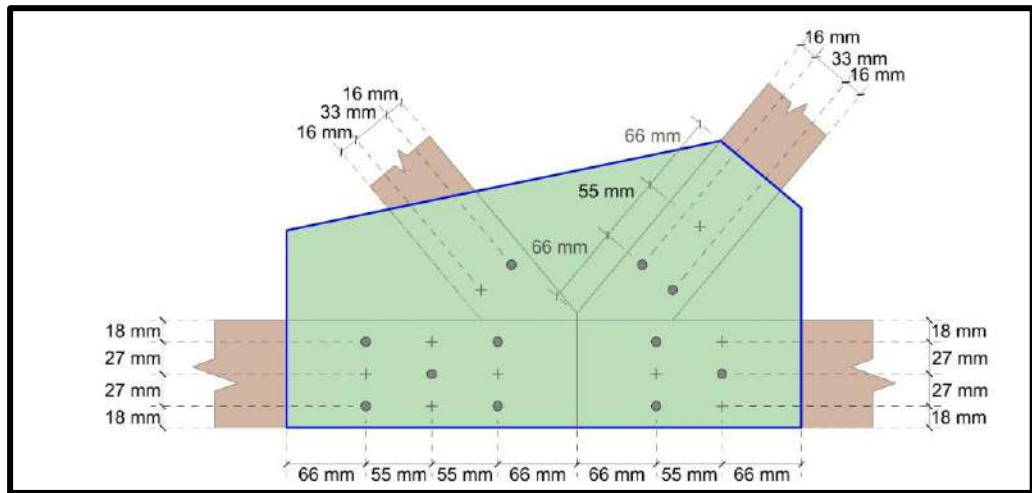


Figura 62 — Configuración de unión en el nodo D

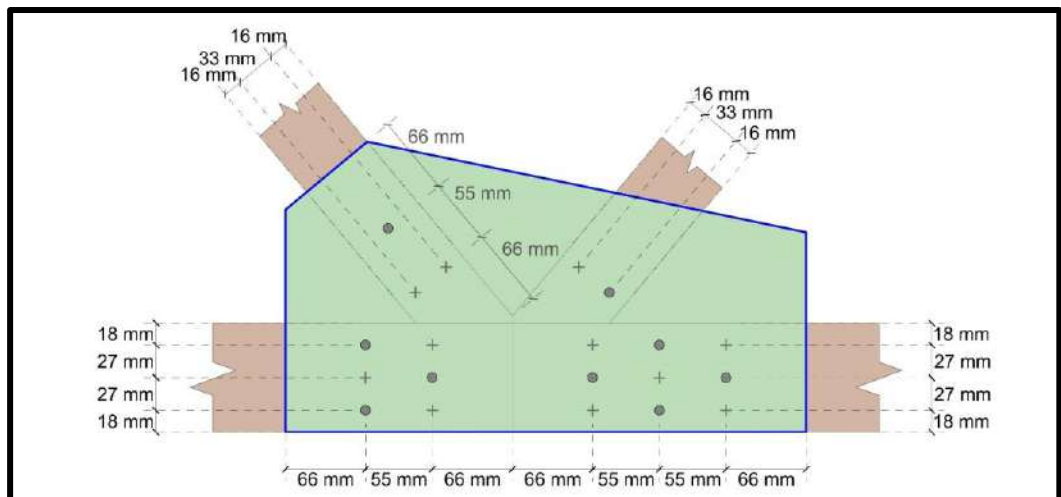


Figura 63 — Configuración de unión en el nodo E

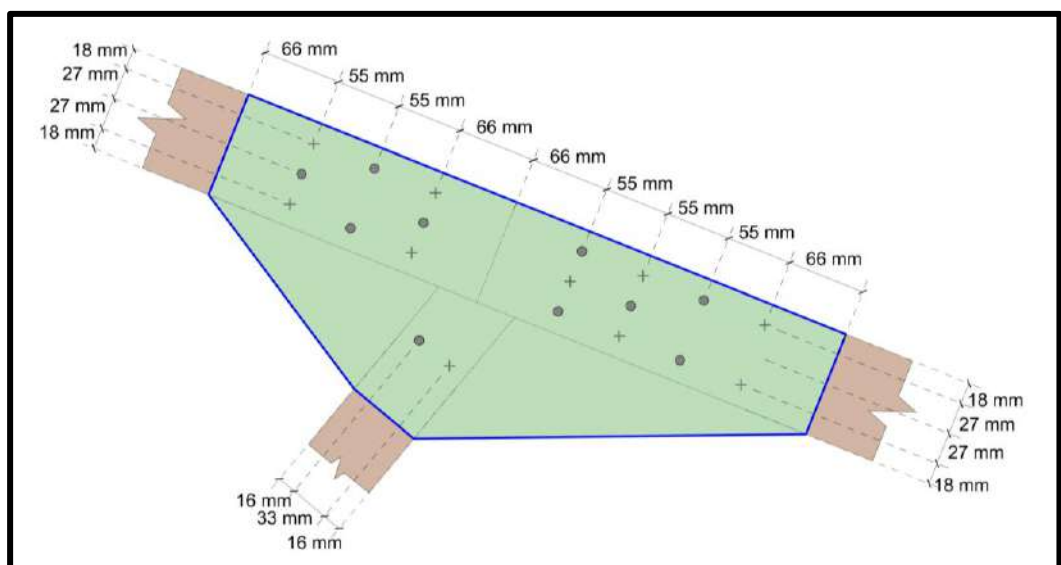


Figura 64 — Configuración de unión en el nodo F

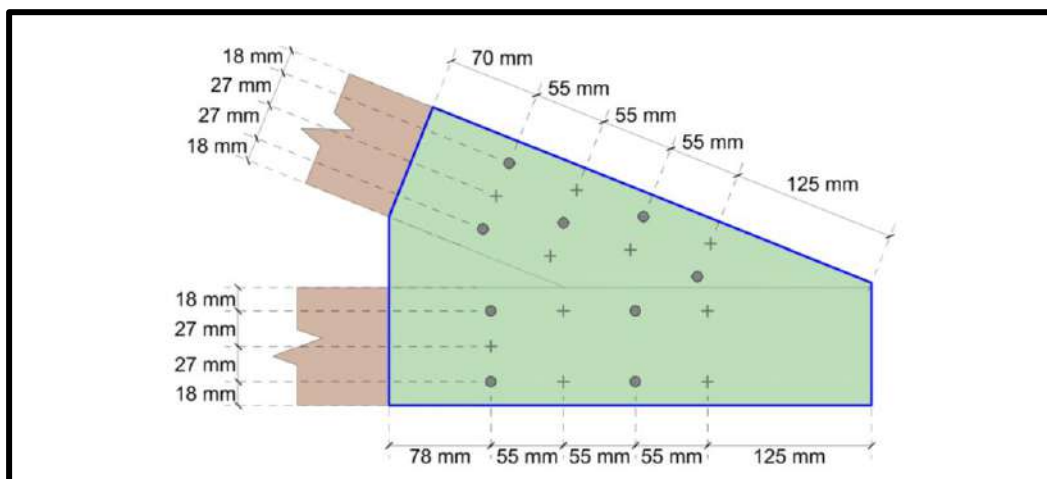


Figura 65 — Configuración de unión en el nodo G

Cabe mencionar que el símbolo “●” representan a los clavos insertados desde un lado de la cercha, mientras que el símbolo “+” corresponde a los clavos insertados desde el lado contrario.

5.1.4 Resultado de las pruebas de carga

Tabla 59 — Resultado de las pruebas de carga

Código	Deflexión máxima [cm]
PROTOTIPO - 01	0,35
PROTOTIPO - 02	0,41
PROTOTIPO - 03	0,28
\bar{x}	0,35
s	0,06
CV%	17,62

El prototipo 01 registró una deflexión máxima de 0,35 cm, mientras que el prototipo 02 alcanzó una deflexión de 0,41 cm, siendo esta la mayor entre las muestras. Por otro lado, el prototipo 03 presentó la menor deflexión, con un valor de 0,28 cm.

A partir de estos datos, se calculó un promedio de deflexión máxima (\bar{x}) de 0,35 cm, una desviación estándar (s) de 0,06 cm y un coeficiente de variación (CV %) de 17,62%. Estas medidas indican que las deflexiones experimentadas por los prototipos son inferiores a la deflexión máxima del diseño teórico. Esto evidencia que el comportamiento estructural de la cercha es adecuado, mostrando un margen de seguridad aceptable frente a los esfuerzos aplicados.



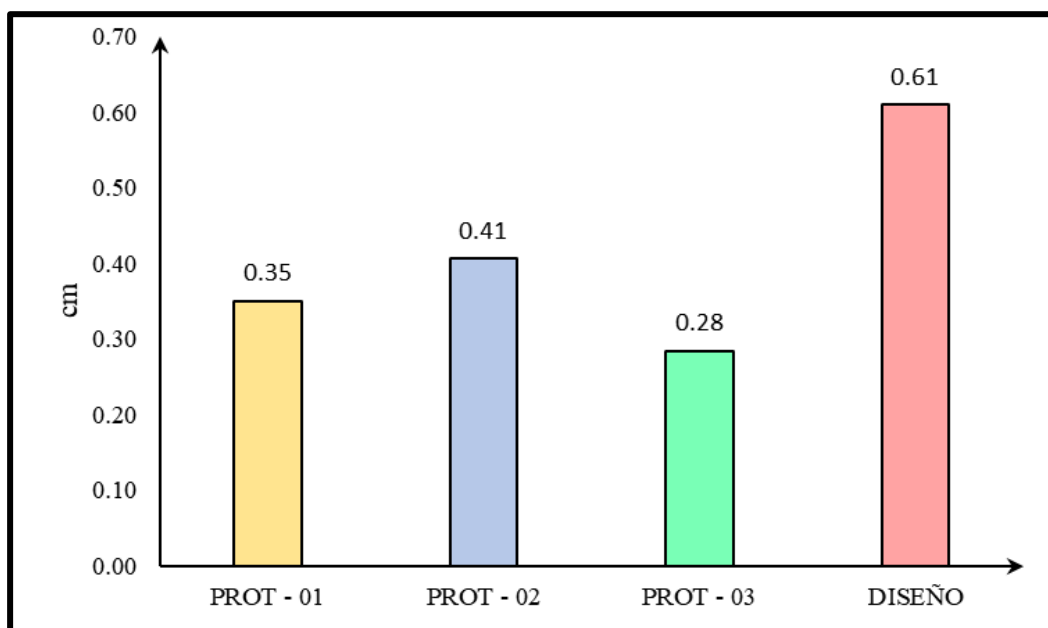


Figura 66 — Comparación entre la deflexión real vs diseño

5.2 Contrastación de hipótesis

Para contrastar las hipótesis planteadas, el nivel de significancia es de $\alpha=0,05$ y con una seguridad estadística del 95 %.

5.2.1 Hipótesis específica 1

“Las propiedades físicas y mecánicas de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la Norma Técnica E.010 para su uso como material estructural y aplicación en cercha tipo Fink”.

Para contrastar esta hipótesis, se evaluaron dos propiedades físicas fundamentales: el contenido de humedad y la densidad básica, asimismo se evaluaron las propiedades mecánicas y se compararon con los valores de referencia establecidos por la Norma Técnica E.010, utilizando la prueba t para una muestra.

a) Contenido de humedad

Se aplicó una prueba t para una muestra con el fin de contrastar si el contenido de humedad promedio de la madera es menor o igual al valor máximo permitido por la Norma Técnica E.010, que es del 22 %.

Datos:

- Tamaño de muestra (n): 18
- Media (\bar{x}): 11,64 %
- Desviación estándar (s): 0,37
- Valor normativo (μ_0): 22 %

Hipótesis:

- $H_0: \bar{x} \leq 22 \%$ (la humedad cumple con la norma)
- $H_1: \bar{x} > 22 \%$ (la humedad supera el límite permitido)

Cálculo del estadístico t:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$
$$t = \frac{11,64 - 22,00}{\frac{0,37}{\sqrt{18}}}$$
$$t = -118,794$$

Para una muestra de 18 unidades, con 17 grados de libertad y un nivel de confianza del 95 %, el valor crítico de t es $\pm 1,740$ (véase Anexo H).

Dado que el valor de t calculado es -118,794, el cual es menor que -1,740, se acepta la hipótesis nula (H_0). Se concluye que el contenido de humedad promedio es significativamente inferior al valor máximo permitido, lo cual indica que cumple con lo establecido en la norma E.010, siendo adecuado para uso estructural.

b) Densidad básica

Se verificó si la densidad básica promedio es mayor o igual al valor mínimo exigido por la norma: 0,36 g/cm³.

Datos:

- Tamaño de muestra (n): 20
- Media (\bar{x}): 0,44 g/cm³
- Desviación estándar (s): 0,05
- Valor normativo (μ_0): 0,36 g/cm³

Hipótesis:

- $H_0: \bar{x} \geq 0,36$ (la densidad básica cumple con la norma)
- $H_1: \bar{x} < 0,36$ (la densidad básica no alcanza el mínimo establecido)

Cálculo del estadístico t:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$



$$t = \frac{0,44 - 0,36}{\frac{0,05}{\sqrt{20}}}$$

$$t = 7,155$$

Considerando una muestra compuesta por 20 unidades, con 19 grados de libertad y un intervalo de confianza del 95 %, se establece que el valor crítico de t, conforme a lo indicado en el Anexo G, corresponde a $\pm 1,729$.

Como el valor de t calculado es 7,155, y este supera el valor crítico de 1,729, se acepta la hipótesis nula (H_0), se concluye que la densidad básica promedio es mayor al valor mínimo exigido, lo que confirma el cumplimiento de la norma E.010 y respalda su idoneidad para aplicaciones estructurales.

c) Esfuerzo admisible a flexión

Se verificó si el esfuerzo admisible a flexión promedio es mayor o igual al valor mínimo exigido por la norma: 70 kg/cm².

Datos:

- Tamaño de muestra (n): 20
- Media (\bar{x}): 226 kg/cm²
- Desviación estándar (s): 31,70
- Valor normativo (μ_0): 70 kg/cm²

Hipótesis:

- $H_0: \bar{x} \geq 70$ (el esfuerzo admisible a flexión cumple con la norma)
- $H_1: \bar{x} < 70$ (el esfuerzo admisible a flexión no alcanza el mínimo establecido)

Cálculo del estadístico t:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$
$$t = \frac{226 - 70}{\frac{31,70}{\sqrt{20}}}$$
$$t = 22,008$$

El valor crítico de t es de $\pm 1,729$.

Dado que el valor de t calculado es 22,008 y excede el valor crítico de 1,729, se acepta la hipótesis nula (H_0). Se concluye que el esfuerzo admisible a flexión estática es superior al mínimo requerido por la Norma Técnica E.010.



d) Esfuerzo admisible a compresión paralela

Para probar esta hipótesis se evaluó si el esfuerzo admisible a compresión paralela promedio cumple o supera el valor mínimo establecido por la norma, correspondiente a 63 kg/cm².

Datos:

- Tamaño de muestra (n): 20
- Media (\bar{x}): 205,10 kg/cm²
- Desviación estándar (s): 20,80
- Valor normativo (μ_0): 63 kg/cm²

Hipótesis:

- $H_0: \bar{x} \geq 63$ (el esfuerzo admisible a compresión paralela cumple con la norma)
- $H_1: \bar{x} < 63$ (el esfuerzo admisible a compresión paralela no alcanza el mínimo establecido)

Cálculo del estadístico t:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$
$$t = \frac{205,10 - 63}{\frac{20,80}{\sqrt{20}}}$$
$$t = 30,552$$

El valor crítico de t es de $\pm 1,729$.

Como el valor de t calculado es 30,552 y supera el valor crítico de 1,729, se acepta la hipótesis nula (H_0). Se concluye que el esfuerzo admisible a compresión paralela obtenido experimentalmente es significativamente mayor que el valor mínimo exigido por la Norma Técnica E.010.

e) Esfuerzo admisible a compresión perpendicular

Se evaluó si el esfuerzo admisible a compresión perpendicular promedio cumple o supera el valor mínimo establecido por la norma, correspondiente a 13 kg/cm².

Datos:

- Tamaño de muestra (n): 20
- Media (\bar{x}): 55,50 kg/cm²



- Desviación estándar (s): 7,65
- Valor normativo (μ_0): 13 kg/cm²

Hipótesis:

- $H_0: \bar{x} \geq 13$ (el esfuerzo admisible a compresión perpendicular cumple con la norma)
- $H_1: \bar{x} < 13$ (el esfuerzo admisible a compresión perpendicular no alcanza el mínimo establecido)

Cálculo del estadístico t:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$
$$t = \frac{55,50 - 13}{\frac{7,65}{\sqrt{20}}}$$
$$t = 24,845$$

Valor crítico de $t = \pm 1,729$.

Como t calculado = 24,845 > 1,729, se acepta la hipótesis nula (H_0). Se concluye que el esfuerzo admisible a compresión perpendicular obtenido supera ampliamente el valor mínimo establecido por la norma E.010 para ser usado como material estructural.

f) Esfuerzo admisible a corte paralelo

Con el fin de contrastar esta hipótesis, se examinó si el valor promedio del esfuerzo admisible a corte paralelo es igual o superior al mínimo requerido por la Norma Técnica E.010, establecido en 6 kg/cm².

Datos:

- Tamaño de muestra (n): 18
- Media (\bar{x}): 8,22 kg/cm²
- Desviación estándar (s): 0,86
- Valor normativo (μ_0): 6 kg/cm²

Hipótesis:

- $H_0: \bar{x} \geq 6$ (el esfuerzo admisible a corte paralelo cumple con la norma)
- $H_1: \bar{x} < 6$ (el admisible a corte paralelo no alcanza el mínimo establecido)



Cálculo del estadístico t:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$
$$t = \frac{8,22 - 6}{\frac{0,86}{\sqrt{18}}}$$
$$t = 10,952$$

El valor crítico t para 17 grados de libertad con un nivel de significancia de 0,05 es de $\pm 1,740$.

Como el valor de t calculado es 10,952 y supera el valor crítico de 1,740, se acepta la hipótesis nula (H_0). Esto indica que el esfuerzo admisible a corte paralelo es mayor que el valor mínimo exigido por la Norma Técnica E.010.

Las propiedades físicas y mecánicas analizadas, superan los valores mínimos establecidos por la Norma Técnica E.010. Por lo tanto se concluye que los resultados estadísticos respaldan que la madera *Cedrelinga catenaeformis* posee las características mecánicas requeridas para su uso en aplicaciones estructurales.

Por lo tanto, **se acepta la hipótesis específica 1.**

5.2.2 Hipótesis específica 2

“Los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones muestran que la cercha tipo Fink soporta carga de manera adecuada”.

Para su contraste, se compararon los resultados obtenidos del análisis estructural de la cercha con los límites establecidos por la Norma Técnica E.010, la misma que nos indica que la deflexión máxima admisible para cargas de servicio es de “L/300” (1,67 cm). Dado que la deflexión de diseño que es de 0,61 cm, se encuentra dentro de los límites normativos, la hipótesis se acepta, la cercha tipo Fink soporta las cargas de manera adecuada, cumpliendo con los requisitos de seguridad y funcionalidad establecidos para estructuras de madera.

5.2.3 Hipótesis específica 3

“La deflexión máxima del modelo teórico es inferior a la registrada en el prototipo de cercha tipo Fink fabricado con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) para viviendas rurales en Abancay, ante la aplicación de carga”.

Con el fin de contrastar la hipótesis planteada, se analizó el desempeño estructural de tres cerchas tipo Fink a escala real, haciendo énfasis en la deflexión vertical máxima registrada bajo condiciones de carga de servicio. Esta fue comparada con la deflexión máxima proyectada en el diseño estructural de la presente



investigación, donde se establece un valor teórico de 0,61 cm en el centro de la cuerda inferior, mientras que la media de la deflexión máxima obtenida de las pruebas en los prototipos fue de 0,35 cm.

Datos:

- Tamaño de muestra (n): 3
- Media (\bar{x}): 0,35 cm
- Desviación estándar (s): 0,06
- Deflexión límite de diseño (μ_0): 0,61 cm

Hipótesis:

- $H_0: \bar{x} \leq 0,61$ (la deflexión no supera el valor de diseño → comportamiento óptimo)
- $H_1: \bar{x} > 0,61$ (la deflexión supera el valor de diseño → comportamiento deficiente)

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$
$$t = \frac{0,35 - 0,61}{\frac{0,06}{\sqrt{3}}}$$
$$t = -7,51$$

El valor crítico t para 2 grados de libertad con un nivel de significancia de 0,05 es de $\pm 2,920$.

Dado que el valor calculado del estadístico t es -7,51, el cual es menor al valor crítico $t_{0,05; 2} = -2,920$, se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alterna (H_1). Esto indica que la deflexión máxima promedio registrada en los prototipos de cercha tipo Fink es significativamente inferior al valor límite de deflexión establecido en el diseño estructural (0,61 cm).

En consecuencia, se concluye que el comportamiento estructural del prototipo de cercha tipo Fink fabricado con madera *Cedrelinga catenaeformis* es óptimo, ya que cumple con los criterios de desempeño estructural previstos en el diseño.

Por lo tanto, **se acepta la hipótesis específica 3.**



5.2.4 Hipótesis general

La presente investigación planteó como hipótesis general que “el comportamiento estructural de la cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) es adecuado y eficiente para viviendas rurales en Abancay, 2024”. Esta hipótesis se sustenta en la verificación de tres hipótesis específicas que abordan los principales aspectos que determinan el desempeño estructural de la cercha: propiedades físicas de la madera, propiedades mecánicas y comportamiento estructural bajo carga.

Resultados obtenidos:

- **HE 1:** Se comprobó que el contenido de humedad, la densidad básica esfuerzos admisibles de corte, compresión paralela, compresión perpendicular y flexión de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) son mayores a los valores establecidos por la Norma Técnica E.010. Todos estos parámetros fueron evaluados estadísticamente, y se aceptó la hipótesis al demostrar que los valores obtenidos están dentro de los límites normativos.
- **HE 2:** Dado que la deflexión de diseño que es de 0,61 cm, se encuentra dentro de los límites normativos, la hipótesis se acepta, la cercha tipo Fink soporta las cargas de manera adecuada, cumpliendo con los requisitos de seguridad y funcionalidad establecidos para estructuras de madera.
- **HE 3:** Se evaluó el comportamiento estructural de tres prototipos de cercha tipo Fink sometidos a carga. La deflexión máxima observada fue significativamente inferior a la deflexión máxima considerada en el diseño estructural (0,61 cm), validando un comportamiento óptimo y eficiente. La hipótesis fue aceptada tras el análisis estadístico correspondiente.

Dado que las tres hipótesis específicas fueron aceptadas, se concluye que la madera *Cedrelinga catenaeformis* posee las características físicas y mecánicas adecuadas para su aplicación estructural, y que la cercha tipo Fink construida con esta especie mostró un comportamiento estructural eficiente bajo condiciones de carga. Por lo tanto, se acepta la hipótesis general, concluyendo que la cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) es adecuada y eficiente para su implementación en viviendas rurales del distrito de Abancay, cumpliendo satisfactoriamente con los requisitos técnicos estructurales.



5.3 Discusión

5.3.1 Respecto a las propiedades físicas

El contenido de humedad promedio obtenido fue de 11,64 %, valor que se encuentra dentro del rango óptimo para garantizar un adecuado desempeño mecánico de la madera. Este resultado coincide con lo señalado por Ribeiro et al. (2021), quienes destacan que una humedad cercana al 12 % favorece el comportamiento estructural del material. Lo anterior confirma que las condiciones de ensayo fueron apropiadas y que los valores obtenidos son representativos. Asimismo, se evidencia que el contenido de humedad no supera el 22 % establecido como límite por la norma E.010, lo cual respalda la idoneidad de la madera para su aplicación estructural de acuerdo con los criterios normativos vigentes.

Por otro lado, la densidad básica promedio obtenida fue de 0,45 g/cm³, un valor ligeramente inferior al reportado por Borges de Moura et al. (2018), quienes señalaron una densidad de 0,57 g/cm³. Esta diferencia puede atribuirse a factores como la variabilidad natural de la especie, las condiciones de crecimiento propias de la zona de procedencia de la muestra o incluso a aspectos relacionados con el proceso de secado y preparación de las probetas. No obstante, el valor hallado en la presente investigación se mantiene dentro del rango considerado adecuado para maderas de uso estructural.

Es importante resaltar que de acuerdo con la norma E.010 la densidad básica mínima requerida para garantizar la idoneidad del material se encuentra por debajo del valor obtenido, lo que confirma la aceptabilidad técnica de la madera evaluada para su aplicación en elementos estructurales. En este sentido, la densidad de 0,45 g/cm³ permite clasificar a la madera *Cedrelinga catenaeformis* como una especie de densidad media, característica que ofrece un equilibrio entre resistencia mecánica y facilidad de trabajabilidad.

5.3.2 Respecto a las propiedades mecánicas

En la presente investigación se evaluaron las resistencias en corte paralelo, compresión paralela, compresión perpendicular y flexión estática, cuyos resultados fueron analizados considerando la media, el coeficiente de variación y los intervalos de confianza al 95 %. Estos valores no solo permiten verificar el comportamiento mecánico de la *Cedrelinga catenaeformis*, sino también contrastar su desempeño y aptitud conforme a lo establecido en la Norma Técnica E.010 y a lo reportado en investigaciones previas.



En el caso del corte paralelo al grano, el esfuerzo de rotura promedio (RC) fue de 32,87 kg/cm², con un CV de 10,49 %. Este valor supera ampliamente el esfuerzo admisible exigido por la norma E.010, lo que sugiere que la madera evaluada ofrece una buena capacidad para resistir esfuerzos de cizallamiento, especialmente en elementos como las diagonales de la cercha. La baja dispersión observada indica un comportamiento estable entre muestras.

En relación con la compresión paralela al grano, se obtuvieron valores promedio de esfuerzo límite proporcional (ELP) de 354,47 kg/cm², resistencia máxima (RM) de 410,20 kg/cm² y módulo de elasticidad (MOE) de 43909,33 kg/cm². Estos resultados indican una buena capacidad de resistencia axial de la madera. Además, los valores se encuentran en concordancia con los reportados por Borges de Moura et al. (2018), quienes registraron una resistencia máxima a compresión paralela de 418,08 kg/cm², valor que se encuentra dentro del intervalo de confianza, evidenciando una similitud en el comportamiento mecánico entre ambos estudios.

En compresión perpendicular al grano, el esfuerzo límite proporcional promedio fue de 88,80 kg/cm², con un CV de 13,79 %. Este resultado es particularmente relevante, ya que el valor mínimo exigido por la Norma E.010 es de 13 kg/cm².

En cuanto a la flexión estática, se obtuvieron valores promedio de esfuerzo límite proporcional (ELP) de 513,03 kg/cm², resistencia máxima (MOR) de 721,96 kg/cm² y módulo de elasticidad (MOE) de 102799,78 kg/cm². En este sentido, el valor del MOE muestra una estrecha correspondencia con el determinado por Borges de Moura et al. (2018), quienes reportaron un valor de 102756,78 kg/cm².

El esfuerzo admisible a flexión (f_m) calculado es de 226 kg/cm², valor que supera ampliamente el mínimo de 70 kg/cm² establecido por la Norma Técnica E.010, lo que demuestra un buen desempeño mecánico en esta sollicitación. De igual forma, el esfuerzo admisible a compresión paralela al grano ($f_c //$) alcanzó los 205,10 kg/cm², lo que evidencia una elevada capacidad resistente en dirección longitudinal. Asimismo, el esfuerzo admisible a compresión perpendicular al grano ($f_c \perp$) fue de 55,50 kg/cm², superando en más de cuatro veces el mínimo requerido de 13 kg/cm² para su clasificación estructural. Finalmente, el esfuerzo admisible a corte paralelo (f_v) obtuvo un valor de 8,22 kg/cm², siendo también superior al umbral de 6 kg/cm² establecido por la misma norma, lo que confirma la aptitud estructural de la madera en todas las sollicitaciones evaluadas.



5.3.3 Respecto al comportamiento estructural de la cercha

Ante la solicitación de cargas, en este caso una carga equivalente de 400 kg, la deflexión máxima promedio real de los prototipos fue de 0,35 cm, siendo significativamente inferior a la deflexión de diseño (0,61 cm), lo que demuestra un comportamiento estructural favorable.

Esta respuesta estructural coincide con lo señalado por Kromoser (2021), cuyos ensayos experimentales evidenciaron que configuraciones con placas de contrachapado de haya de 18 mm y espigas de haya de 14 mm ofrecían una alta capacidad de carga y un comportamiento dúctil tanto en tracción como en compresión. En consecuencia, la validación estructural a escala real confirmó que este tipo de sistema es técnicamente y ambientalmente viable, proporcionando una alternativa eficiente, sostenible y replicable para construcciones con cerchas de madera, sin comprometer la resistencia ni la estabilidad.



CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Del objetivo general:

- En cuanto al comportamiento estructural, se concluye que una cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) presenta un comportamiento estructural adecuado para su aplicación en viviendas rurales. Los resultados obtenidos evidencian que este tipo de cercha ofrece una adecuada capacidad portante y un desempeño confiable frente a las cargas consideradas, cumpliendo con los criterios de resistencia y estabilidad establecidos en la normativa vigente. En consecuencia, se valida la viabilidad técnica del uso de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) y su aplicación en cerchas tipo Fink.

Del objetivo específico 01:

- Respecto a las propiedades físicas de la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), se concluye que presenta características adecuadas para su aplicación como material estructural, al registrar una densidad básica promedio de $0,44 \text{ g/cm}^3$, y se encuentra dentro del rango establecido por la Norma Técnica Peruana NTP E.010 ($0,40 - 0,55 \text{ g/cm}^3$) para el grupo estructural C.
- Con referencia a las propiedades mecánicas se concluye que la madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) se clasifica dentro del grupo estructural C de la Norma Técnica Peruana NTP E.010, ya que todos los esfuerzos admisibles superan los valores mínimos establecidos para dicho grupo. La flexión estática alcanzó $226,00 \text{ kg/cm}^2$, frente al mínimo de 100 kg/cm^2 ; la compresión paralela fue de $205,10 \text{ kg/cm}^2$, superando el umbral de 60 kg/cm^2 ; la compresión perpendicular registró $55,50 \text{ kg/cm}^2$, por encima del mínimo de 18 kg/cm^2 ; y el corte paralelo llegó a $8,22 \text{ kg/cm}^2$, apenas por encima del límite inferior de 8 kg/cm^2 . Además, el módulo de elasticidad obtenido fue de $E_{\text{mín}} = 74228.49 \text{ kg/cm}^2$ y $E_{\text{prom}} = 102799.78 \text{ kg/cm}^2$, valores que también superan los rangos establecidos para el grupo C ($55\,000$ y $90\,000 \text{ kg/cm}^2$ respectivamente). Estos resultados no solo cumplen con los requisitos del grupo C, sino que en varios casos se acercan o incluso superan los valores correspondientes al grupo B, lo que evidencia un desempeño mecánico superior. Sin embargo, por criterios



de clasificación conservadora y consistencia normativa, se confirma su pertenencia al grupo estructural C.

Del objetivo específico 02:

- De la evaluación de los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones en la cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*), se concluye que todos los valores se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa y principios de la mecánica estructural, indicando que la cercha soporta las cargas aplicadas de manera adecuada y demostrando un comportamiento estructural seguro y eficiente para su uso.

Del objetivo específico 03:

- En relación a la deflexión registrada durante los ensayos experimentales realizados sobre los prototipos de cercha tipo Fink construidos con madera *Cedrelinga catenaeformis*, se evidenció un comportamiento estructural eficiente frente a la sollicitación correspondiente a la carga de diseño. Bajo la aplicación de una carga puntual equivalente a 400 kg, se obtuvo una deflexión máxima promedio de 0,35 cm, valor significativamente inferior tanto a la deflexión de diseño (0,61 cm) como a la deflexión máxima permisible (1,67 cm). Esta diferencia permite concluir que los prototipos de la cercha presentan una rigidez estructural superior a la estimada, demostrando no solo una distribución eficaz de los esfuerzos internos en la configuración tipo Fink, sino también una elevada capacidad portante y un bajo nivel de deformación. Estos factores respaldan el desempeño estructural del sistema y su idoneidad para aplicaciones en techumbres de madera.

6.2 Recomendaciones

Del objetivo general

- Se recomienda considerar el uso de cerchas tipo Fink fabricadas con madera tornillo (*Cedrelinga catenaeformis*) como una solución estructural viable para viviendas rurales, especialmente en zonas donde esta especie esté disponible. Su comportamiento estructural adecuado frente a cargas de diseño respalda su implementación en proyectos que requieran eficiencia, sostenibilidad y cumplimiento normativo. Asimismo, se sugiere promover su aplicación en programas de construcción rural mediante guías técnicas que estandaricen su diseño y montaje.



Del objetivo específico 01

- Se recomienda fomentar el aprovechamiento técnico de la madera tornillo como material estructural, dado que sus propiedades físicas y mecánicas cumplen con los requisitos establecidos por la NTP E.010 para el grupo estructural C. Para garantizar su desempeño, se sugiere implementar procesos de selección, secado y clasificación que aseguren la calidad del material antes de su uso en elementos sometidos a carga. Además, se recomienda incluir esta especie en catálogos técnicos de maderas estructurales nacionales.

Del objetivo específico 02

- Se recomienda utilizar modelos de cercha tipo Fink con madera tornillo en diseños estructurales que requieran eficiencia en la distribución de esfuerzos y estabilidad frente a cargas gravitacionales. Dado que los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones se mantuvieron dentro de los límites permisibles, se sugiere replicar este diseño en techumbres de luces medias, asegurando siempre el cumplimiento de los principios de la mecánica estructural y la normativa vigente.

Del objetivo específico 03

- Se recomienda emplear cerchas tipo Fink de madera tornillo en techumbres donde se requiera alta rigidez y bajo nivel de deformación, ya que los ensayos experimentales demostraron una deflexión significativamente inferior a los valores de diseño y permisibles. Esta condición favorece la durabilidad y el comportamiento estructural del sistema. Se sugiere además documentar y difundir estos resultados como referencia técnica para futuros proyectos de ingeniería en madera.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALDEON SUAREZ, Bertha. “Propiedades mecánicas y aptitud de uso de la madera *Cedrelinga cateniformis* (tornillo) con 15 años de edad proveniente de un sistema agroforestal con *Theobroma cacao*”. Tesis de grado, Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, 2022.

BARRIOS, Ronal et al. “Eliminación de outliers: una estrategia para reducir la incertidumbre tipo A en la calibración de balanzas”. *Simposio de Metrología* [en línea]. Río, 2016 [consulta: 04-07-2024]. Disponible en: <https://www.cenam.mx/sm2016/pdf/1758.pdf>

BENITES, Luis. “Criterio de Chauvenet: definición y ejemplo”. *Statologos* [en línea]. 2021 [consulta: 08-08-2024]. Disponible en: https://statologos.com/criterio-de-chauvenets/#google_vignette

BORGES DE MOURA, Vinicius et al. “Physical and mechanical characterization of *Cedrelinga cateniformis* Ducke wood specie”. *International Journal of Materials Engineering* [en línea]. 2018, 8(5), 97–100 [consulta: 20-06-2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.5923/j.ijme.20180805.03>

CABANILLAS SANTA CRUZ, Eyla Carive. “Comparación de las propiedades físicas y mecánicas del Eucalyptus Globulus extraído de Huambocancha y el triunfo – Cajamarca, 2018”. Tesis de grado, Universidad Privada del Norte, 2019.

CASAS MAMANI, Jorge Eleuterio. “Diseño de un sistema de control de temperatura y humedad para un horno de secado de madera”. Trabajo de grado, Universidad Pública de El Alto, 2020.

CEPLAN. *El sector forestal en el Perú: Propuestas estratégicas para fortalecer su desarrollo* [en línea]. Documento de trabajo, 2023 [consulta: 14-07-2024]. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5605664/4973838-ceplan-el-sector-forestal-en-el-peru.pdf>

CERVERA RUIZ, Miguel y BLANCO DÍAZ, Elena. *Mecánica de estructuras*. [en línea] Barcelona: CIMNE, 2014. [consulta: 24-07-2024]. ISBN: 978-84-942844-8-9. Disponible en: <https://cervera.rmee.upc.edu/libros/Mec%C3%A1nica%20de%20Estructuras.pdf>



CHIPANA AYMARA, Luzley. “Influencia del tratamiento del eucalipto con aceites en sus propiedades físico mecánicas para ser usados en tijerales tipo Howe, Lambrama-Abancay, 2023”. Tesis de grado, Universidad Tecnológica de los Andes, 2024

CHURA QUISPE, Nelson Samuel y MUCHICA SILLO, Jhon. “Factibilidad del uso de la madera *Pinus radiata* como material estructural para la construcción de tijerales en la región Puno”. Tesis de grado, Universidad Peruana Unión, 2021.

CORTÉS, Manuel e IGLESIAS LEÓN, Miriam. *Generalidades sobre metodología de la investigación.* [en línea]. Ciudad del Carmen: Universidad Autónoma del Carmen, 2004.

DÍAZ CHÁVEZ, Luis Alberto y ROSADO VEGA, Jairo Rafael. *Tratamiento estadístico de datos con aplicaciones en R.* [en línea]. Universidad de La Guajira, 2019 [consulta: 09-07-2024]. ISBN 978-958-8942-58-2.

ESPINOSA STEAD, Alejandro Josué y SALAZAR MURILLO, Andrés Fernando. “Propiedades físico-mecánicas de uniones clavadas y empernadas, sometidas a comprensión, con madera tipo A, tipo B y tipo C: guayacán, eucalipto y fernansánchez; para el diseño estructural de la cubierta del Proyecto Casa Montúfar 623 (Fonsal)”. Tesis de grado, Escuela Politécnica del Ejército, 2011.

ESPINOZA URQUIZA, Luis Enrique. “Prototipo de tijerales usando madera Chontaquiro (*Diplotropis* sp) aplicando la norma técnica peruana E.010 en la selva central”. Tesis de grado, Universidad de San Martín de Porres, 2018.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. *Wood Handbook-wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-282* [en línea], 2021.

GUZEL, Tubec. “Consumer Attitudes toward Preference and Use of Wood, Woodenware, and Furniture: A Sample from Kayseri, Turkey”. *BioResources* [en línea]. 2020,15(1), 28-37. [consulta: 15-08-2024].

HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto y MENDOZA TORRES, Christian Paulina. *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta.* McGraw-Hill, 2018. ISBN 978-1-4562-6096-5.

JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. *Manual de diseño para maderas del Grupo Andino* [en línea]. 3ª ed. Lima, 1984 [consulta: 12-07-2024].



KROMOSER, Benjamin, BRAUN, Markus y ORTNER, Matthias. *Construction of all-wood trusses with plywood nodes and wooden pegs: A strategy towards resource-efficient timber construction.* Applied Sciences [en línea]. 2021, 11(6), 2568 [consulta:24-07-2024]. ISSN 2076-3417. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/app11062568>

LLAURADÓ PÉREZ, Nuria. “Estudio del comportamiento estático y dinámico de elementos de madera de Pino Silvestre empleados en medios auxiliares y protecciones colectivas en edificación”. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

LOZADA, José. “Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria”. *CienciAmérica* [en línea]. 2014, 3(1), 34–49 [consulta: 16-07-2024]. ISSN 1390-9592. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6163749>

MEDINA, Andrea, MANZIONE Pablo y ANDÍA Ismael. “Cortinas de álamo. Desde la Patagonia”. *Difundiendo Saberes* [en línea]. 2018, 15(25), 60–66 [consulta: 19-07-2024]. Disponible en: <https://desdelapatagonia.uncoma.edu.ar/index.php/cortinas-de-alamo/>

MEDINA ROMERO, Miguel Ángel et al. *Metodología de la investigación: técnicas e instrumentos de investigación* [en línea]. Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C, 2019 [consulta: 25-07-2024]. ISBN 978-612-5069-70-2 (PDF).

OSIS LIPA, Daniella Bianney y MUÑOZ FERNÁNDEZ, Alberto. “Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la Madera Eucalipto (*Eucalyptus globulus*), Pino (*Pinus radiata*) y Ciprés (*Cupressus lusitánica*), para su uso como Material Estructural y su Aplicación al Diseño de un Tijeral Par y Nudillo, Abancay-Apurímac”. Tesis de grado, Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, 2022.

OTZEN, Tamara y MONTEROLA, Carlos. “Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio”. *International Journal of Morphology* [en línea]. 2017, 35(1), 227–232 [consulta: 26-07-2024]. ISSN 0717-9502. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/25566>

Perú. RNE E.020:2020, Cargas. Lima: SENCICO.

Perú. RNE E.010:2021, Madera. Lima: MVCS.

Perú. NTP 251.010:2020. Madera. *Métodos para determinar el contenido de humedad.* Lima: INACAL.



Perú. NTP 251.011:2014. Madera. *Método para determinar la densidad*. Lima: INACAL.

Perú. NTP 251.013:2015, Madera. *Método para determinar el cizallamiento paralelo al grano*. Lima: INACAL.

Perú. NTP 251.014:2020, Madera. *Método para determinar la compresión axial o paralela al grano*. Lima: INACAL.

Perú. NTP 251.016:2015, Madera. *Método para determinar la compresión perpendicular al grano*. Lima: INACAL.

Perú. NTP 251.017:2014, Madera. *Método para determinar la flexión estática*. Lima: INACAL.

RIVADENEIRA GARZÓN, Norberto Ivanenko. “Análisis comparativo entre vivienda de interés social y vivienda de madera para familias de Cantón Morona”. Tesis de grado, Universidad Católica de Cuenca, 2022.

RIBEIRO SOARES, Lasrissa et al. “Influence of moisture content on physical and mechanical properties of *Cedrelinga catenaeformis* Wood”. *BioResources* [en línea]. 2021, 16(4), 6758–6765 [consultado: 15-07-2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.15376/biores.16.4.6758-6765>

RODAS ANDRADE, Hernán. *Estructuras I: Apuntes de clase*. Universidad de Cuenca, 2014. ISBN 978-9978-14-244-8.

SÁNCHEZ CARLESSI, Hugo, REYES ROMERO, Carlos y MEJÍA SÁENZ, Katia. *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística* [en línea]. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2018 [consulta: 02-08-2024]. ISBN 978-612-47351-4-1. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14138/1480>

SOTOMAYOR CASTELLANOS, Javier Ramón y RAMÍREZ PÉREZ, Mariana. *Anisotropía del módulo de elasticidad y de resistencia en compresión de la madera de *Pinus michoacana*, *Pinus douglasiana* y *Pinus pringlei**. *Acta Universitaria* [en línea]. 2014, 24(5), 3–12 [consulta: 19-07-2024]. ISSN 0188-6266. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41632450001>



SUIREZS, Teresa María y BERGER, Gilson. *Descripciones de las propiedades físicas y mecánicas de la madera* [en línea]. Editorial Universitaria de la Universidad Nacional de Misiones, 2009 [consulta: 19-07-2024]. ISBN 978-950-579-154-5.

TENORIO, Carolina et al. “Diseño, resistencia, tablas de diseño, propuesta de empaque y manuales de uso de cerchas construidas con madera de *Gmelina arborea* e *Hieronyma alchorneoides* de plantaciones forestales en Costa Rica”. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú* [en línea]. 2017, 14(35), 55–67 [consulta: 30-07-2024]. ISSN 2215-2504. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2238/12659>

UMLANDT, Maximiliano et al. *Fundamentos teórico-prácticos de las propiedades físicas y mecánicas de la madera* [en línea]. Santiago del Estero, 2022 [consulta: 20-07-2024]. ISBN 978-987-8922-13-3. Disponible en: <https://fcf.unse.edu.ar/wp-content/uploads/2014/07/sd-47-prop-fisicas-y-mecanicas-madera-HUMBLANDT.pdf>

VÁSQUEZ BERNAL, Anthony Kley. “Evaluación del comportamiento estructural de la madera tornillo dependiendo del contenido de humedad – Chiclayo”. Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo, 2021.

WINANDY, Jerrold. Wood properties. *Encyclopedia of Agricultural Science* [en línea]. 1994, 4, 549–561 [consulta: 10-07-2024]. Disponible en: <https://www.eximcorp.co.in/amp/assets/files/wood-properties-forest-product-lab-usa.pdf>

YOZA, L. y BARADIT, E. . “Caracterización de las propiedades físico mecánicas de especies, Pino (*Pinus patula*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) provenientes del Perú utilizando técnicas no destructivas”. *Anales Científicos* [en línea]. 2015, 76(1), 12–16 [consulta: 18-07-2024]. ISSN 2519-7398.



ANEXOS



Anexo A



Matriz de consistencia

Tabla 60 — Matriz de consistencia

Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) para viviendas rurales en Abancay, 2024					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL			Enfoque:
¿Cuál es el comportamiento estructural de una cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) para viviendas rurales en Abancay en 2024?	Analizar el comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) para viviendas rurales en Abancay, 2024.	El comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) es adecuado y eficiente para viviendas rurales en Abancay, 2024.	V. INDEPENDIENTE. Madera Tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>)	-Propiedades físicas -Propiedades mecánicas -Diseño de cerchas	Cuantitativo
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS			Diseño:
¿Cuáles son las propiedades físicas y mecánicas de la madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) para su uso como material estructural y aplicación en una cercha tipo Fink, de acuerdo con la Norma Técnica E.010?	Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) para su uso como material estructural y aplicación en una cercha tipo Fink, de acuerdo a la Norma Técnica E.010.	Las propiedades físicas y mecánicas de la madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) cumplen con los requisitos mínimos establecidos por la Norma Técnica E.010 para su uso como material estructural y aplicación en cercha tipo Fink.			Experimental - preexperimental
¿Cuáles son los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones que se generan en una cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) cuando se somete a cargas?	Evaluar los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones en una cercha tipo Fink fabricado con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) ante sollicitaciones de carga.	Los esfuerzos internos, deflexiones y reacciones muestran que la cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) soporta carga de manera adecuada.	V. DEPENDIENTE. Comportamiento estructural de cercha tipo Fink	-Resistencia estructural -Deflexión -Fuerzas internas	Población:
¿Qué diferencias existen entre la deflexión máxima obtenida en el modelo teórico y la registrada en el prototipo de la cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) para viviendas rurales en Abancay, bajo la aplicación de carga?	Comparar la deflexión máxima obtenida en el modelo teórico con la registrada en el prototipo de cercha tipo Fink fabricado con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) para viviendas rurales, bajo la aplicación de carga.	La deflexión máxima del modelo teórico es inferior a la registrada en el prototipo de cercha tipo Fink fabricado con madera tornillo (<i>Cedrelinga catenaeformis</i>) para viviendas rurales en Abancay, ante la aplicación de carga.			Muestra:
					Lote de madera <i>Cedrelinga catenaeformis</i> . -D. Básica – 20 -Corte // - 20 -Comp. // - 20 -Comp perp. – 20 -Flexión -20 -Prototipo-03

Anexo C

Validación de instrumentos


FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS


I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Investigador	: Bach. Yosemite H. Moreano Carrasco
1.2 Título de investigación	Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024
1.3 Universidad	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
1.4 Experto	: <i>Javier A. Cajero Milla</i>
1.5 Especialidad	: <i>Estructuras</i>
1.6 Entidad donde labora	: <i>ABZ Ingenieros</i>
1.7 Instrumentos	Protocolo 01 - Determinación de densidad básica Protocolo 02 - Determinación de cizallamiento paralelo Protocolo 03 - Determinación de la compresión paralela Protocolo 04 - Determinación de la compresión perpendicular Protocolo 05 - Determinación de la flexión estática Protocolo 06 - Prueba de carga estática en cercha tipo Fink

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Instrucciones: Marque con una (X) solo una opción por cada criterio, según la siguiente escala de valoración.

1	2	3	4	5
Muy Bajo	Bajo	Regular	Alto	Muy Alto

N.º	CRITERIOS	INDICADORES					
			1	2	3	4	5
1	PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X		
2	COHERENCIA	Los ítems responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.				X	
3	CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí, y con conceptos que miden.			X		
4	OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.					X
5	CONSISTENCIA	Los ítems se basan en los fundamentos teóricos de las variables.				X	
6	SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.				X	
7	ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.					X
8	CLARIDAD	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.				X	
9	FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado y nitidez).			X		
10	ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuestas bien definidas.				X	

III. RESULTADO

Se validan los instrumentos (X) No se validan los instrumentos ()

Abancay, *15* de *Julio* del 2024






Figura 73 — Validación de instrumentos por experto N.º 01





FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS



I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Investigador	: Bach. Yosemite H. Moreano Carrasco
1.2 Título de investigación	: Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024
1.3 Universidad	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
1.4 Experto	: César Aldair Llerena Calla
1.5 Especialidad	: ESTRUCTURAS
1.6 Entidad donde labora	: GRESA - INFRAESTRUCTURA
1.7 Instrumentos	: Protocolo 01 - Determinación de densidad básica Protocolo 02 - Determinación de cizallamiento paralelo Protocolo 03- Determinación de la compresión paralela Protocolo 04 - Determinación de la compresión perpendicular Protocolo 05 - Determinación de la flexión estática Protocolo 06 - Prueba de carga estática en cercha tipo Fink

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Instrucciones: Marque con una (X) solo una opción por cada criterio, según la siguiente escala de valoración.

1	2	3	4	5
Muy Bajo	Bajo	Regular	Alto	Muy Alto

N.º	CRITERIOS	INDICADORES	INDICADORES				
			1	2	3	4	5
1	PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.					X
2	COHERENCIA	Los ítems responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.				X	
3	CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí, y con conceptos que miden.					X
4	OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.					X
5	CONSISTENCIA	Los ítems se basan en los fundamentos teóricos de las variables.					X
6	SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.					X
7	ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.					X
8	CLARIDAD	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.				X	
9	FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado y nitidez).					X
10	ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuestas bien definidas.					X

III. RESULTADO

Se validan los instrumentos (X)

No se validan los instrumentos ()

Abancay, 23 de JUNIO del 2024

César Aldair Llerena Calla
ING. CIVIL
CIP. N.º 264323

Figura 74 — Validación de instrumentos por experto N.º 02



FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS



I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Investigador	: Bach. Yosemite H. Moreano Carrasco
1.2 Título de investigación	: Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024
1.3 Universidad	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
1.4 Experto	: <u>JUAN PABLO FERNÁNDEZ BOLAÑOS</u>
1.5 Especialidad	: <u>ING. CALIDAD</u>
1.6 Entidad donde labora	: <u>ABZ. INGENIEROS</u>
1.7 Instrumentos	: Protocolo 01 - Determinación de densidad básica Protocolo 02 - Determinación de cizallamiento paralelo Protocolo 03 - Determinación de la compresión paralela Protocolo 04 - Determinación de la compresión perpendicular Protocolo 05 - Determinación de la flexión estática Protocolo 06 - Prueba de carga estática en cercha tipo Fink

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Instrucciones: Marque con una (X) solo una opción por cada criterio, según la siguiente escala de valoración.

1	2	3	4	5
Muy Bajo	Bajo	Regular	Alto	Muy Alto

N.º	CRITERIOS	INDICADORES	INDICADORES				
			1	2	3	4	5
1	PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.				X	
2	COHERENCIA	Los ítems responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.				X	
3	CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí, y con conceptos que miden.				X	
4	OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.				X	
5	CONSISTENCIA	Los ítems se basan en los fundamentos teóricos de las variables.					X
6	SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.					X
7	ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.					X
8	CLARIDAD	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.					X
9	FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado y nitidez).				X	
10	ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuestas bien definidas.			X		

III. RESULTADO

Se validan los instrumentos (X)

No se validan los instrumentos ()

Abancay, 15 de JULIO del 2024

Juan Pablo Fernández Bolaños
ING. CIVIL
CIP. 105836

Figura 75 — Validación de instrumentos por experto N.º 03





FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS



I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Investigador	: Bach. Yosemite H. Moreano Carrasco
1.2 Título de investigación	: Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024
1.3 Universidad	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
1.4 Experto	: <i>Manuel Valenzuela Sánchez</i>
1.5 Especialidad	: <i>Estructuras</i>
1.6 Entidad donde labora	: <i>Sub Región Grau</i>
1.7 Instrumentos	: Protocolo 01 - Determinación de densidad básica Protocolo 02 - Determinación de cizallamiento paralelo Protocolo 03- Determinación de la compresión paralela Protocolo 04 - Determinación de la compresión perpendicular Protocolo 05 - Determinación de la flexión estática Protocolo 06 - Prueba de carga estática en cercha tipo Fink

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Instrucciones: Marque con una (X) solo una opción por cada criterio, según la siguiente escala de valoración.

1	2	3	4	5
Muy Bajo	Bajo	Regular	Alto	Muy Alto

N.º	CRITERIOS	INDICADORES	INDICADORES				
			1	2	3	4	5
1	PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.					X
2	COHERENCIA	Los ítems responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.				X	
3	CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí, y con conceptos que miden.				X	
4	OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.					X
5	CONSISTENCIA	Los ítems se basan en los fundamentos teóricos de las variables.					X
6	SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.				X	
7	ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.					X
8	CLARIDAD	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.					X
9	FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado y nitidez).					X
10	ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuestas bien definidas.				X	

III. RESULTADO

Se validan los instrumentos (X)

No se validan los instrumentos ()

Abancay, ... *11* ... de *Junio* ... del 2024



Manuel Valenzuela Sánchez
ING. CIVIL
CIP. 199311

42071876

Figura 76 — Validación de instrumentos por experto N.º 04





FORMATO ÚNICO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS



I. INFORMACIÓN GENERAL

1.1 Investigador	: Bach. Yosemite H. Moreano Carrasco
1.2 Título de investigación	: Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024
1.3 Universidad	: Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac
1.4 Experto	: ANTHONY D. ROMERO ALCAZAR
1.5 Especialidad	: INGENIERO CIVIL
1.6 Entidad donde labora	: JAC
1.7 Instrumentos	: Protocolo 01 - Determinación de densidad básica Protocolo 02 - Determinación de cizallamiento paralelo Protocolo 03- Determinación de la compresión paralela Protocolo 04 - Determinación de la compresión perpendicular Protocolo 05 - Determinación de la flexión estática Protocolo 06 - Prueba de carga estática en cercha tipo Fink

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

Instrucciones: Marque con una (X) solo una opción por cada criterio, según la siguiente escala de valoración.

1	2	3	4	5
Muy Bajo	Bajo	Regular	Alto	Muy Alto

N.º	CRITERIOS	INDICADORES					
			1	2	3	4	5
1	PERTINENCIA	Los ítems miden lo previsto en los objetivos de investigación.			X		
2	COHERENCIA	Los ítems responden a los que se debe medir en las variables y sus dimensiones.					X
3	CONGRUENCIA	Los ítems son congruentes entre sí, y con conceptos que miden.			X		
4	OBJETIVIDAD	Los ítems miden comportamiento y acciones observables.					X
5	CONSISTENCIA	Los ítems se basan en los fundamentos teóricos de las variables.			X		
6	SUFICIENCIA	Los ítems son suficientes en cantidad para medir las variables.					X
7	ORGANIZACIÓN	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.					X
8	CLARIDAD	Los ítems están secuenciados y distribuidos de acuerdo a dimensiones e indicadores.					X
9	FORMATO	Los ítems están escritos respetando aspectos teóricos (tamaño de letra, espaciado, interlineado y nitidez).					X
10	ESTRUCTURA	El instrumento cuenta con instrucciones, consignas, opciones de respuestas bien definidas.			X		

III. RESULTADO

Se validan los instrumentos (X)

No se validan los instrumentos ()

Abancay, ... 14 ... de ... 2024 ... del 2024


 Anthony David Romero Alcazar
 ING. CIVIL
 CIP. 190461

Figura 77 — Validación de instrumentos por experto N.º 05



Encuestados	Ítems										Suma
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ing. Javier A. Calero Milla	3	4	3	5	4	4	5	4	3	4	39
Ing. Cesar A. Llerena Calla	5	4	5	5	5	5	5	4	5	5	48
Ing. Juan P. Fernández Bolaños	4	4	4	4	5	5	5	5	4	3	43
Ing. Manuel Valenzuela Sánchez	5	4	4	5	5	4	5	5	5	4	46
Ing. Anthony Romero Alcázar	3	5	3	4	3	4	5	4	4	3	38
Varianza	0.80	0.16	0.56	0.24	0.64	0.24	0.00	0.24	0.56	0.56	
Sumatoria de varianzas	4.00										
Varianza de la suma de los ítems	14.96										

El coeficiente de alfa de Cronbach se calcula con la siguiente fórmula:

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left[1 - \frac{\sum S_i^2}{S_T^2} \right]$$

Donde:

α = Coeficiente alfa de Cronbach

K = Número de ítems del instrumento

$\sum S_i^2$ = Sumatoria de varianza de los ítems

S_T^2 = Varianza total

$$\alpha = \frac{12}{12-1} \left[1 - \frac{4}{14.96} \right]$$

$$\alpha = 0.81$$

Conclusión:

Como $\alpha = 0.81$, se encuentra en el rango de confiabilidad **“Bueno”**

Figura 78 — Cálculo de alfa de Cronbach



Anexo D

Certificados de calibración

LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.
 Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia
 (+57 60 1) 745 4555 - Cel: 316 538 5810 - 317 423 3640
 www.pinzuar.com.co




LABORATORIO DE METROLOGÍA ISO/IEC 17025:2017
11-LAC-024

Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza
Calibration Certificate - Laboratory of Force

F-28988-001 R0

Page / Pág. 1 de 5

Equipo <i>Instrument</i>	MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESION UNIAxIAL	<p>Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
Fabricante <i>Manufacturer</i>	PINZUAR	
Modelo <i>Model</i>	C020504//PC-42D	
Número de Serie <i>Serial Number</i>	312 // 521	
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	No presenta	
Capacidad Máxima <i>Maximum Capacity</i>	1000 kN	
Solicitante <i>Customer</i>	LUNIX INGENIEROS S.R.L.	
Dirección <i>Address</i>	AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA	
Ciudad <i>City</i>	APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY	
Fecha de Calibración <i>Date of calibration</i>	2023 - 05 - 09	
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2023 - 05 - 16	
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	05	

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.
 Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan el Certificado
Signatures Authorizing the Certificate



Ing. Sergio Iyán Martínez
Directo Laboratorio de Metrología



Tecg. Jaiver López Poveda
Metrologo Laboratorio de Metrología

LM-PC-05-F-01 R12.6

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 79 — Certificado de calibración de máquina a compresión uniaxial de 1000 kN



LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.

Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia
 (+57 60 1) 745 4555 - Cel: 316 538 5810 - 317 423 3640
 www.pinzuar.com.co



Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

Calibration Certificate - Laboratory of Force

F-28988-002 RO

Page / Pág. 1 de 5

Equipo <i>Instrument</i>	MÁQUINA DE ENSAYOS A COMPRESIÓN UNIAxIAL
Fabricante <i>Manufacturer</i>	PINZUAR
Modelo <i>Model</i>	PS91//S0S0302
Número de Serie <i>Serial Number</i>	123
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	No presenta
Capacidad Máxima <i>Maximum Capacity</i>	50 kN
Solicitante <i>Customer</i>	LUNIX INGENIEROS S.R.L.
Dirección <i>Address</i>	AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA
Ciudad <i>City</i>	APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY
Fecha de Calibración <i>Date of calibration</i>	2023 - 05 - 09
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2023 - 05 - 16

Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsible for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.

Número de páginas del certificado, incluyendo anexos 05
Number of pages of the certificate and documents attached

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate

Ing. Sergio Iyán Martínez
Directo Laboratorio de Metrología

Tecg. Jaiver López Poveda
Metrologo Laboratorio de Metrología

LM-PC-05-F-01 R12.6

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 80 — Certificado de calibración de máquina a compresión uniaxial de 50 kN



LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.
 Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao
 (+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118
 www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA
NA-06821-001 RO

Certificado de Calibración - Laboratorio de Longitud
Calibration Certificate - Dimensional Metrology Laboratory

Page / Pág. 1 de 3

Equipo <i>Instrument</i>	PIE DE REY	<p>Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este certificado documenta y asegura la trazabilidad a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la comprobación de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the costumer.</i></p> <p><i>This certificate documents and ensures the traceability to national and internationals standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for checking the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
Fabricante <i>Manufacturer</i>	INSIZE	
Modelo <i>Model</i>	1108-300W	
Número de Serie <i>Serial Number</i>	2408221368	
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	NO PRESENTA	
Intervalo de Medición <i>Measurement Range</i>	0 mm a 300 mm	
Solicitante <i>Customer</i>	LINUX INGENIEROS S.R.L.	
Dirección <i>Address</i>	AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY	
Ciudad <i>City</i>	APURIMAC - ABANCAY	
Fecha de Calibración <i>Date of calibration</i>	2023 - 05 - 03	
Fecha de Emisión <i>Date of issue</i>	2023 - 05 - 04	
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	03	

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar, no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se sacan de contexto. Los certificados sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned certificates are not valid.

Firmas Autorizadas
Authorized Signatures



Ing. Félix Jaramillo Castillo
 Metrólogo Laboratorio de Metrología

LM-PC-23-F-01 R7.0

ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 81 — Certificado de calibración de Vernier





**CORPORACIÓN
2M & N S.A.C.**
Especialistas en Metrología

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA
CON REGISTRO N° LC - 024**



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Calibración
Acreditado
Registro N° LC - 024

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
333-CM-M-2022
Área de Metrología
Página 1 de 2

<p>Expediente : 1229-12-2022</p> <p>Solicitante : P Y S EQUIPOS E.I.R.L.</p> <p>Dirección : Cal. 4 Mza. F1 Lote 05 Urb. Virgen del Rosario - San Martín de Porres - Lima - Perú</p> <p>Equipo/ Instrumento : PESA</p> <p>Marca : No indica</p> <p>Modelo : No indica</p> <p>Serie : No indica</p> <p>Identificación : 520 (*)</p> <p>Ubicación : No indica</p> <p>Procedencia : No indica</p> <p>Valor Nominal : 20 kg</p> <p>Cantidad : 1</p> <p>Clase : M2</p> <p>Fecha de calibración : 2022-12-29</p> <p>Lugar: : Laboratorio 02 - CORPORACIÓN 2M & N S.A.C Jr. Chiclayo Nro. 489, Int A - Rimac - Lima.</p> <p>Método utilizado: : Por comparación, Según el PC-008 Procedimiento para la calibración de pesas de trabajo. Clases M1-2, M2, M2-3 y M3, 1ra edición - Abril, 2021. INACAL.</p>	<p>La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95%.</p> <p>Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del equipo o reglamentaciones vigentes.</p> <p>Los resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del Sistema de Calidad</p> <p>CORPORACIÓN 2M & N S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este equipo, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.</p> <p>El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.</p>
--	--



2023-01-03
Fecha de emisión



VALENCIA VELASCO FERNANDO
GABRIEL
CORPORACION 2M N S.A.C.
JEFE DE METROLOGIA LAB.02
jmetrologia@2myn.com
Fecha: 03/01/2023 12:51
Firmado con www.tocapu.pe



VELASCO NAVARRO MIRIAN
ARACELI
CORPORACION 2M N S.A.C.
GERENTE GENERAL
logistica@2myn.com
Fecha: 03/01/2023 23:39
Firmado con www.tocapu.pe

Cód. de Servicio: 02150-A

Cód. FT-M-02 Rev. 06

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN ESCRITA POR CORPORACIÓN 2M & N S.A.C.
Jr. Chiclayo N° 489 Int. A Rimac - Lima - Perú | Telf.: (01) 381-6230 RPC: 989-645-623 / 961-505-209
Página web: www.2myn.com | Correos: ventas@2myn.com | metrologia@2myn.com

Figura 82 — Certificado de calibración de balanza



LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR LTDA.

Calle Ricardo Palma No. 998 Urb. San Joaquín - Bellavista - Callao
 (+51 1) 562 1263 Cel: 986 654 547 - 943 827 118
 www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA
NA-6821-003 RO

Certificado de Calibración - Laboratorio de Longitud

Calibration Certificate - Dimensional Metrology Laboratory

Página / Pág 1 de 3

Equipo COMPARADOR DE CARATULA

Instrument

Fabricante BAKER

Manufacturer

Modelo TYPE K50

Model

Número de Serie FBD360

Serial Number

Identificación Interna No presenta

Internal Identification

Intervalo de Medición 0 in a 1 in

Measurement Range

Solicitante LUNIX INGENIEROS S.R.L.

Customer

Dirección AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB.
 CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA
 GLORIA) APURIMAC - ABANCAY - ABANCAY

Address

Ciudad APURIMAC - ABANCAY

City

Fecha de Calibración 2023 - 04 - 26

Date of Calibration

Fecha de Emisión 2023 - 04 - 28

Date of Issue

Número de páginas del certificado, incluyendo anexos

Number of pages of the certificate and documents attached

03

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan Certificado

Signatures Authorizing the Certificate

Felix Jaramillo Castillo
 Metrologo - PINZUAR PERU

LMPC-26-F-01 R5.3

Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados reportados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI). El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

This calibration certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.

Figura 83 — Certificado de calibración de deformímetro



LABORATORIO DE METROLOGÍA PINZUAR S.A.S.
 Carrera 104 B No. 18 - 26 Bogotá D.C. - Colombia
 (+57 60 1) 745 4555 • Cel: 316 538 5810 - 317 423 3640
 www.pinzuar.com.co



LABORATORIO DE METROLOGÍA



150/IEC 17025:2017
11-LAC-004

Certificado de Calibración - Laboratorio de Temperatura
Calibration Certificate - Temperature Laboratory

T-28988-003 RO

Page / Pág 1 de 3

Equipo <i>Instrument</i>	HORNO	<p>Los resultados emitidos en este certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.</p> <p>Este certificado de calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados reportados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).</p> <p>El usuario es responsable de la calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.</p> <p><i>The results issued in this certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.</i></p> <p><i>This calibration certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).</i></p> <p><i>The user is responsible for recalibrating the measuring instruments at appropriate time intervals.</i></p>
Fabricante <i>Manufacturer</i>	PINZUAR	
Modelo <i>Model</i>	PG-2002	
Número de Serie <i>Serial Number</i>	174	
Identificación Interna <i>Internal Identification</i>	No presenta	
Intervalo de Medición <i>Measurement Range</i>	30 °C a 200 °C	
Solicitante <i>Customer</i>	LUNIX INGENIEROS S.R.L.	
Dirección <i>Address</i>	AV. ANTONIO SALAS BERTY NRO. 107 URB. CONDEBAMBA (DETRAS DEL COLEGIO VILLA GLORIA)	
Ciudad <i>City</i>	APURIMAC - ABANCAY	
Fecha de Calibración <i>Date of Calibration</i>	2023 - 05 - 10	
Fecha de Emisión <i>Date of Issue</i>	2023 - 05 - 17	
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos <i>Number of pages of the certificate and documents attached</i>	03	

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el informe, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del certificado no se saquen de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.
 Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.



Ing. Sergio Iván Martínez
Director Laboratorio de Metrología



Tecg. Andrés Molina Ruiz
Metrólogo Laboratorio de Metrología

LMP-021-01-1914



ALTA TECNOLOGÍA CON CALIDAD HUMANA AL SERVICIO DEL MUNDO
 Fuerza | Longitud | Masa | Par Torsional | Presión | Temperatura

Figura 84 — Certificado de calibración de horno eléctrico



Anexo E

Ensayos de laboratorio

	TESIS:	Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024	
	TESISTA:	Bach. Yosemite Hery Moreano Carrasco	
	ENSAYO:	Densidad básica	
	NORMA:	NTP 251.011: 2014 (revisada el 2019)	
	ESPECIE:	Cedrelinga Catenaeformis	



Fecha de ensayo: 16/10/2024

Cód. Probeta	C.H. (%)	Peso seco (g)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)
DB - 01	10.80	50.65	3.38	3.39	10.49
DB - 02	10.40	45.70	3.19	2.97	10.13
DB - 03	11.40	49.71	3.23	3.10	10.23
DB - 04	11.00	47.15	2.99	3.16	10.09
DB - 05	11.30	35.31	3.27	3.15	9.35
DB - 06	10.90	49.02	3.18	3.06	9.86
DB - 07	10.80	35.06	3.20	3.06	10.35
DB - 08	11.30	40.37	3.13	3.24	9.53
DB - 09	11.40	39.21	3.00	3.01	10.18
DB - 10	11.10	38.92	3.17	2.88	10.51
DB - 11	10.80	48.80	3.00	3.23	10.40
DB - 12	10.90	39.39	3.32	3.28	10.47
DB - 13	10.70	51.47	3.32	2.91	10.73
DB - 14	11.10	43.73	3.15	3.02	9.77
DB - 15	10.80	37.30	2.96	2.96	9.44
DB - 16	11.40	50.18	3.38	3.17	9.50
DB - 17	10.20	52.99	3.29	3.38	10.06
DB - 18	10.90	40.87	3.30	2.90	9.73
DB - 19	10.40	37.77	3.30	2.88	9.40
DB - 20	11.10	43.05	3.36	3.20	9.91



 JOSÉ AUGUSTO QUIJPE MÚNAREZ
 ING. CIVIL
 CIP. N° 300569

Figura 85 — Ensayo de densidad básica

	TESIS:	Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024	
	TESISTA:	Bach. Yosemite Hery Moreano Carrasco	
	ENSAYO:	Cizallamiento paralelo al grano	
	NORMA:	NTP 251.013: 2015	
	ESPECIE:	Cedrelinga Catenaeformis	

Fecha de ensayo: 17/10/2024

Cód. Probeta	CH (%)	Peso (g)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Largo (cm)	P (kg)
CZ - 01	11.10	80.90	5.00	5.00	6.30	779.81
CZ - 02	11.40	86.00	5.00	5.00	6.30	961.44
CZ - 03	10.50	59.90	5.00	5.00	6.30	844.95
CZ - 04	10.20	73.80	5.00	5.00	6.30	958.44
CZ - 05	11.50	87.50	5.00	5.00	6.30	890.31
CZ - 06	11.30	83.60	5.00	5.00	6.30	808.30
CZ - 07	12.10	82.20	5.00	5.00	6.30	1098.10
CZ - 08	11.20	82.70	5.00	5.00	6.30	826.35
CZ - 09	11.30	86.50	5.00	5.00	6.30	844.53
CZ - 10	10.90	83.50	5.00	5.00	6.30	820.87
CZ - 11	12.20	83.80	5.00	5.00	6.30	735.58
CZ - 12	11.80	85.90	5.00	5.00	6.30	793.68
CZ - 13	10.60	53.20	5.00	5.00	6.30	891.79
CZ - 14	10.70	81.20	5.00	5.00	6.30	619.62
CZ - 15	11.50	83.60	5.00	5.00	6.30	1230.33
CZ - 16	10.20	54.50	5.00	5.00	6.30	800.72
CZ - 17	11.90	88.00	5.00	5.00	6.30	980.55
CZ - 18	12.30	86.20	5.00	5.00	6.30	749.36
CZ - 19	12.00	56.60	5.00	5.00	6.30	794.33
CZ - 20	11.90	71.40	5.00	5.00	6.30	832.15



 JOSÉ AUGUSTO QUIJPE MUNARES
 ING. CIVIL
 C.I.P. N° 300569

Figura 86 — Ensayo de cizallamiento paralelo al grano

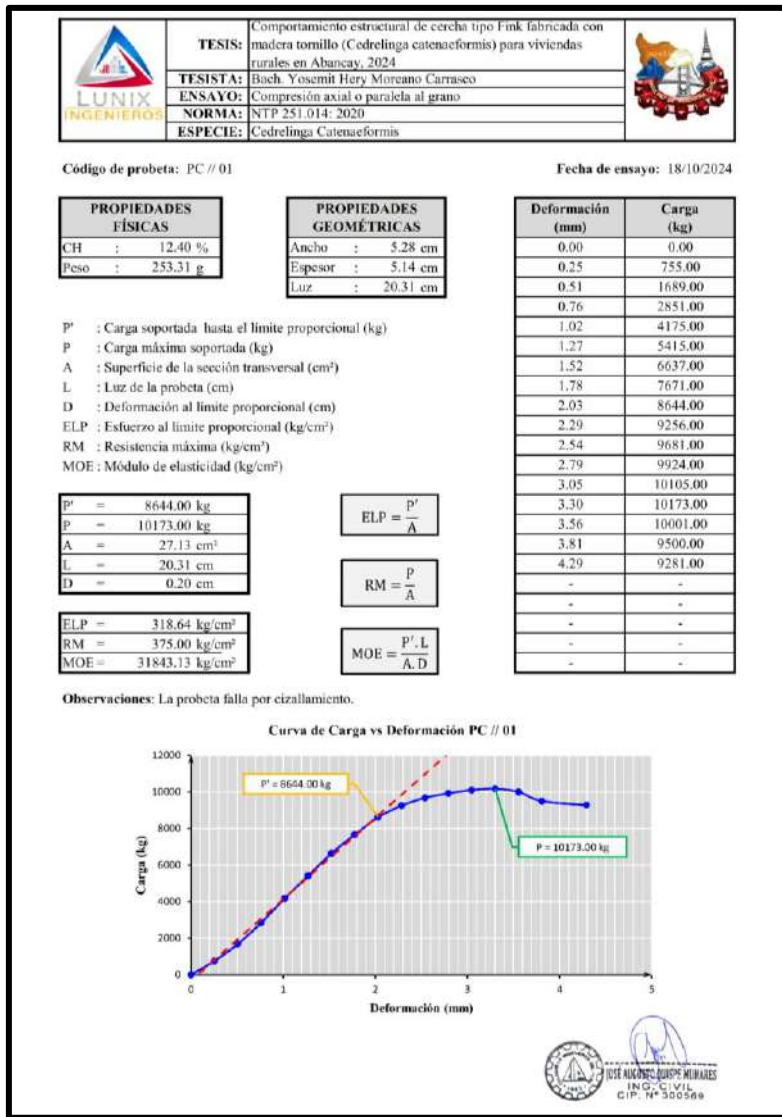


Figura 87 — Ensayo de compresión paralela de PC // 01

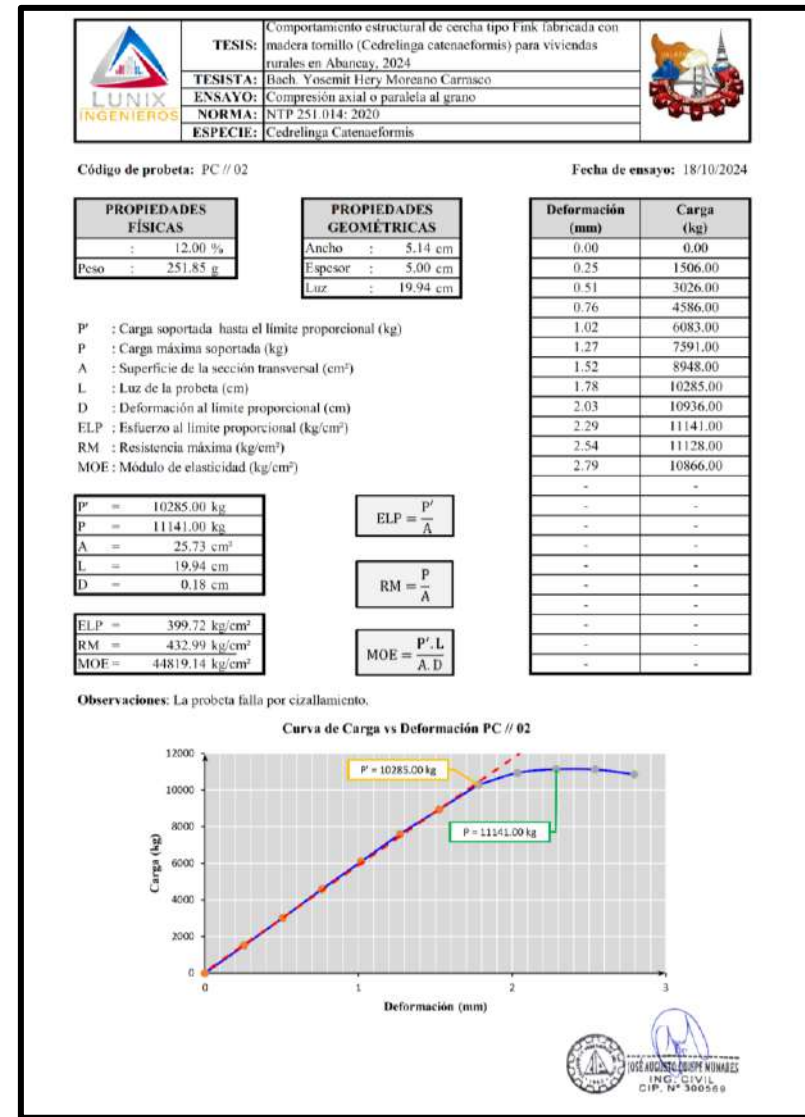


Figura 88 — Ensayo de compresión paralela de PC // 02

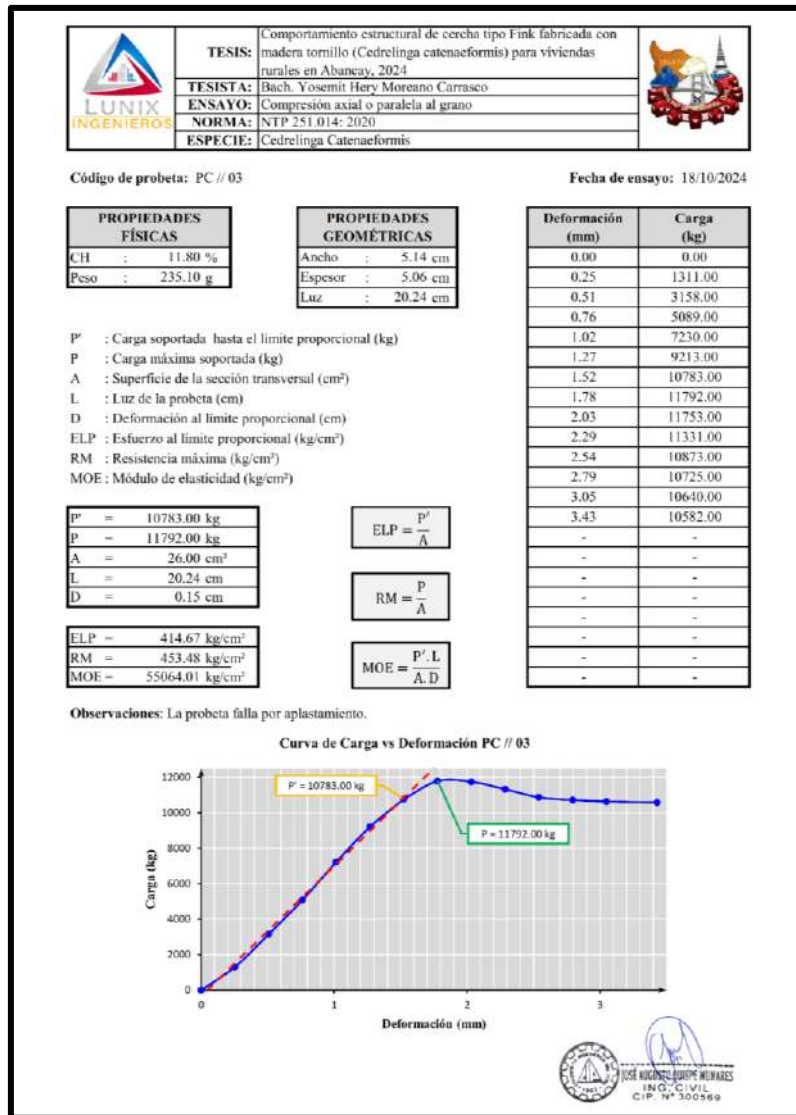


Figura 89 — Ensayo de compresión paralela de PC // 03

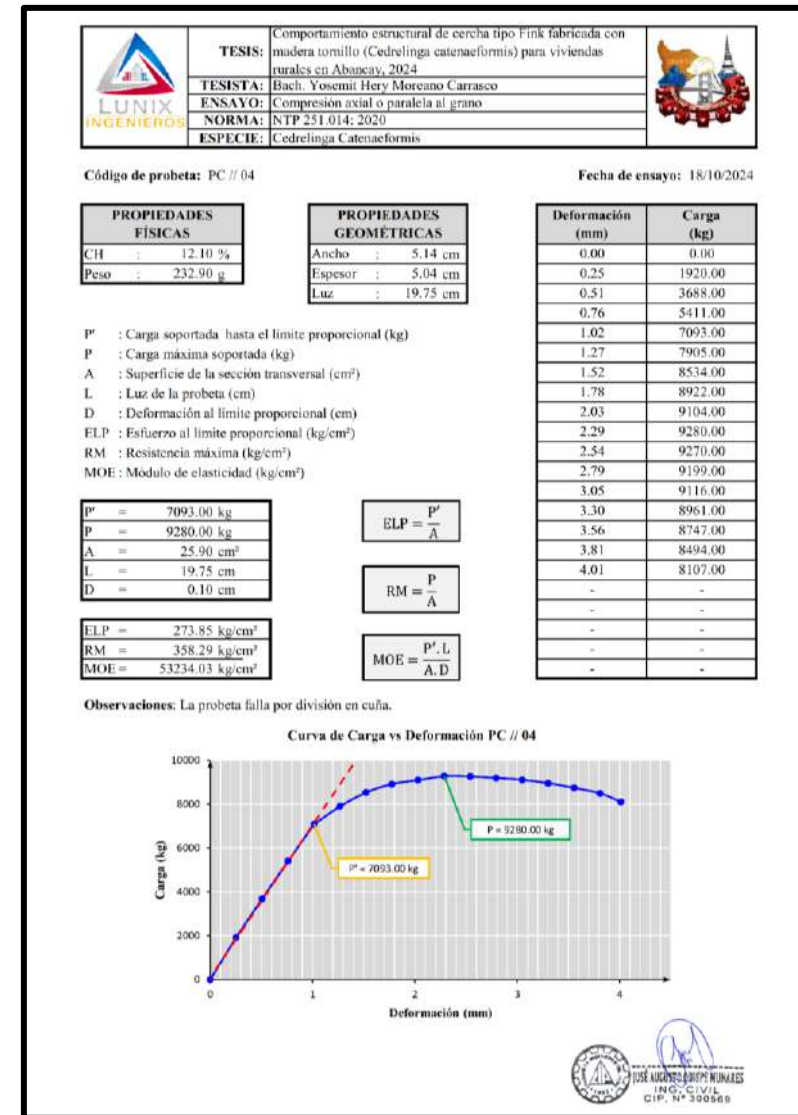


Figura 90 — Ensayo de compresión paralela de PC // 04

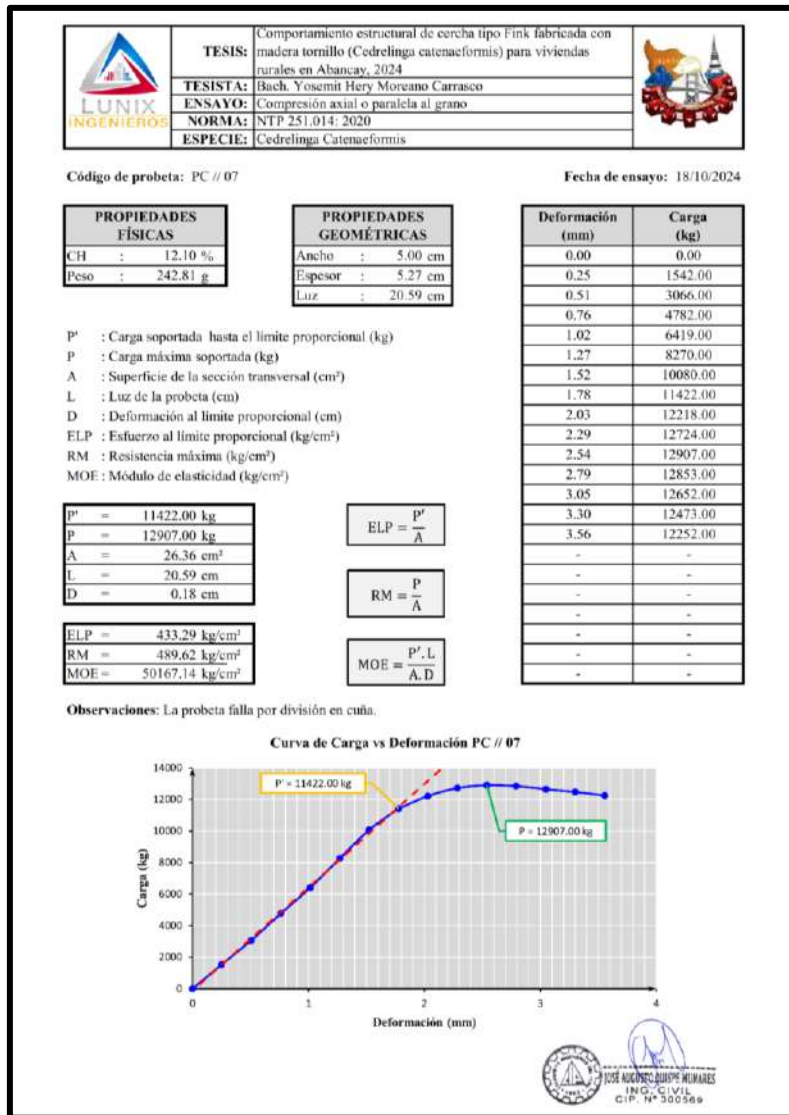


Figura 93 — Ensayo de compresión paralela de PC // 07

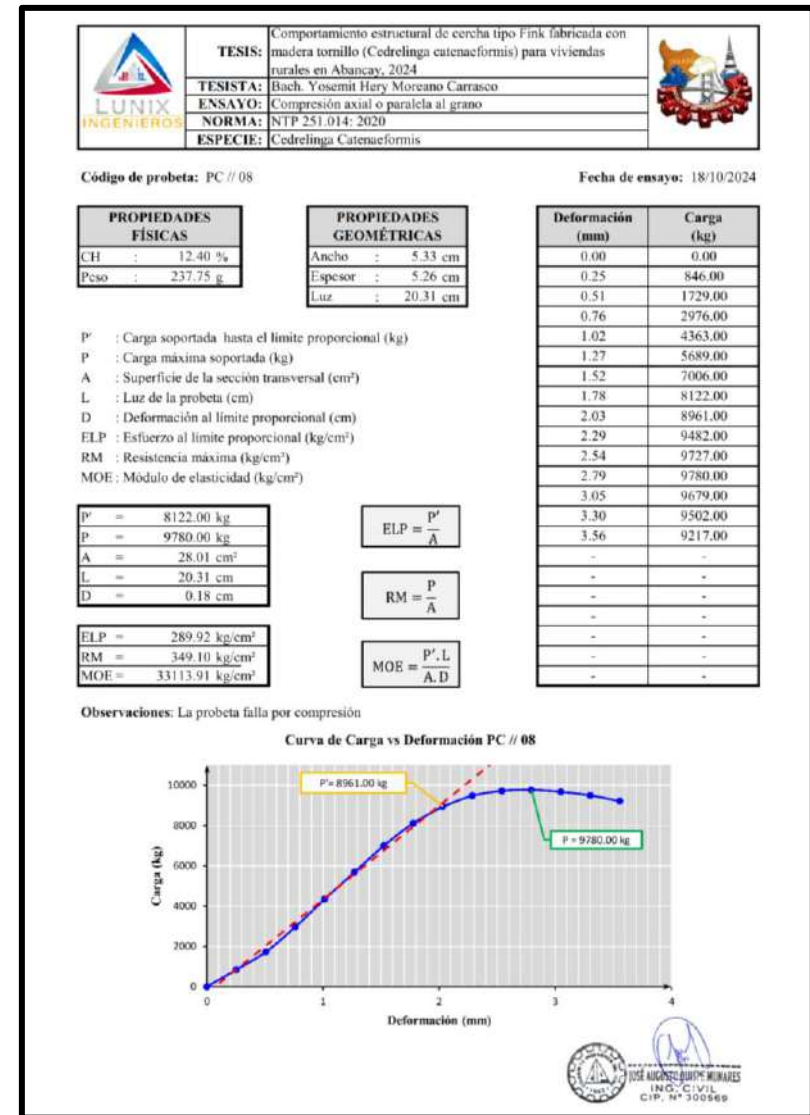


Figura 94 — Ensayo de compresión paralela de PC // 08

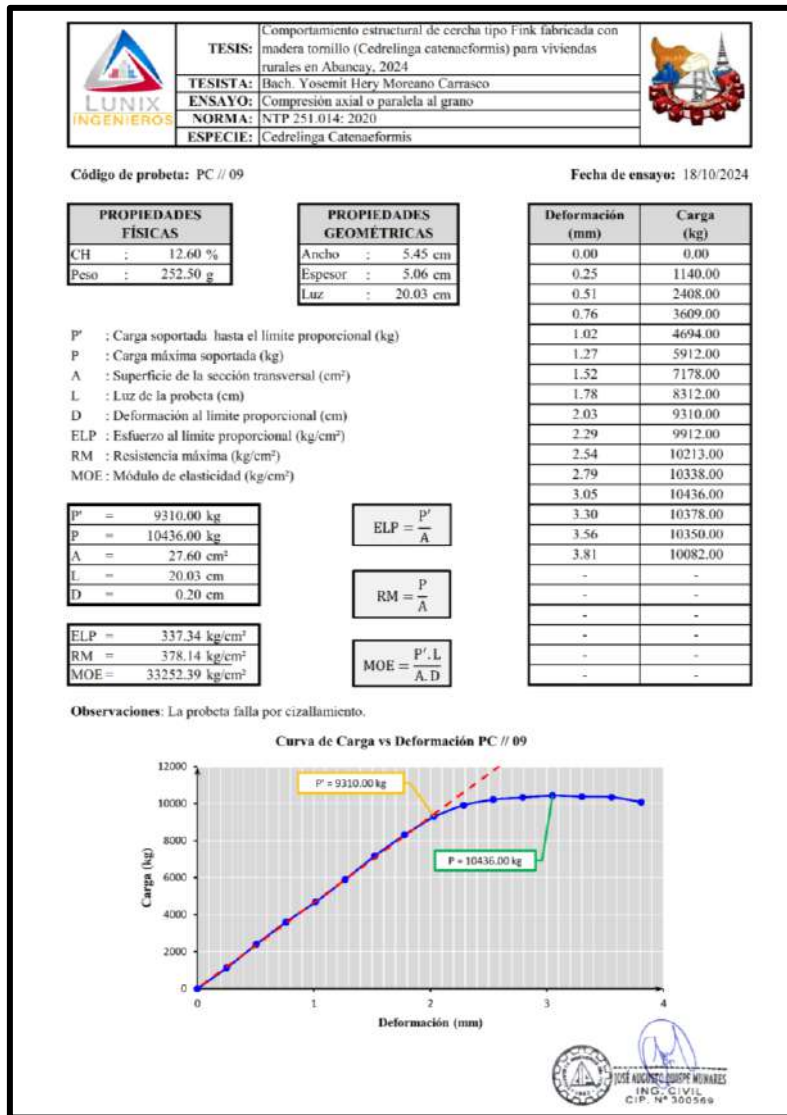


Figura 95 — Ensayo de compresión paralela de PC // 09

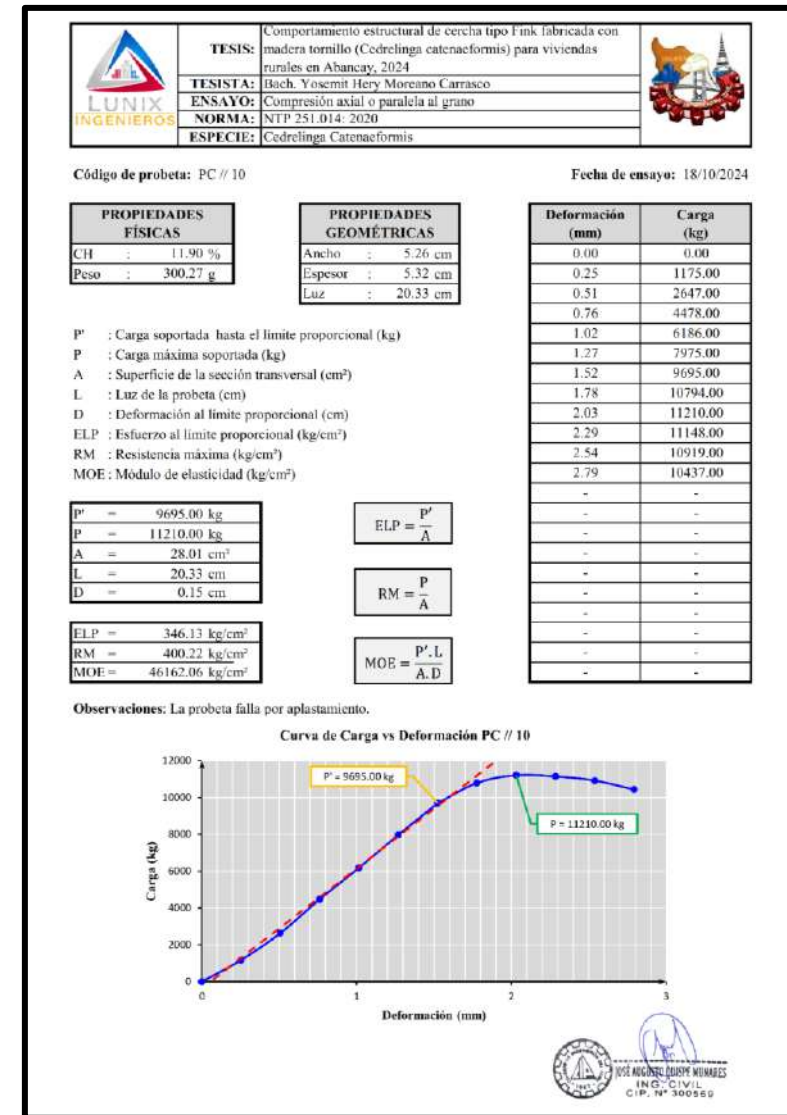


Figura 96 — Ensayo de compresión paralela de PC // 10

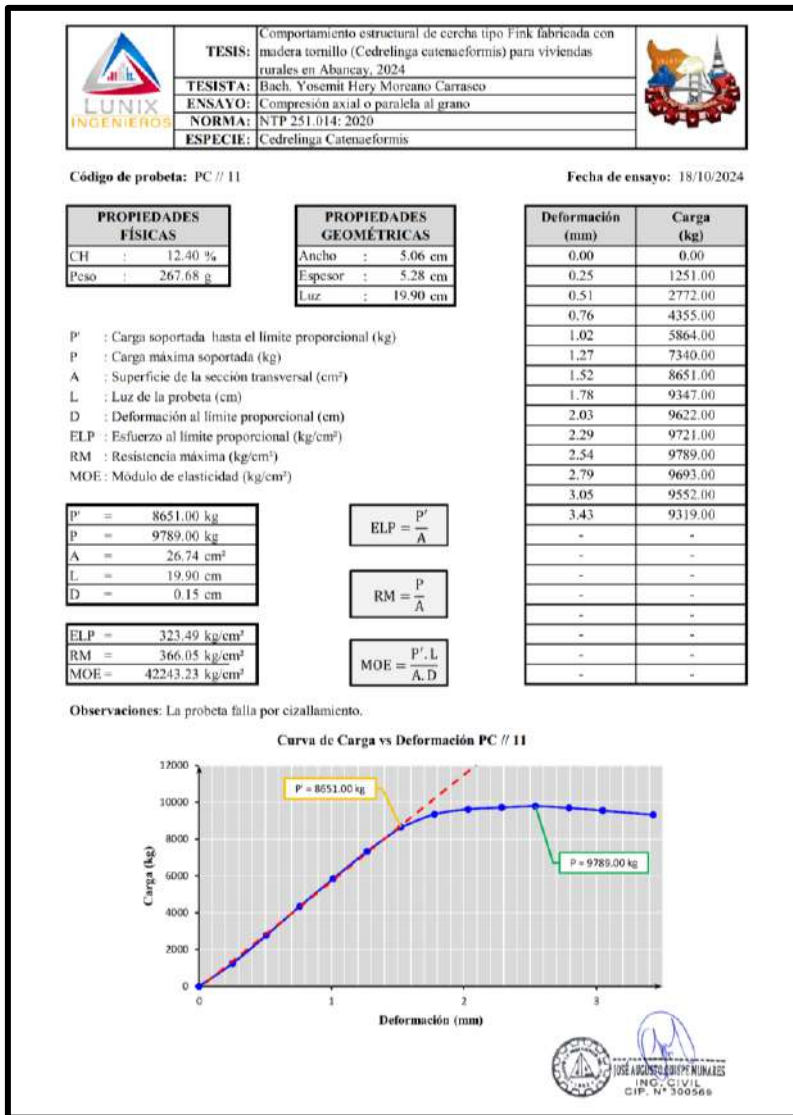


Figura 97 — Ensayo de compresión paralela de PC // 11

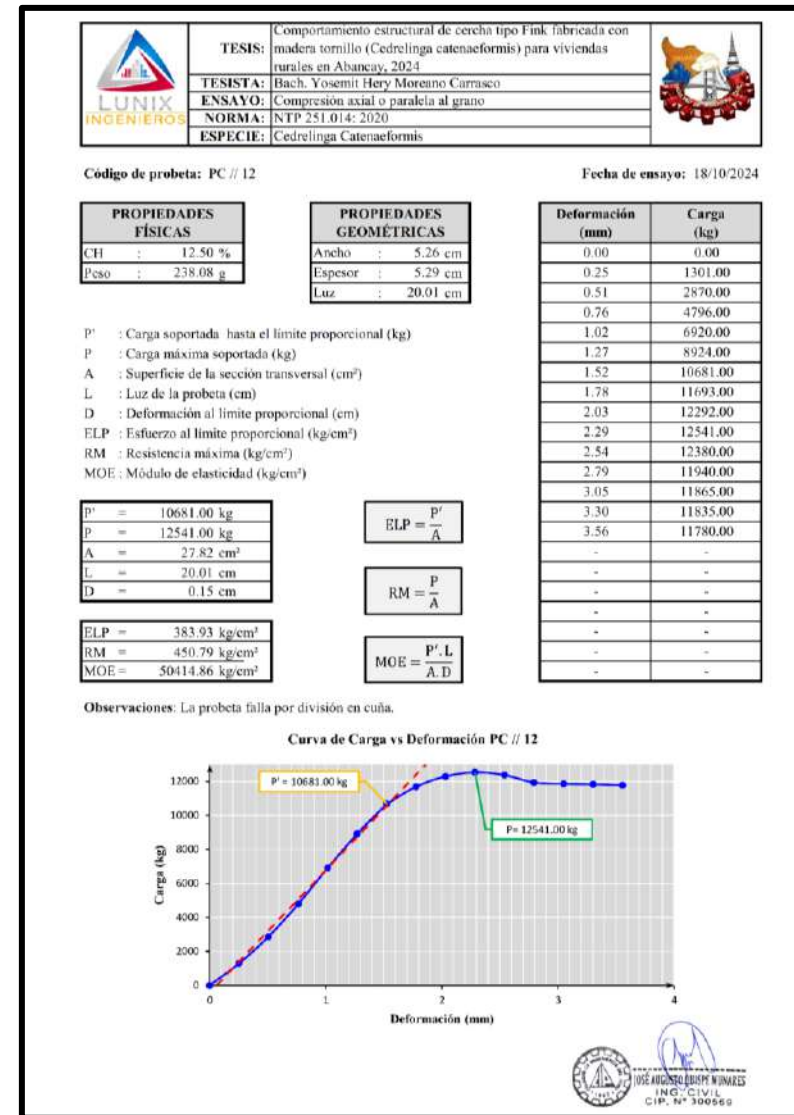


Figura 98 — Ensayo de compresión paralela de PC // 12

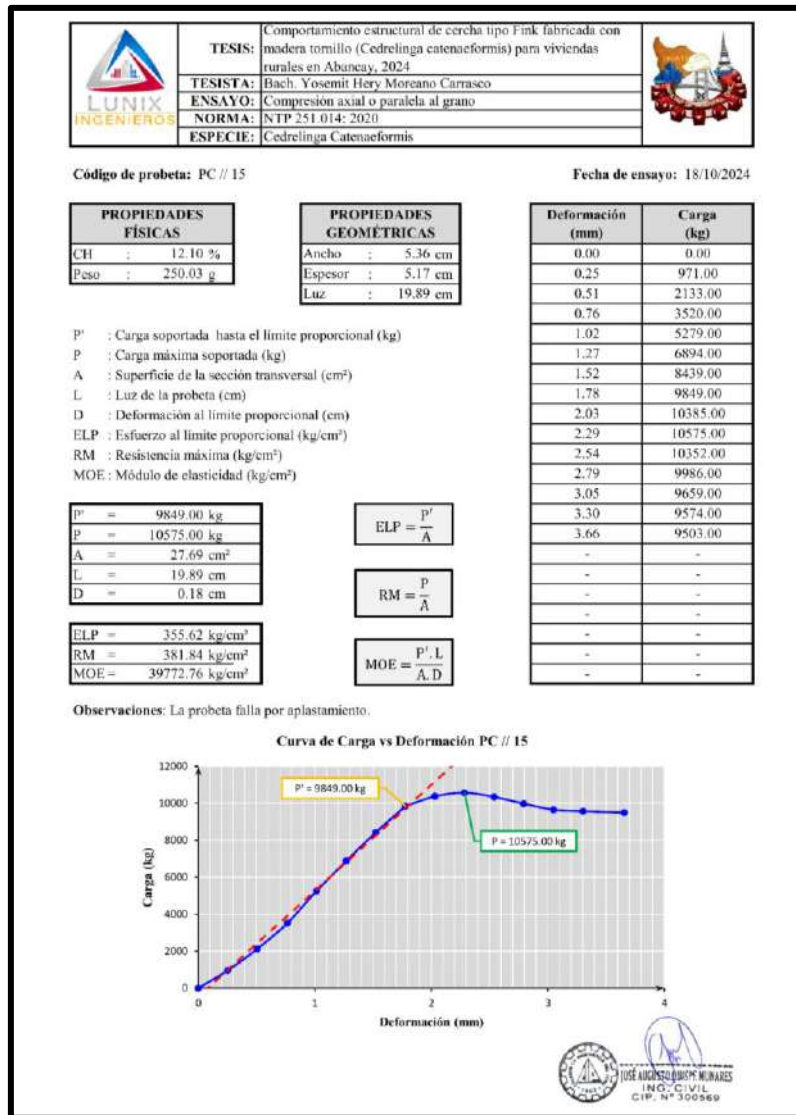


Figura 101 — Ensayo de compresión paralela de PC // 15

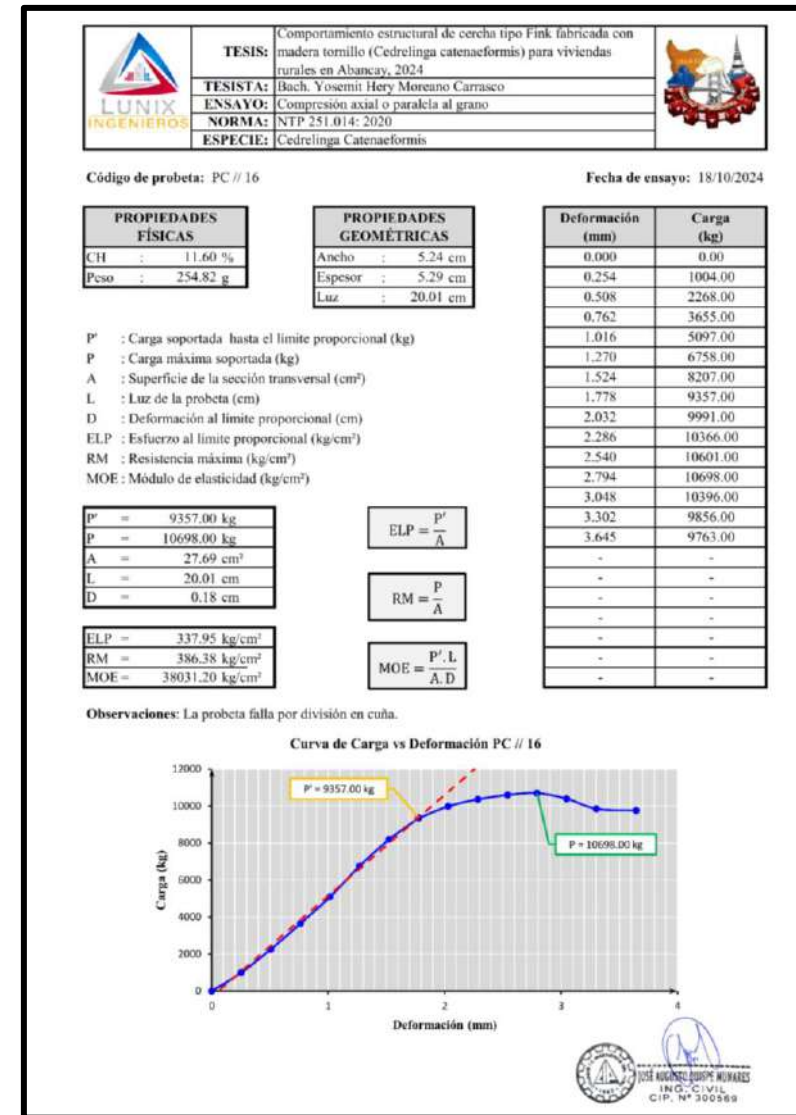


Figura 102 — Ensayo de compresión paralela de PC // 16

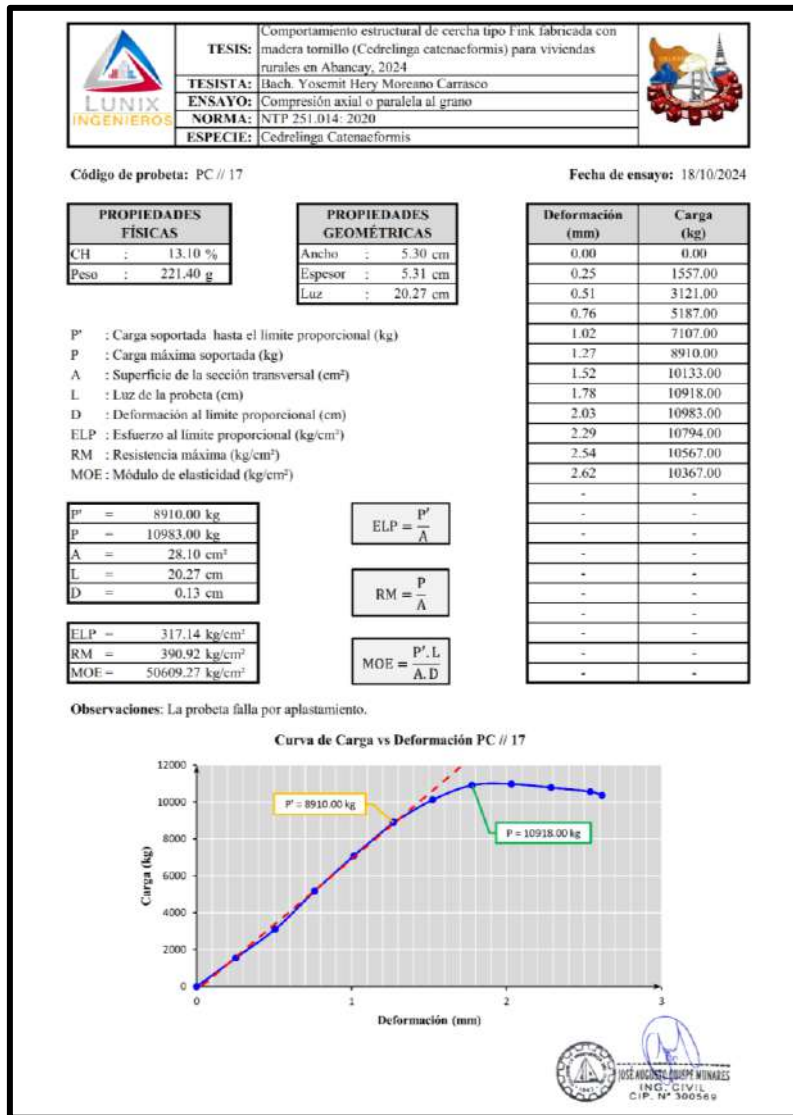


Figura 103 — Ensayo de compresión paralela de PC // 17

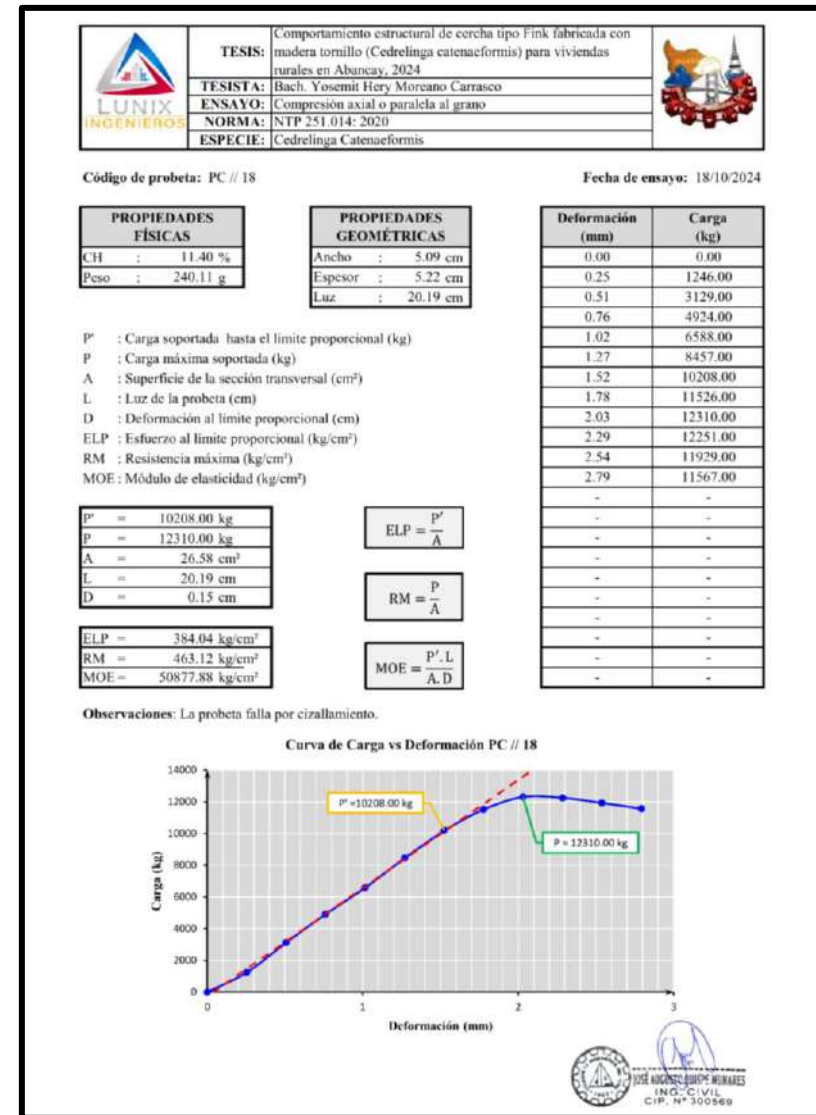


Figura 104 — Ensayo de compresión paralela de PC // 18

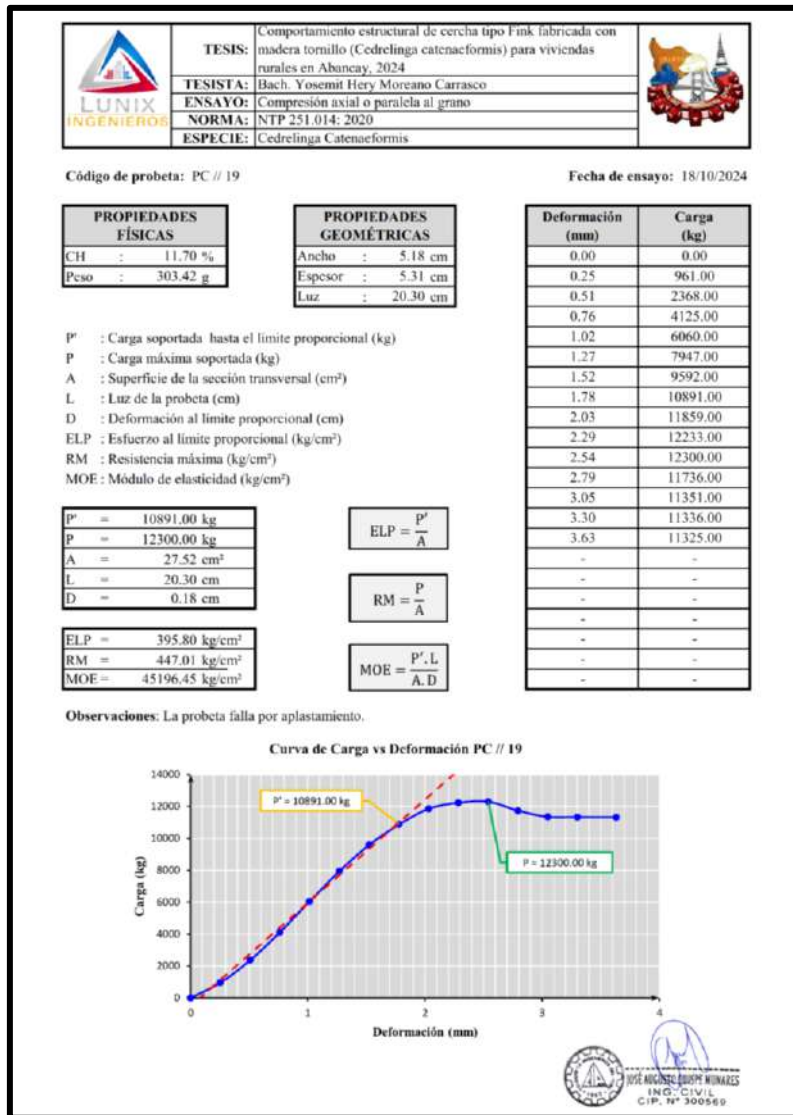


Figura 105 — Ensayo de compresión paralela de PC // 19

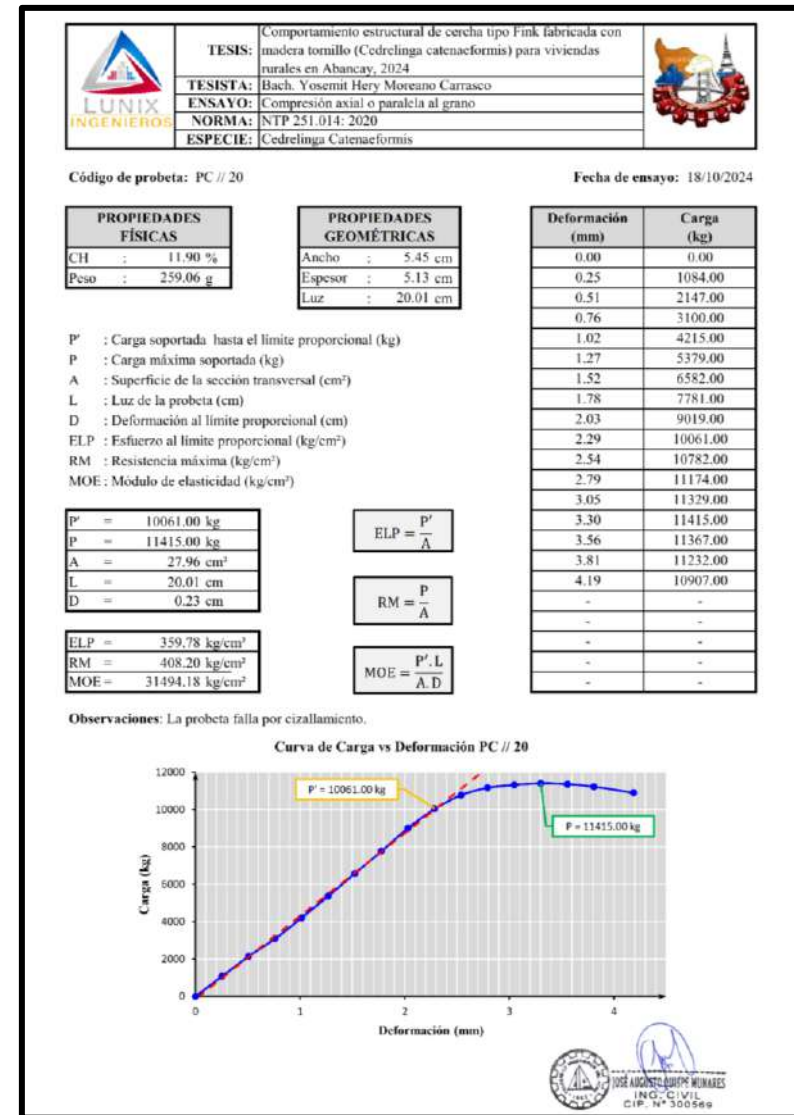


Figura 106 — Ensayo de compresión paralela de PC // 20

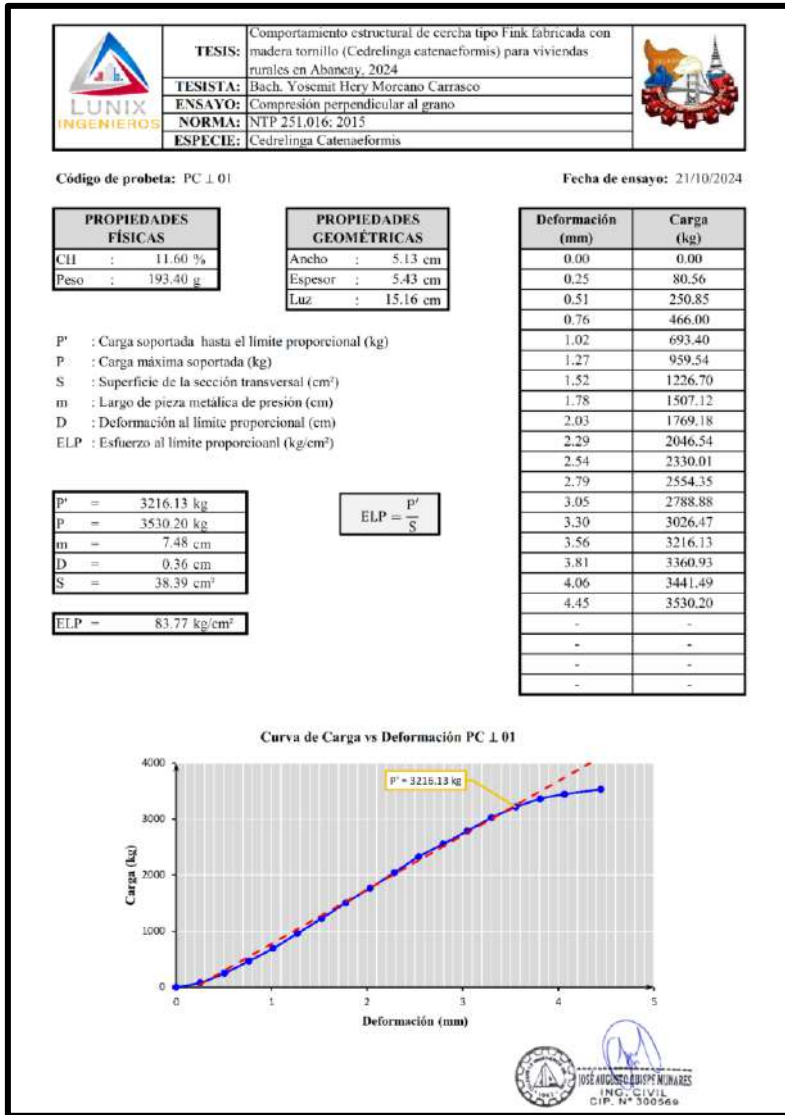


Figura 107 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 01

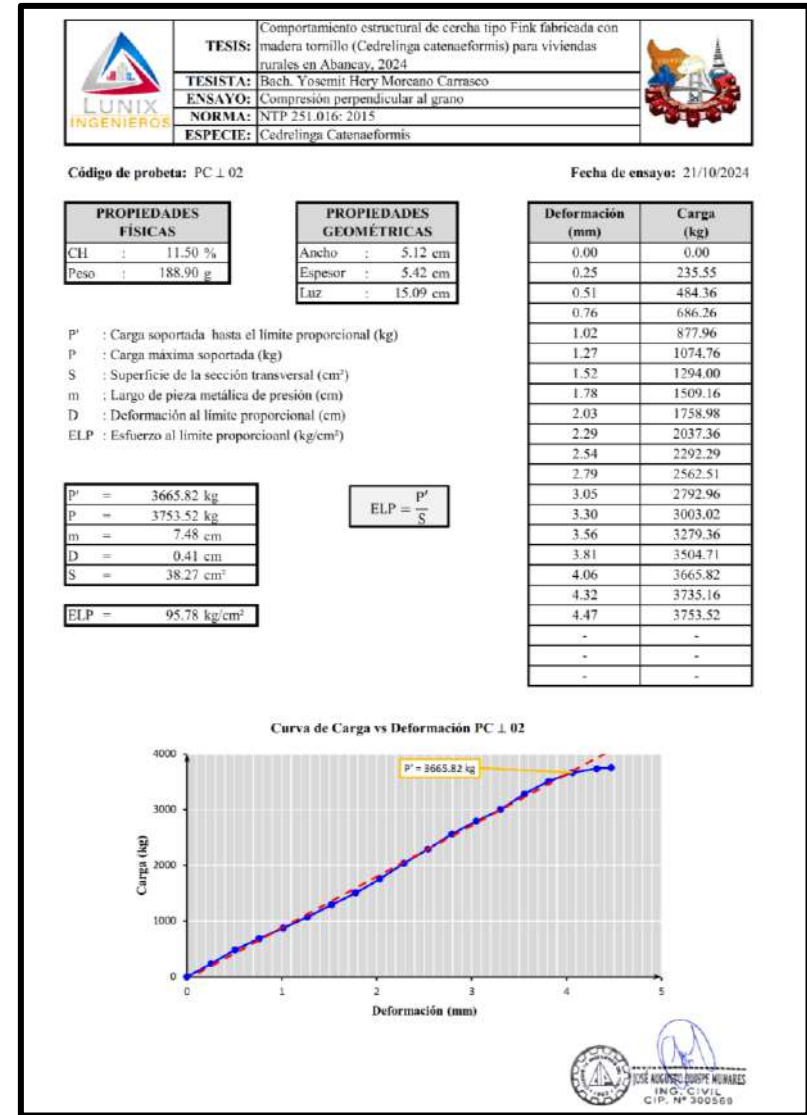


Figura 108 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 02

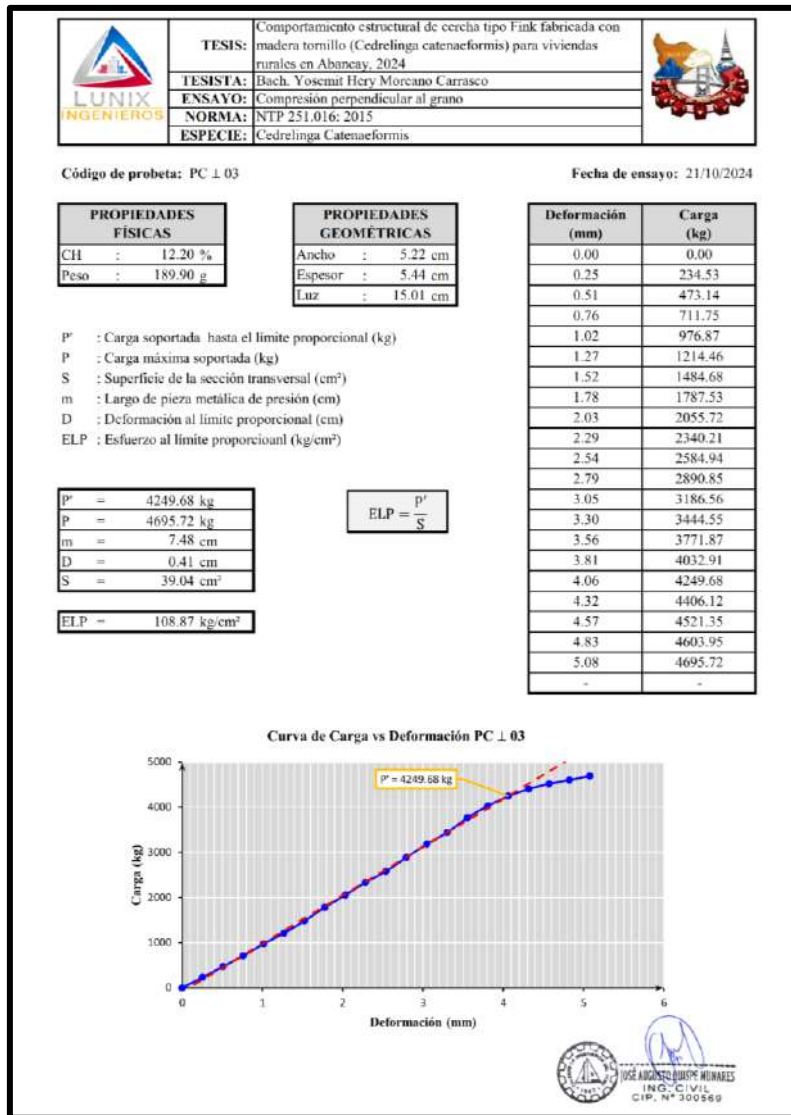


Figura 109 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 03

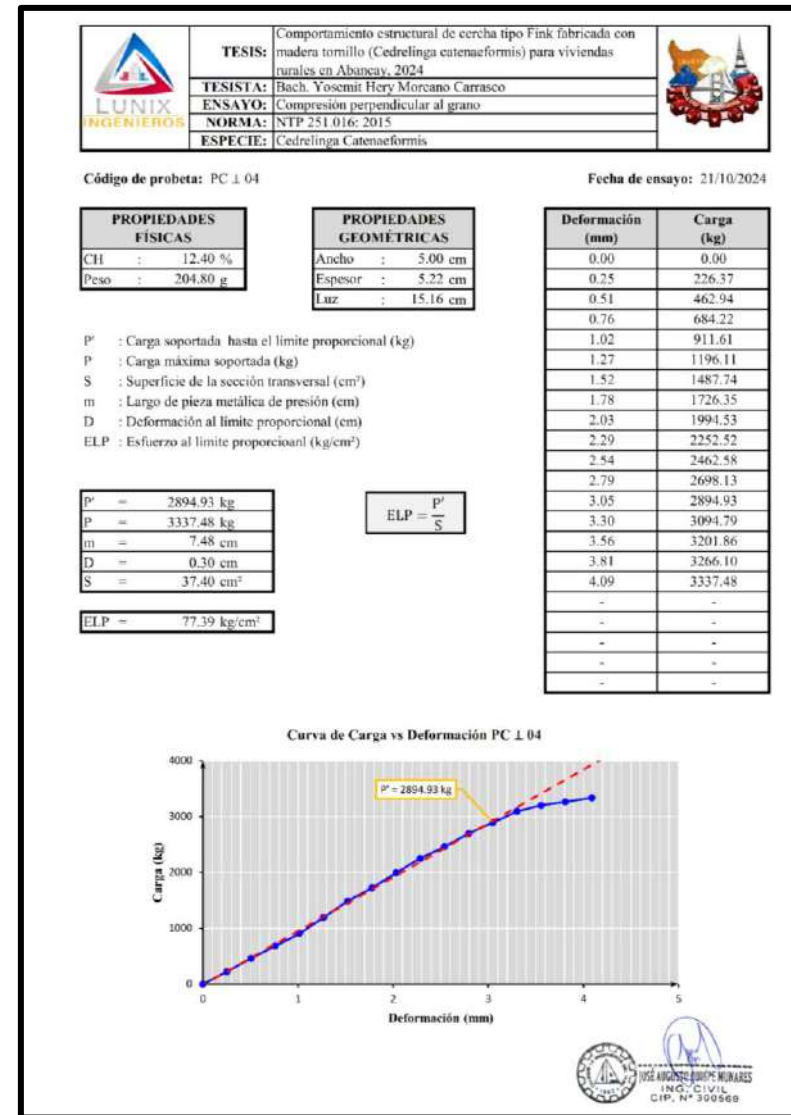


Figura 110 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 04

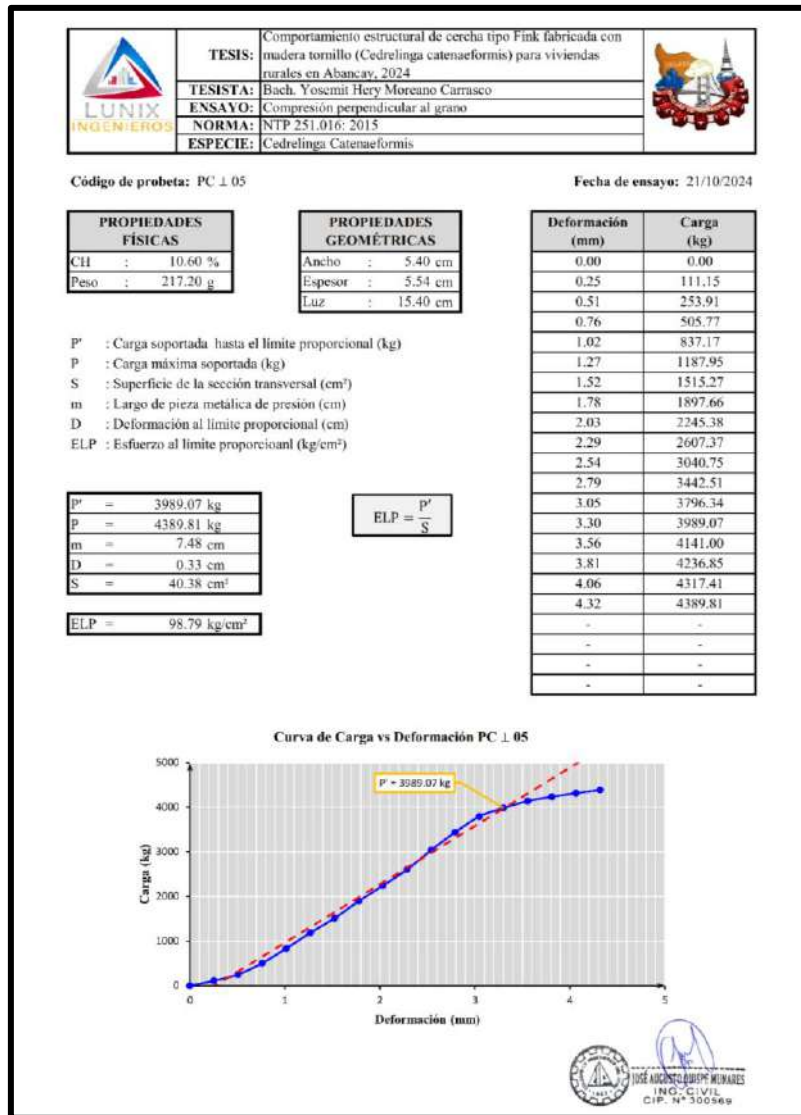


Figura 111 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 05

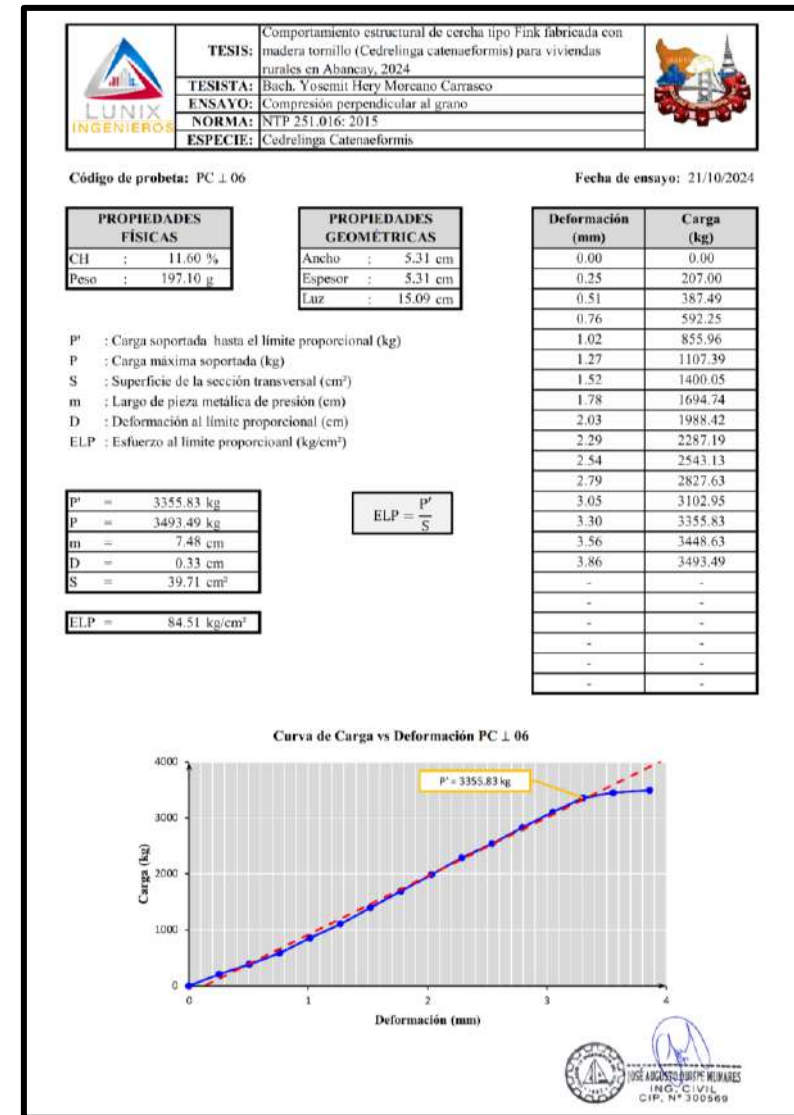


Figura 112 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 06

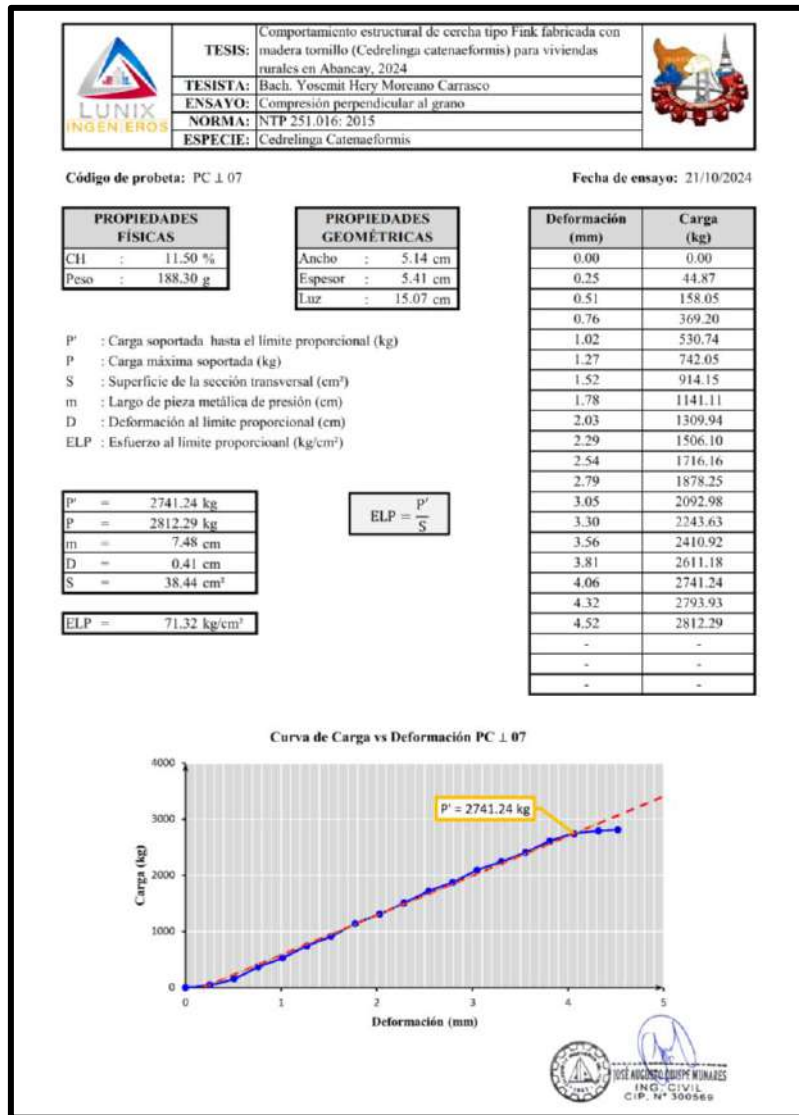


Figura 113 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 07

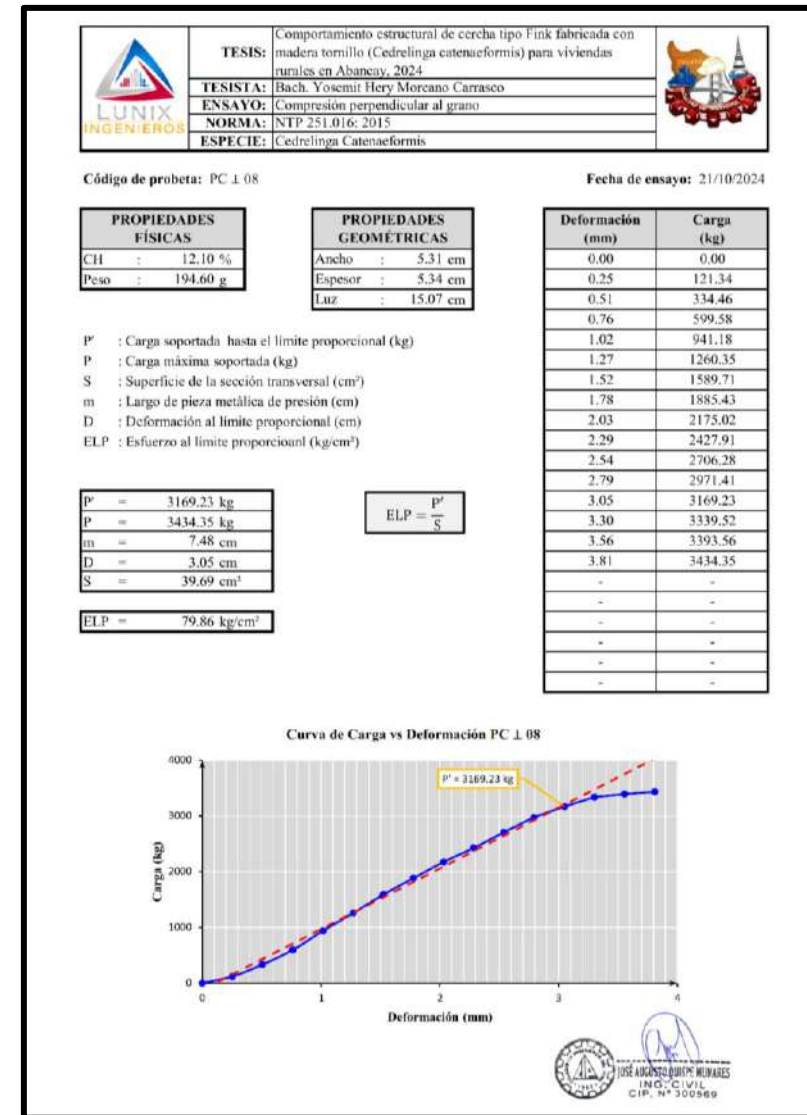


Figura 114 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 08

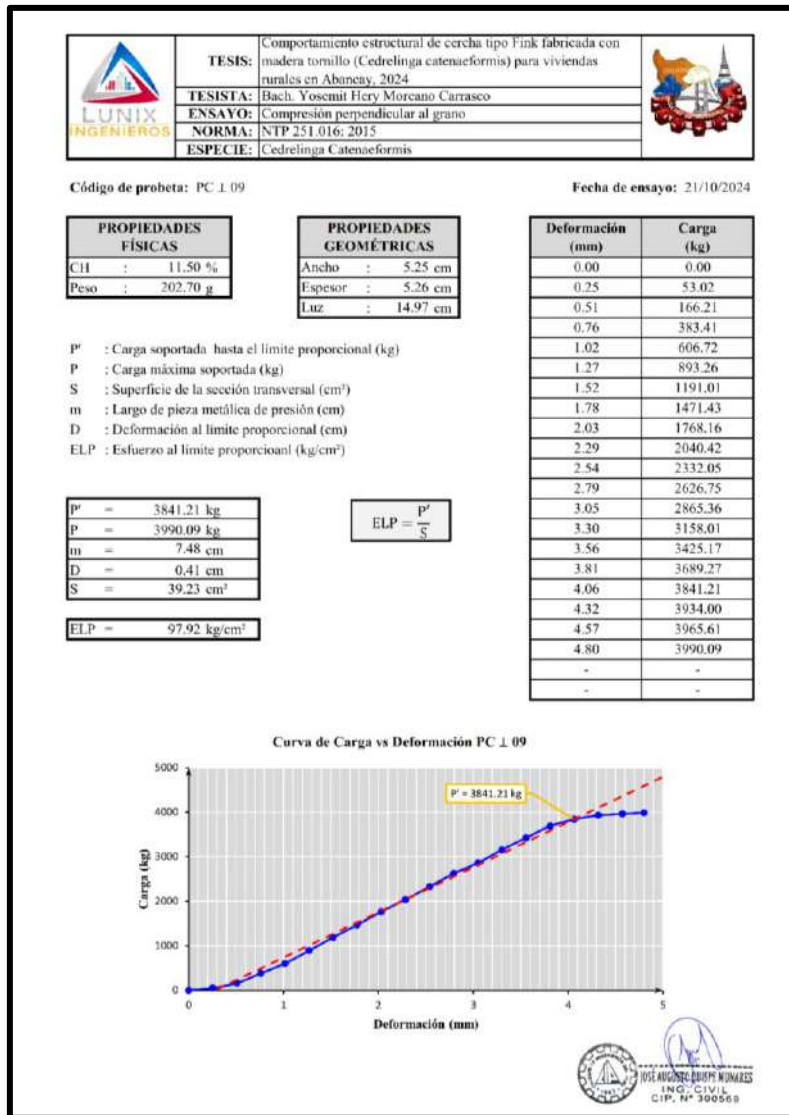


Figura 115 — Ensayo de compresión perpendicular de PC ⊥ 09

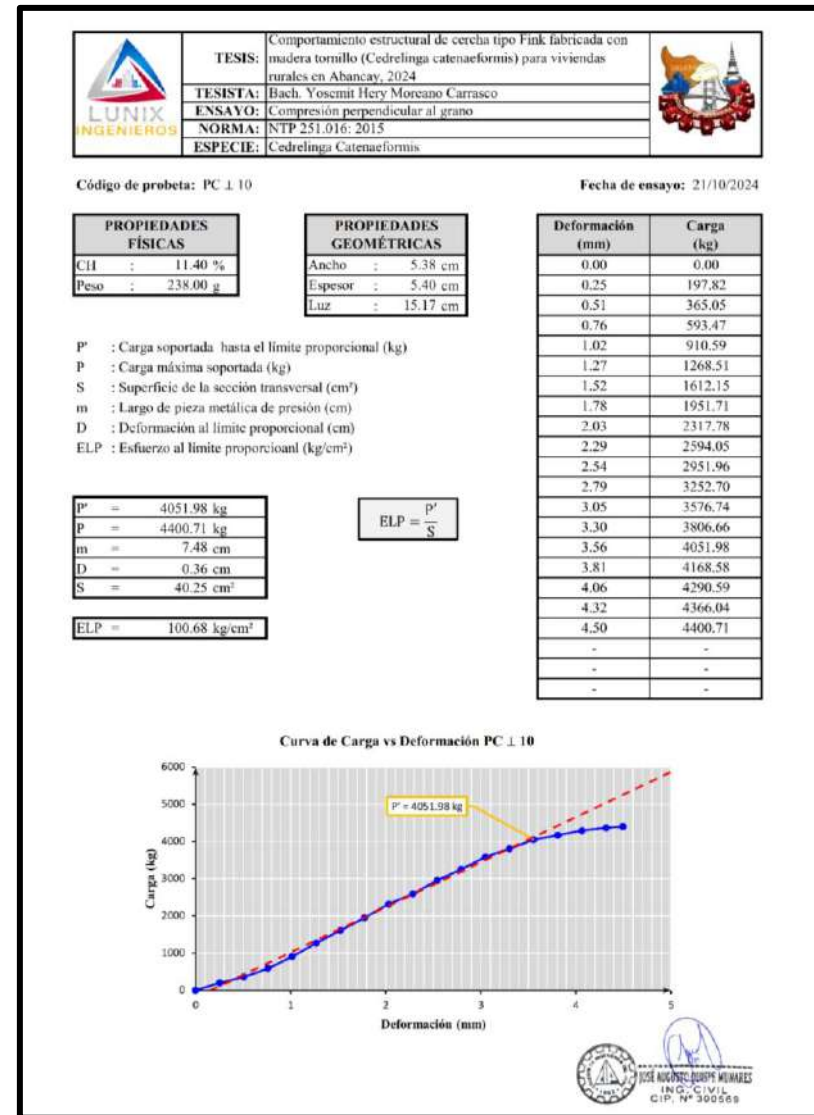


Figura 116 — Ensayo de compresión perpendicular de PC ⊥ 10

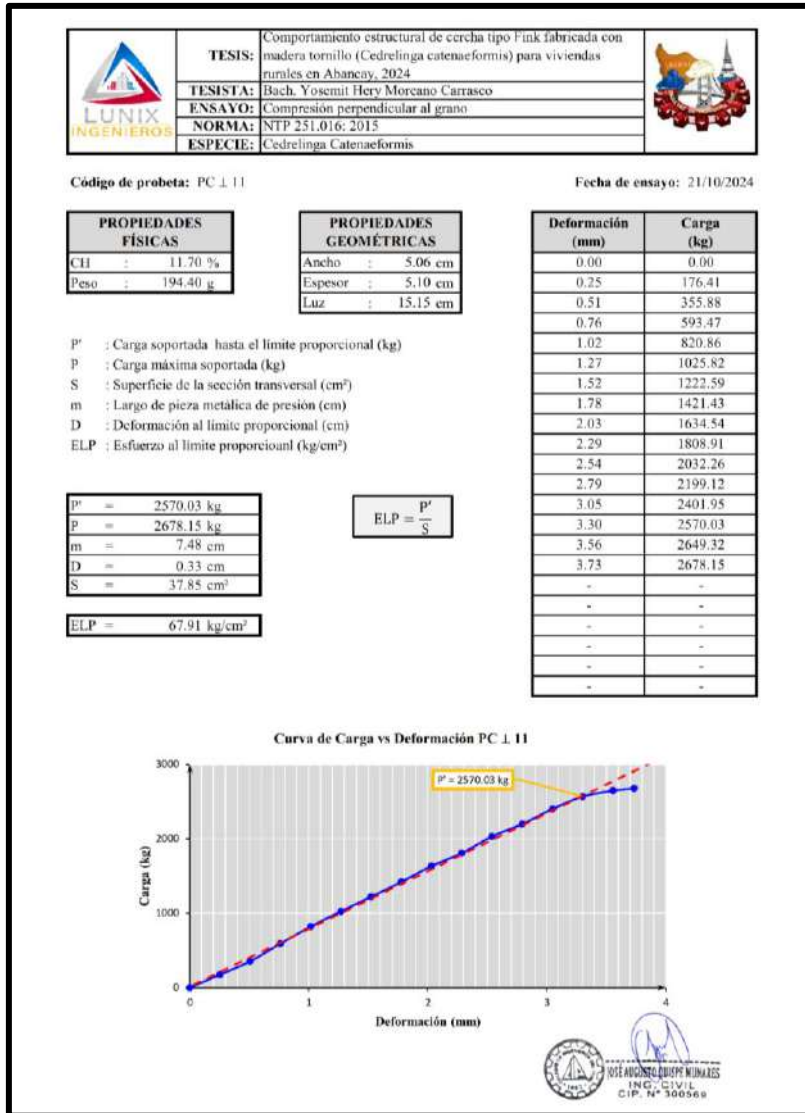


Figura 117 — Ensayo de compresión perpendicular de PC ⊥ 11

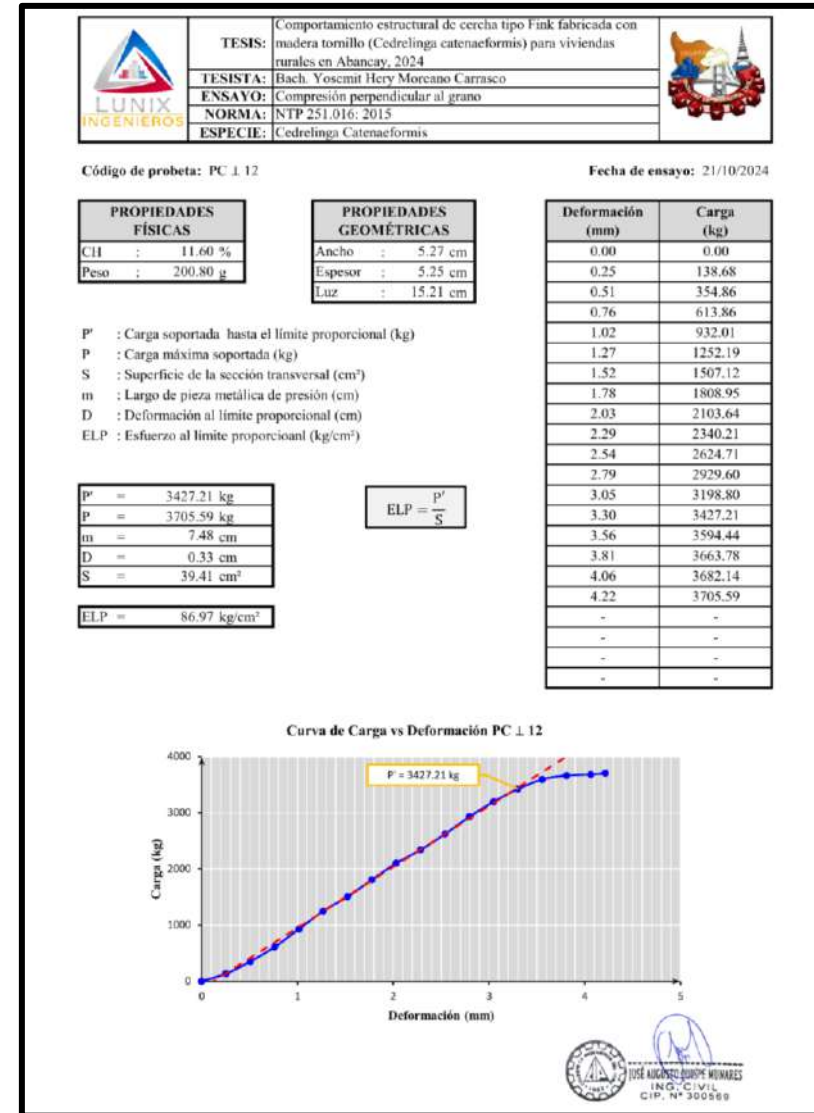


Figura 118 — Ensayo de compresión perpendicular de PC ⊥ 12

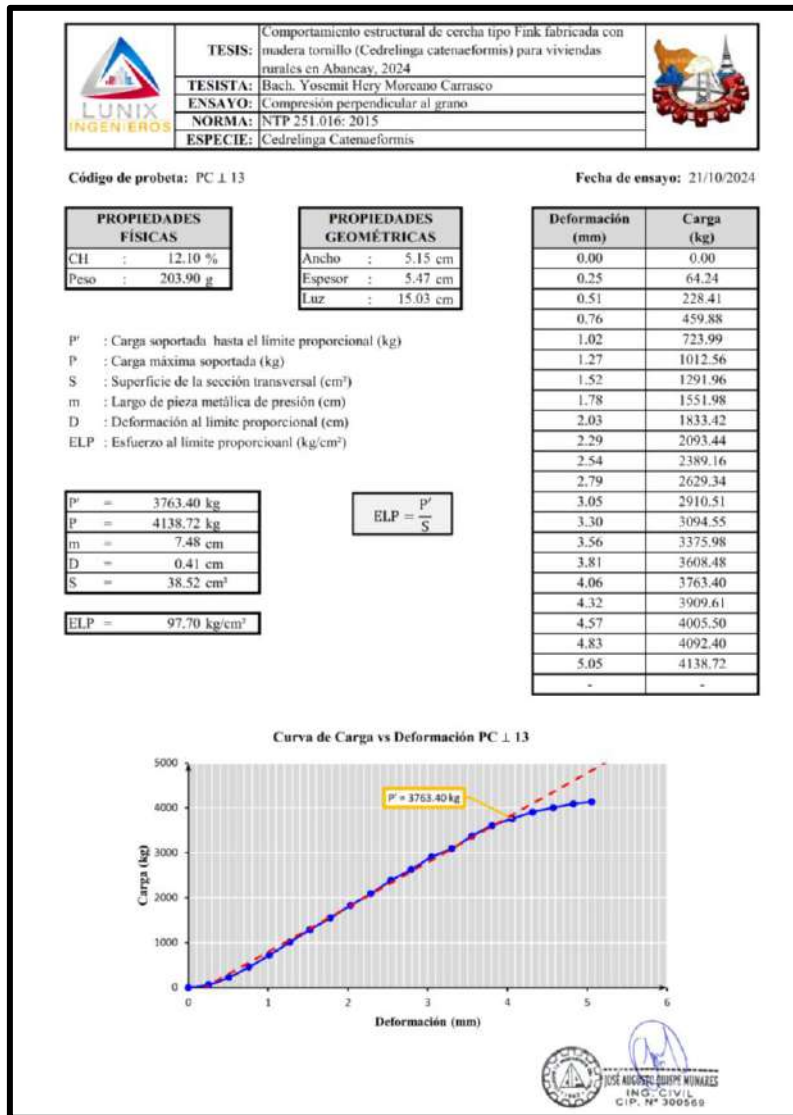


Figura 119 — Ensayo de compresión perpendicular de PC ⊥ 13

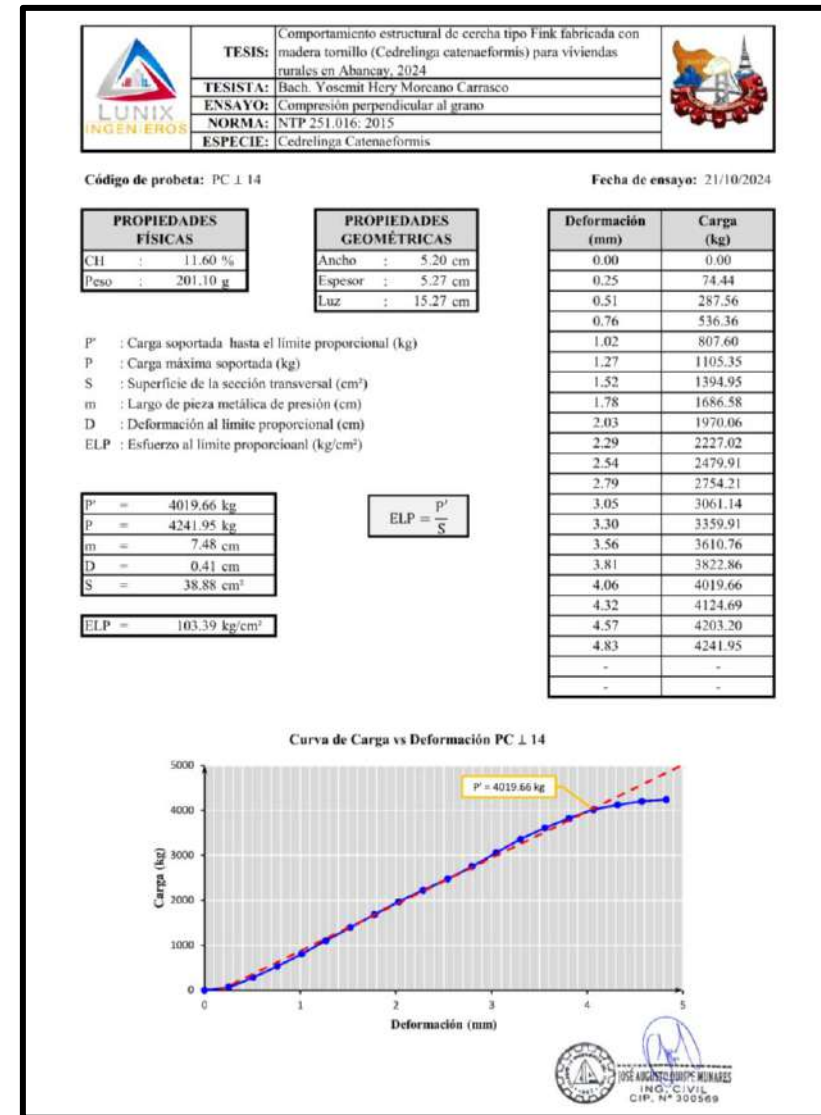


Figura 120 — Ensayo de compresión perpendicular de PC ⊥ 14

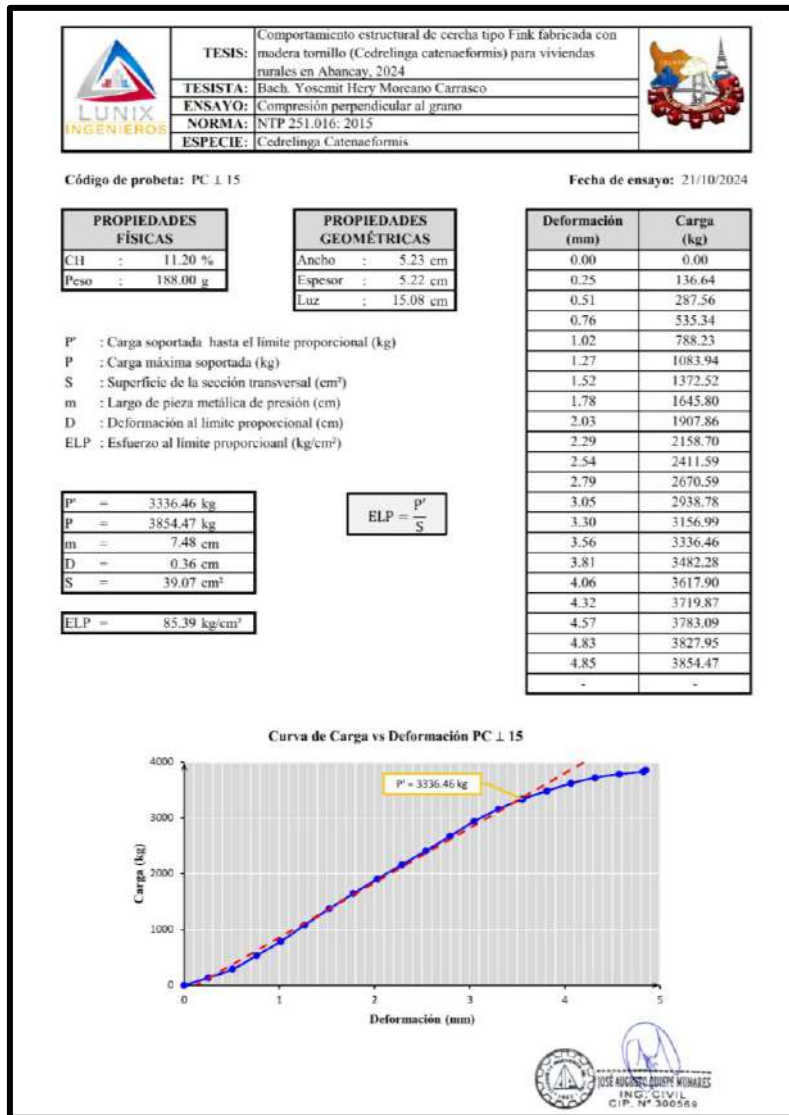


Figura 121 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 15

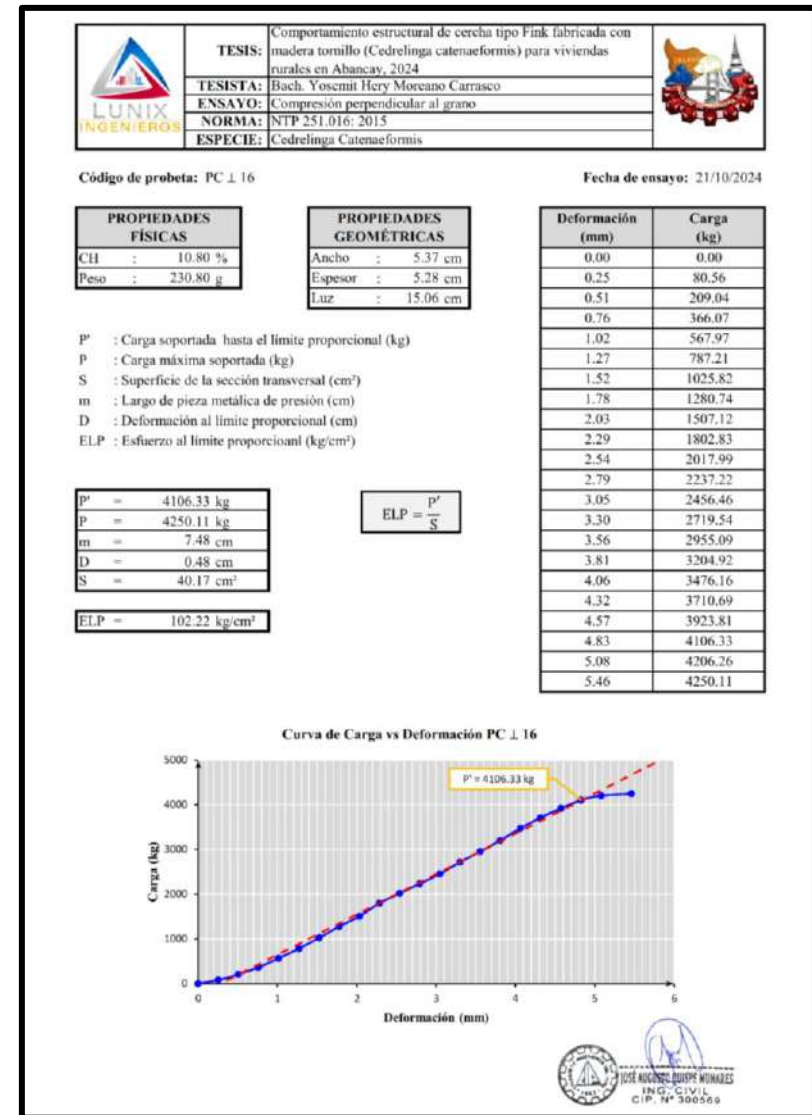


Figura 122 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 16

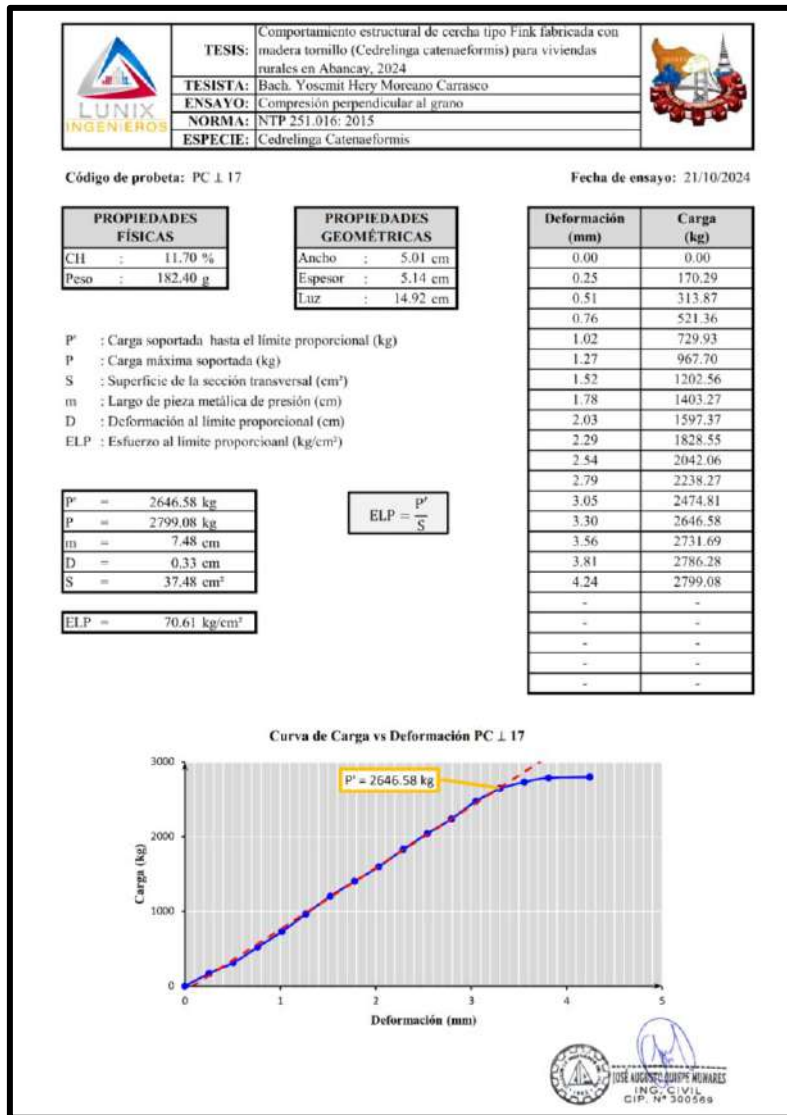


Figura 123 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 17

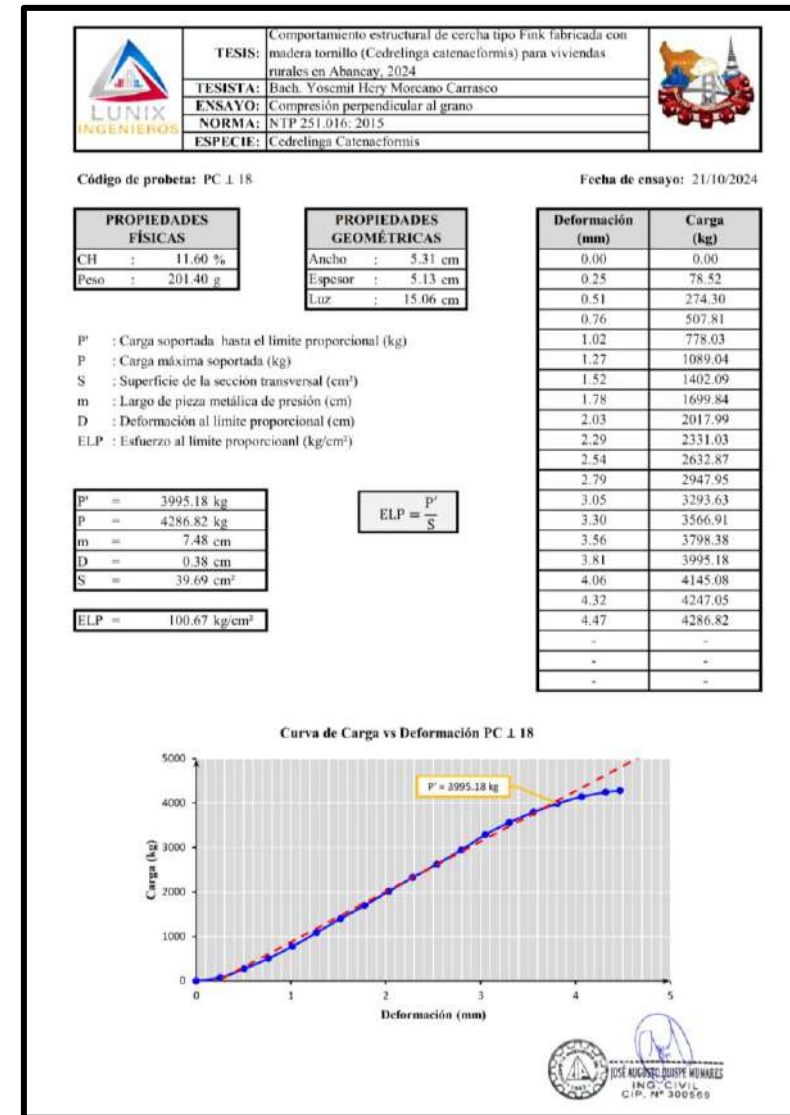


Figura 124 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 18

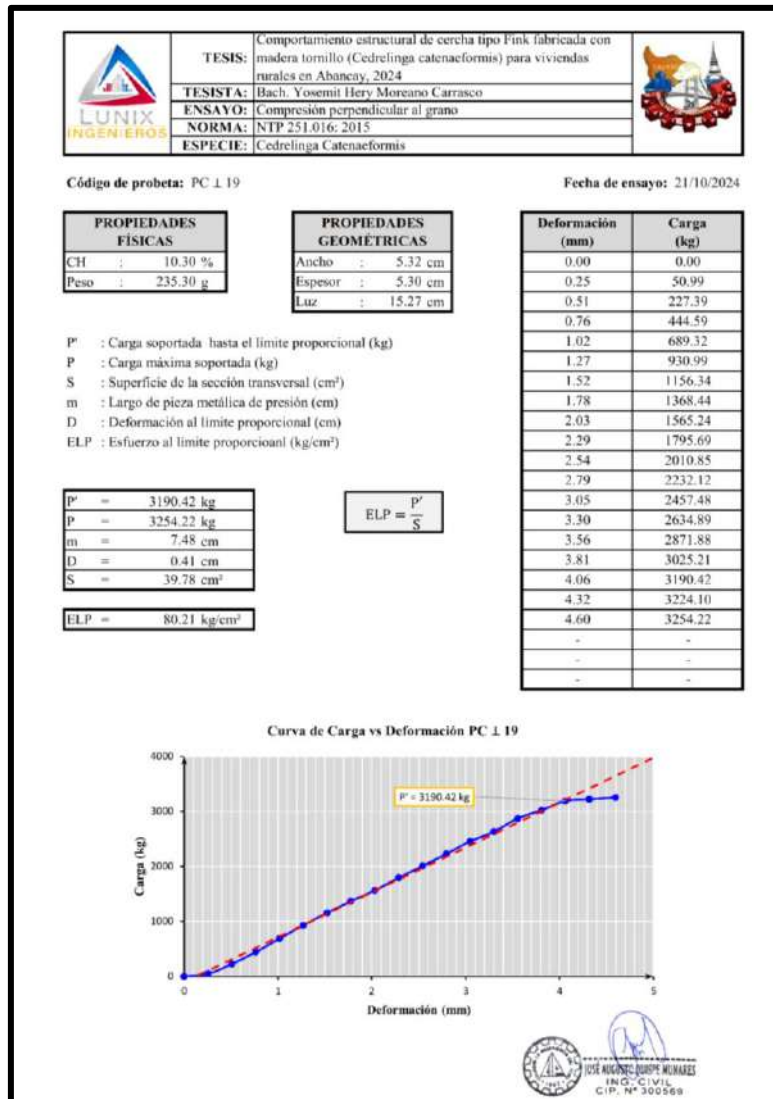


Figura 125 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 19

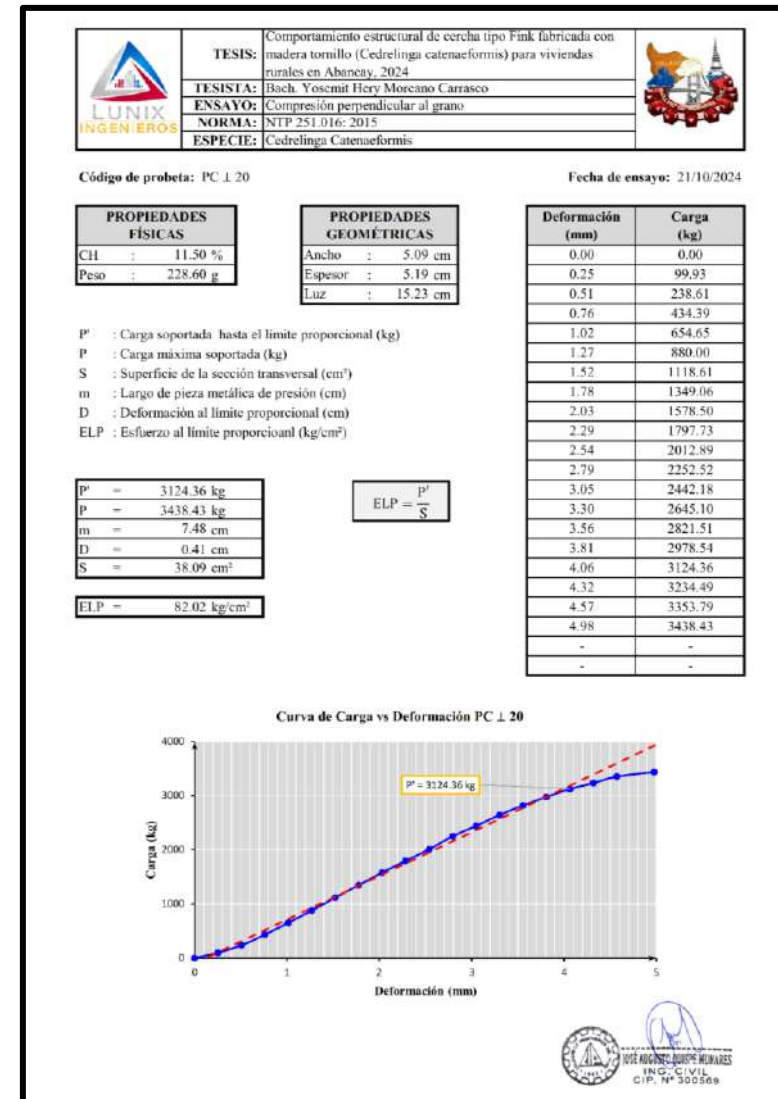


Figura 126 — Ensayo de compresión perpendicular de PC \perp 20

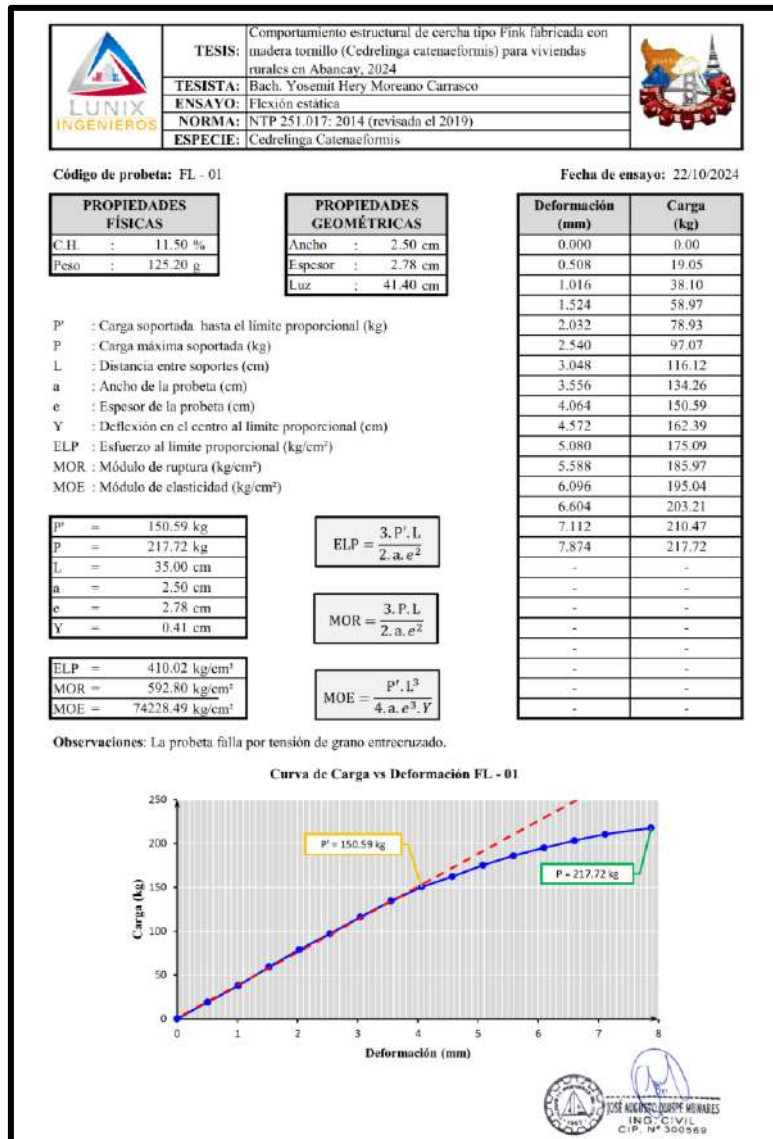


Figura 127 — Ensayo de flexión estática de FL - 01

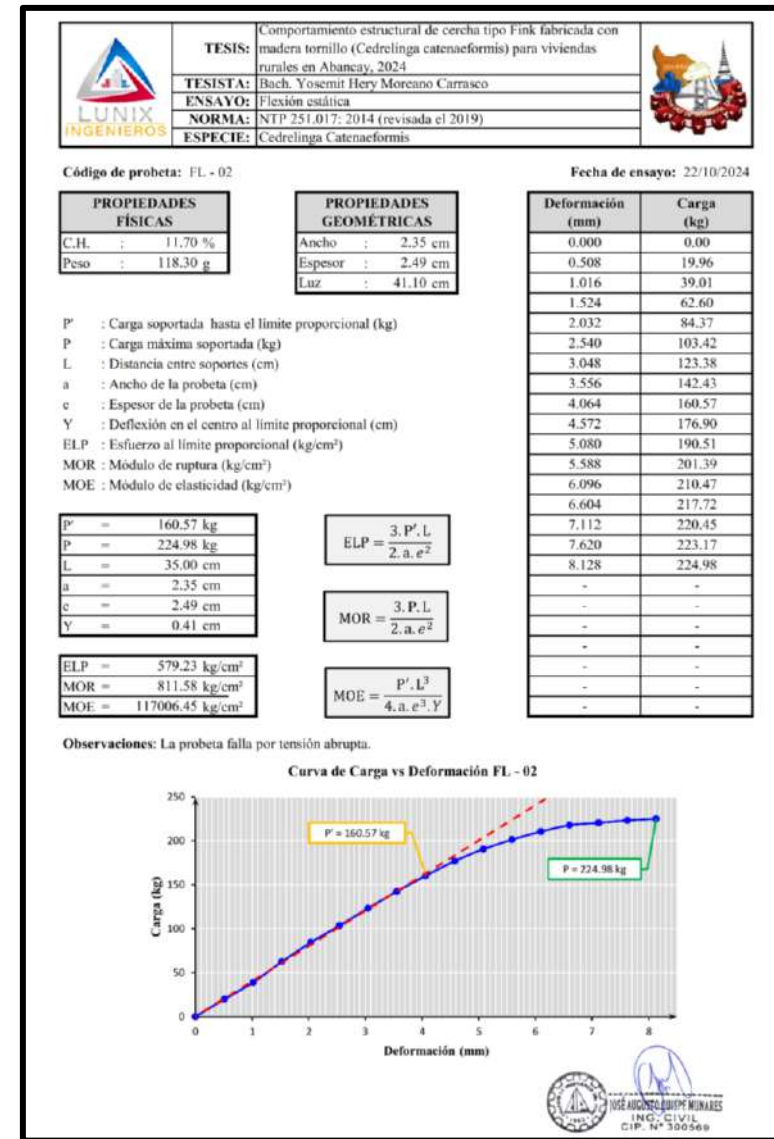


Figura 128 — Ensayo de flexión estática de FL - 02

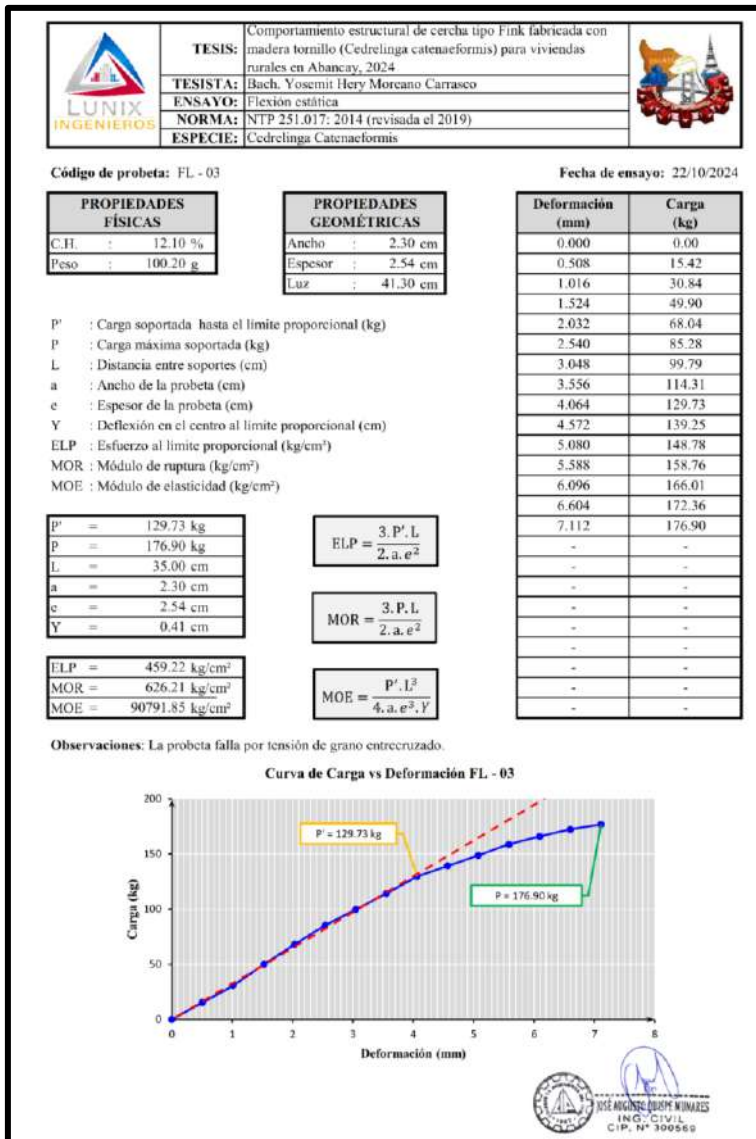


Figura 129 — Ensayo de flexión estática de FL - 03

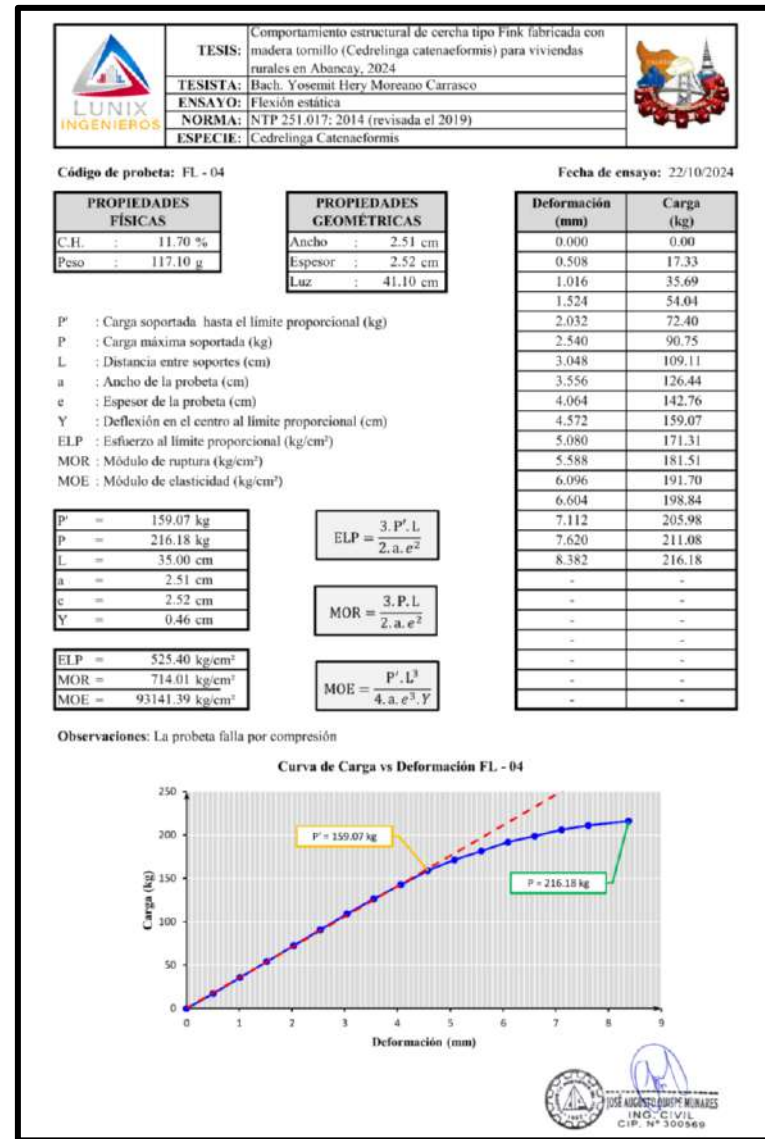


Figura 130 — Ensayo de flexión estática de FL - 04

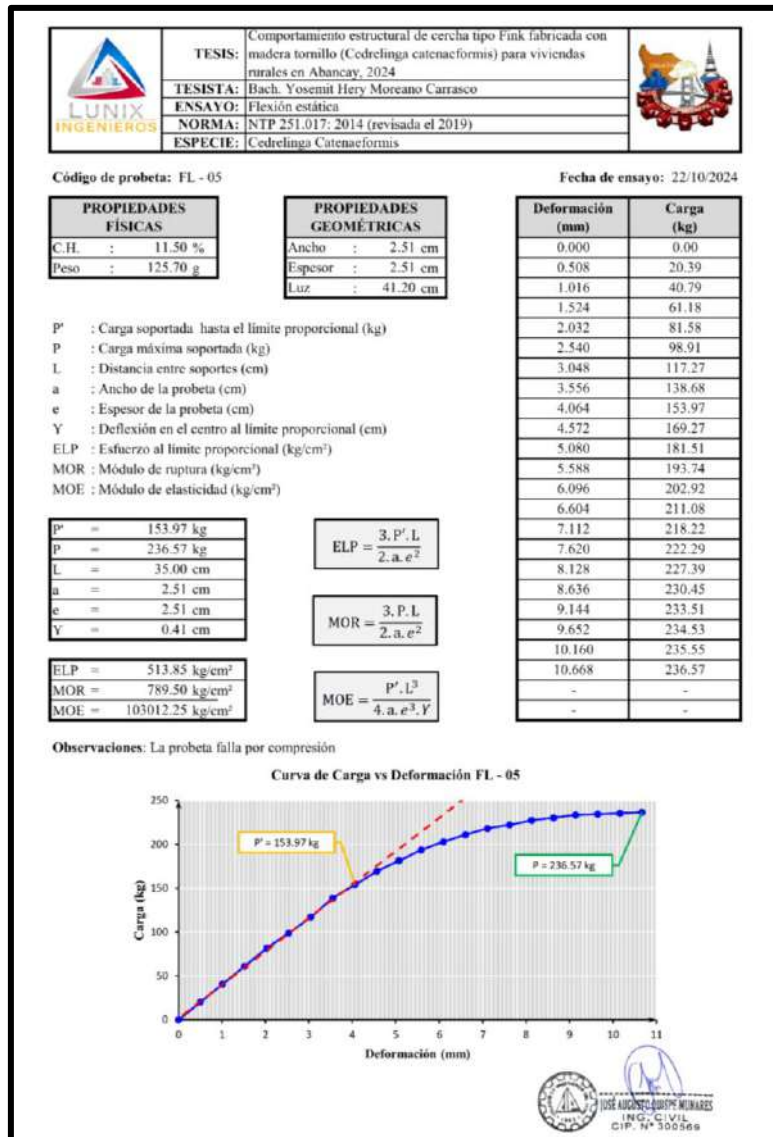


Figura 131 — Ensayo de flexión estática de FL - 05

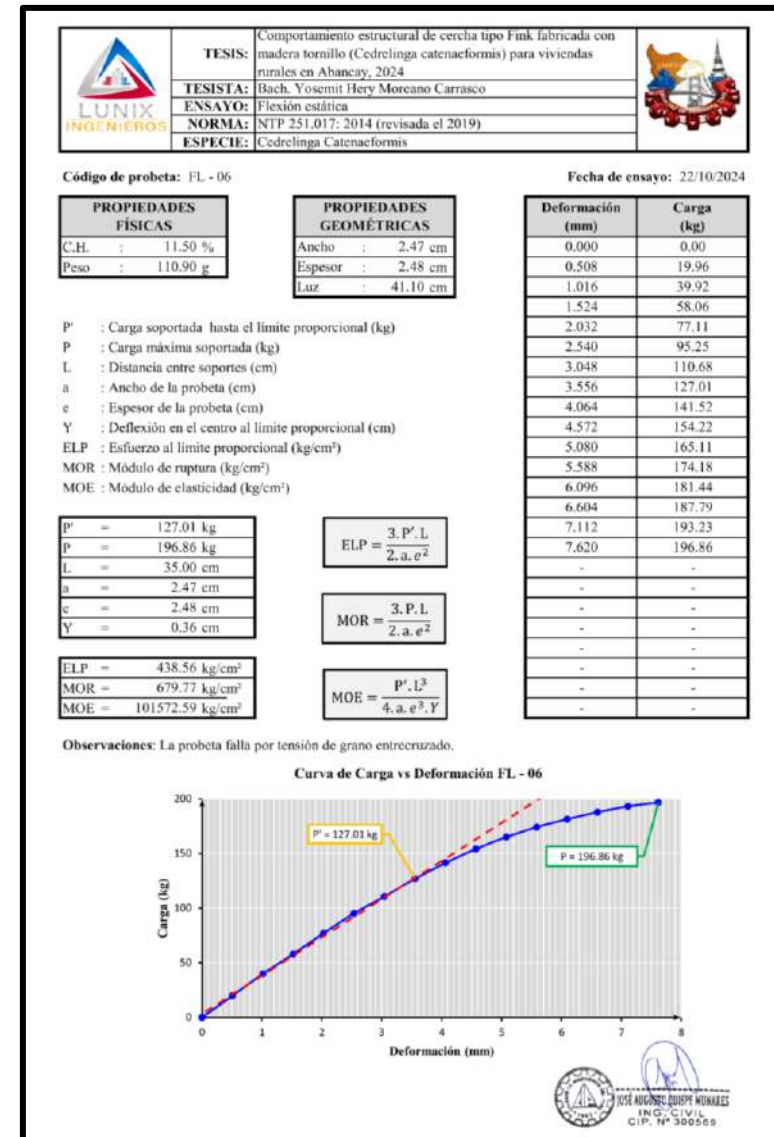


Figura 132 — Ensayo de flexión estática de FL - 06

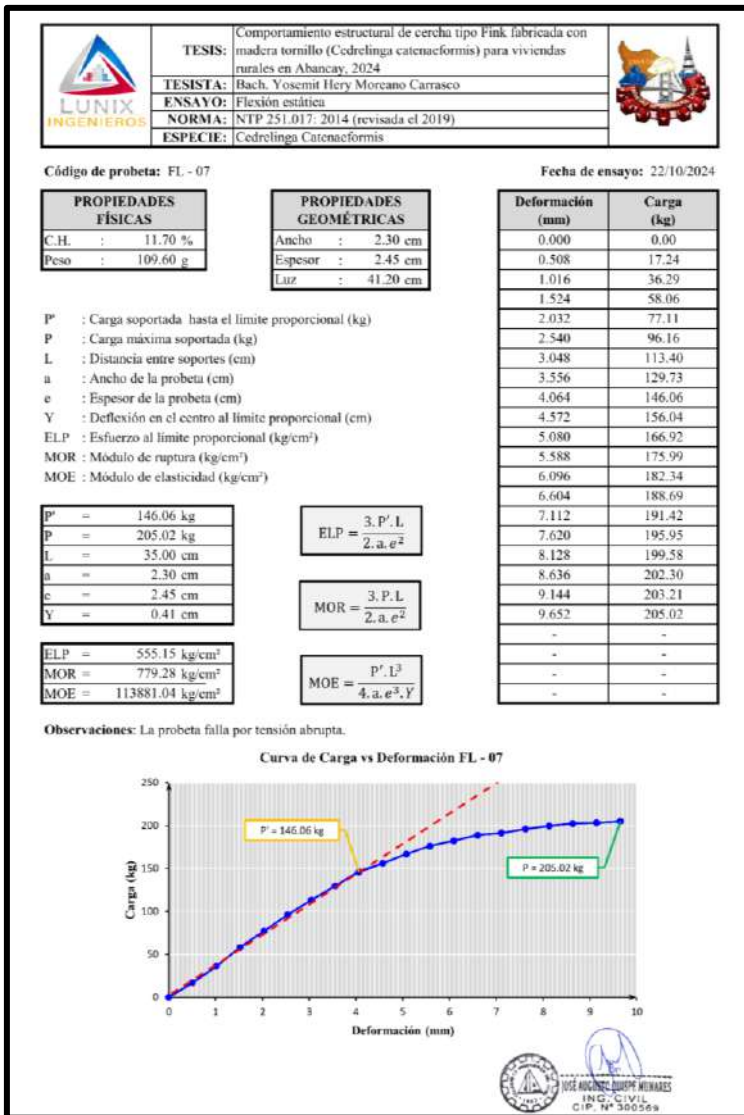


Figura 133 — Ensayo de flexión estática de FL - 07

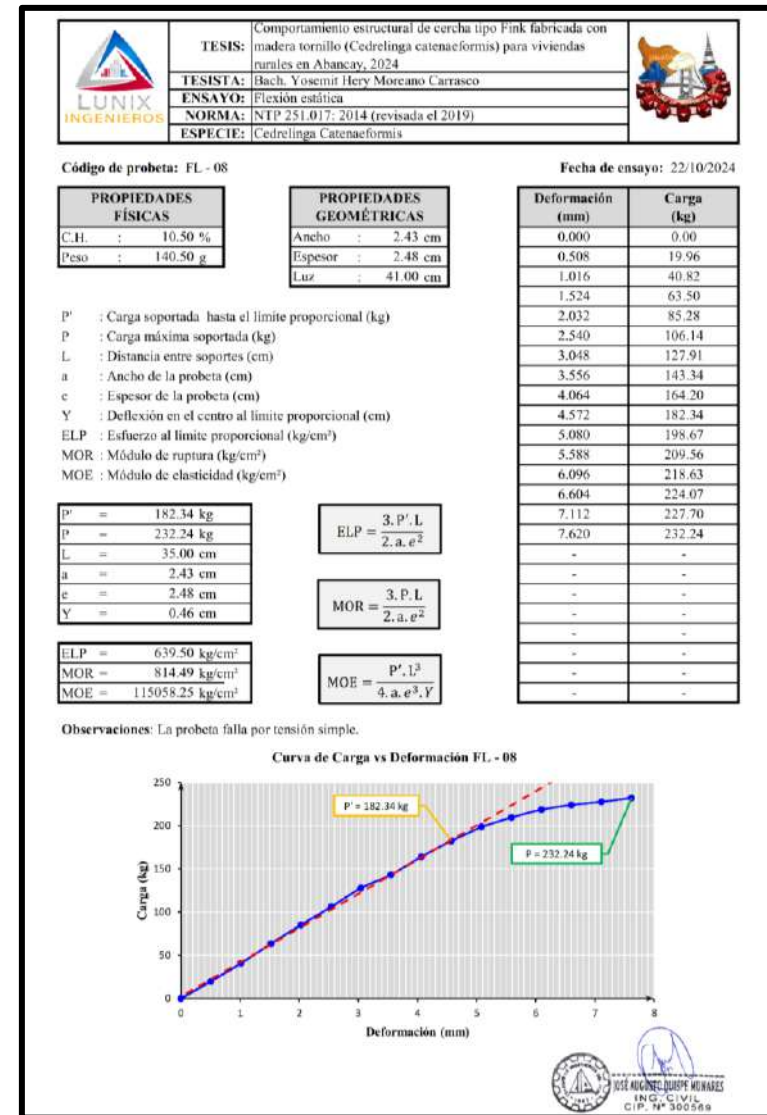


Figura 134 — Ensayo de flexión estática de FL - 08

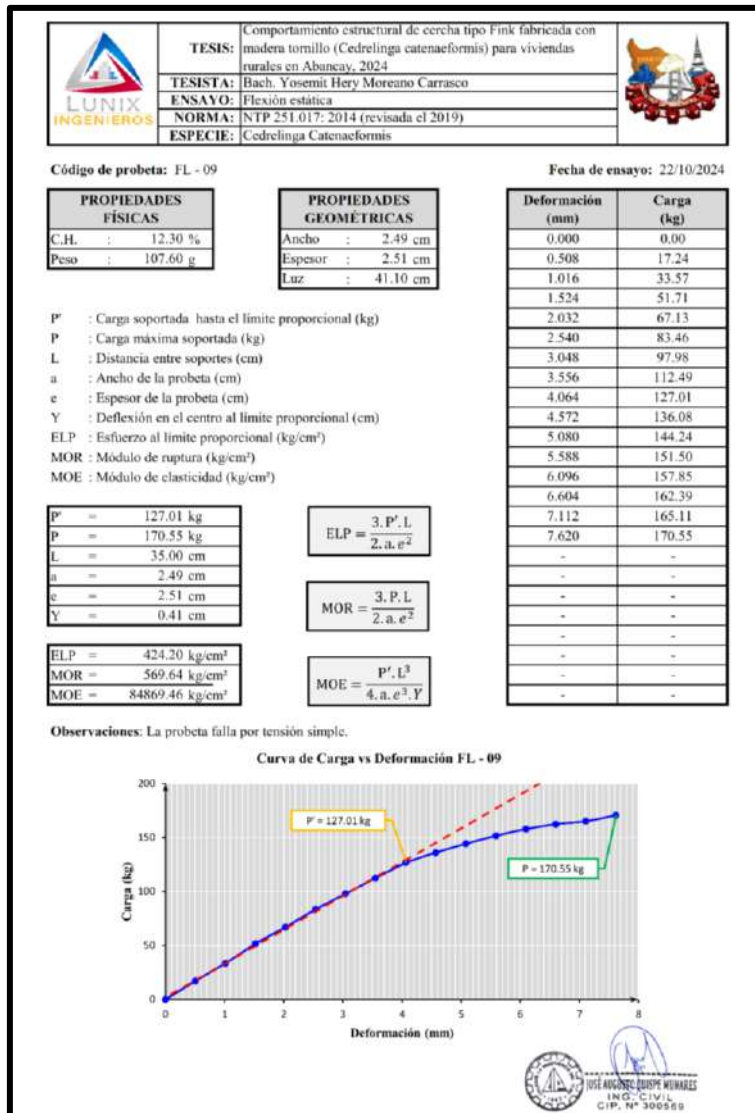


Figura 135 — Ensayo de flexión estática de FL - 09

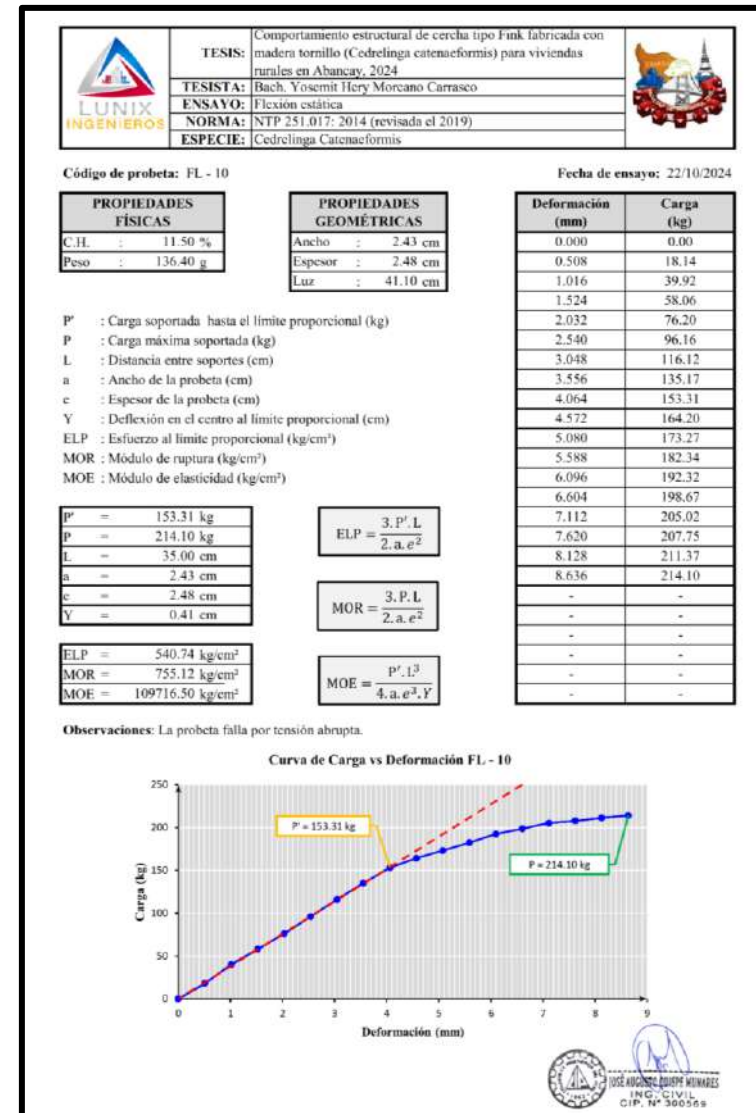


Figura 136 — Ensayo de flexión estática de FL - 10

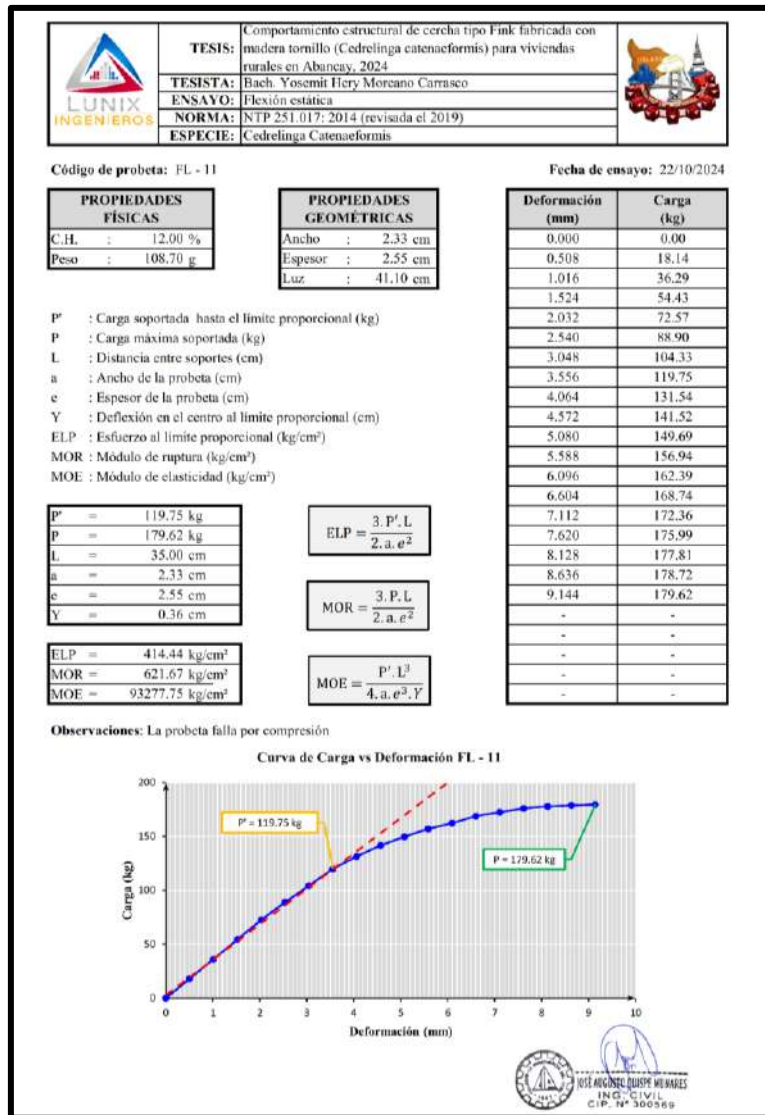


Figura 137 — Ensayo de flexión estática de FL – 11

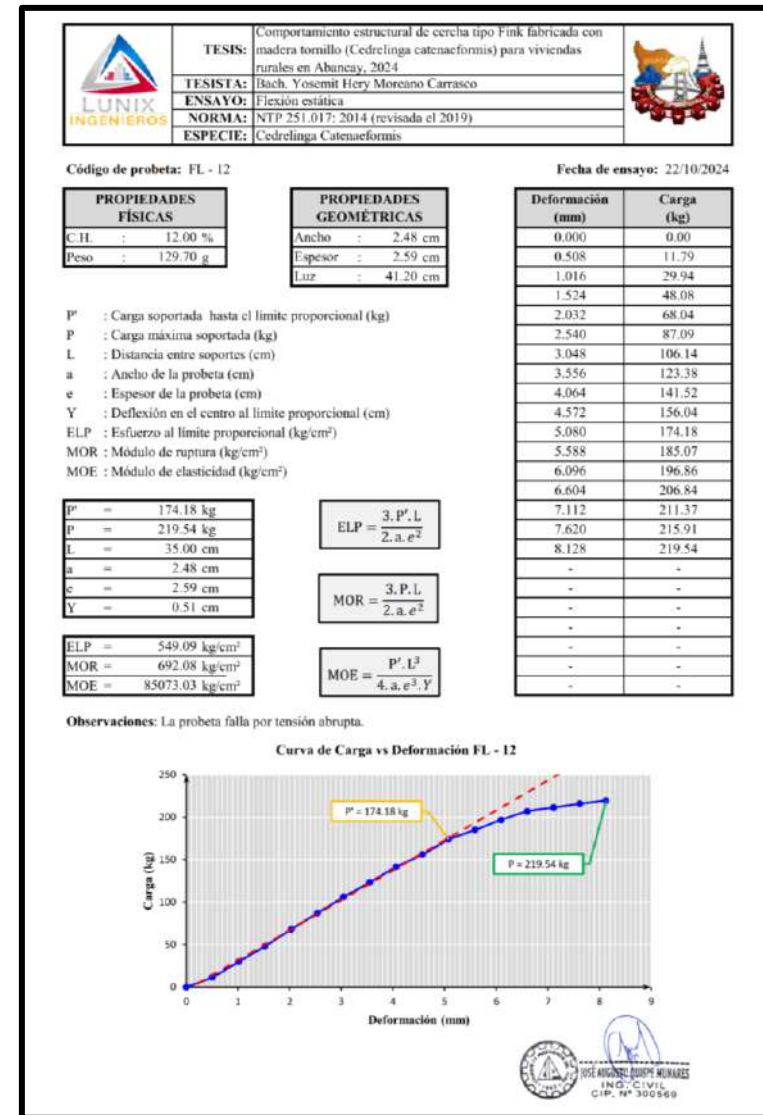


Figura 138 — Ensayo de flexión estática de FL – 12

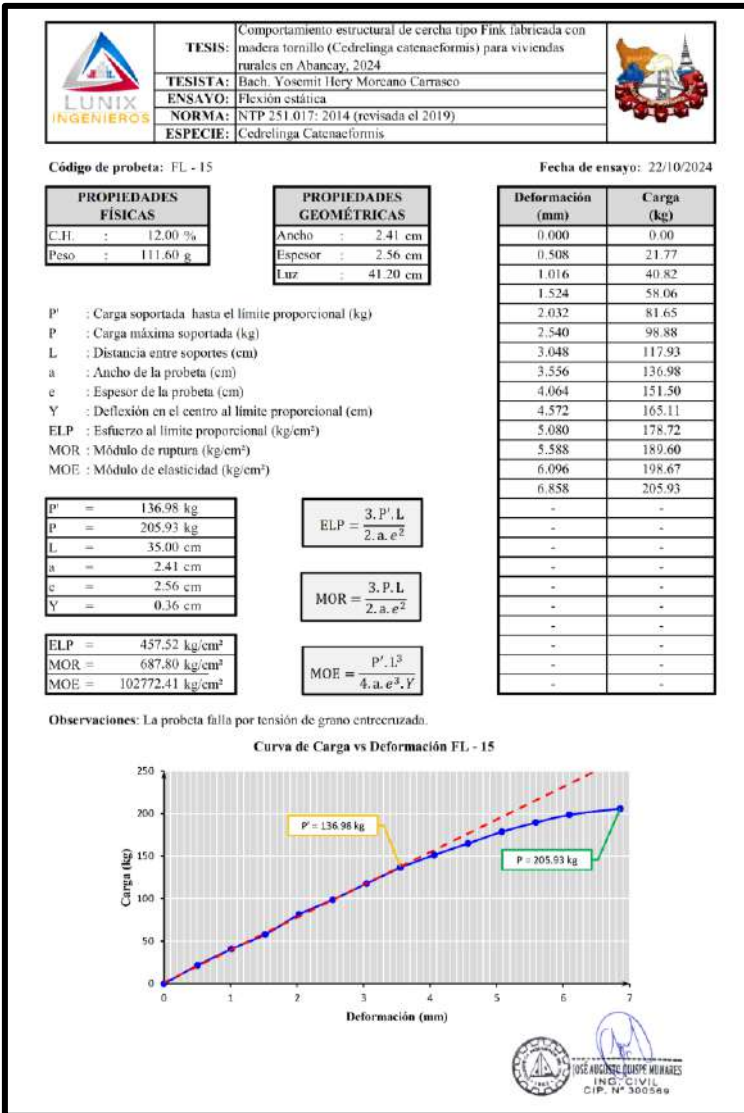


Figura 141 — Ensayo de flexión estática de FL – 15

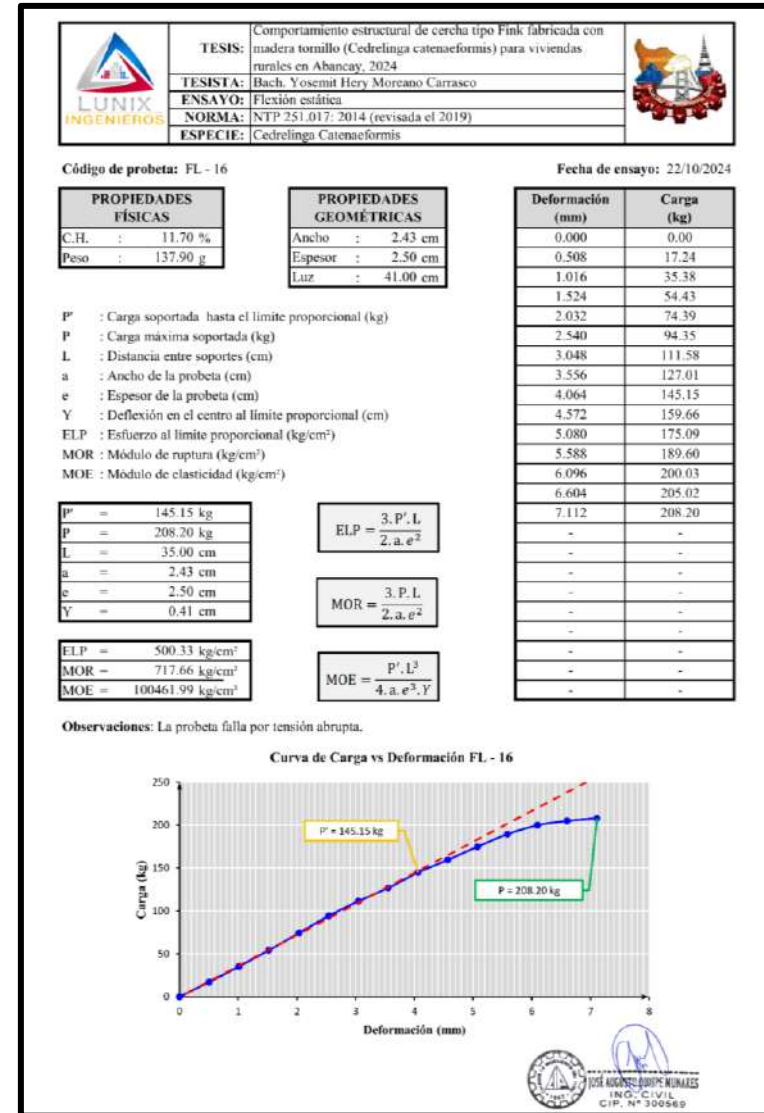


Figura 142 — Ensayo de flexión estática de FL – 16

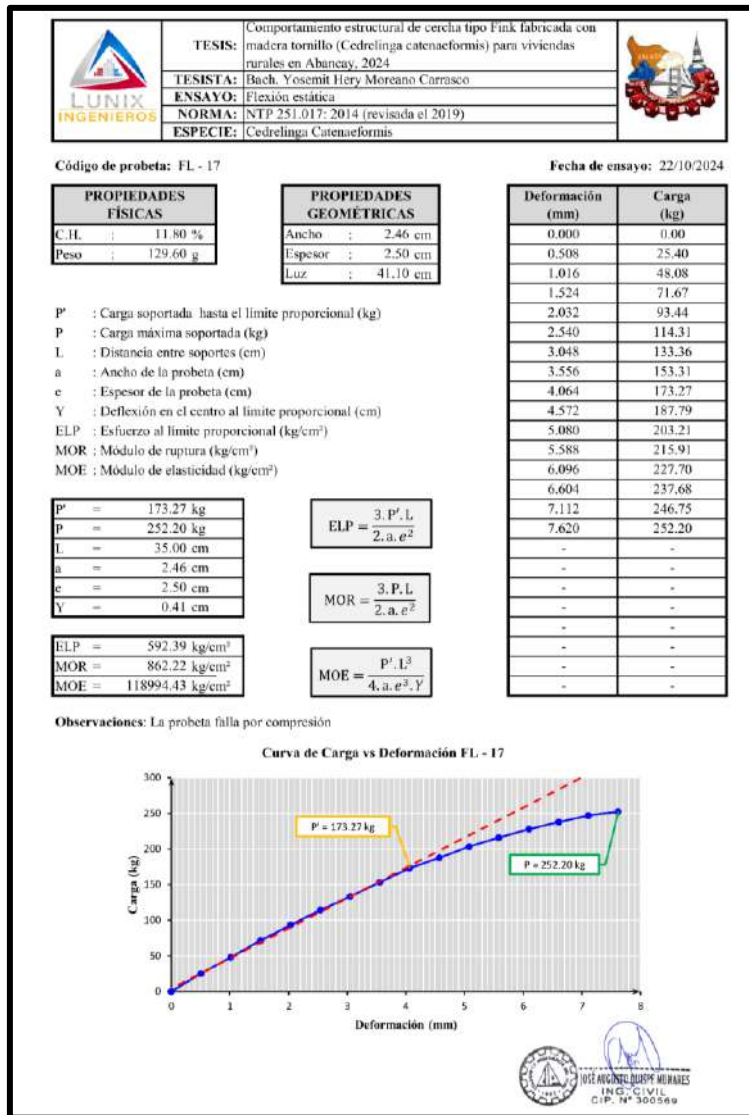


Figura 143 — Ensayo de flexión estática de FL – 17

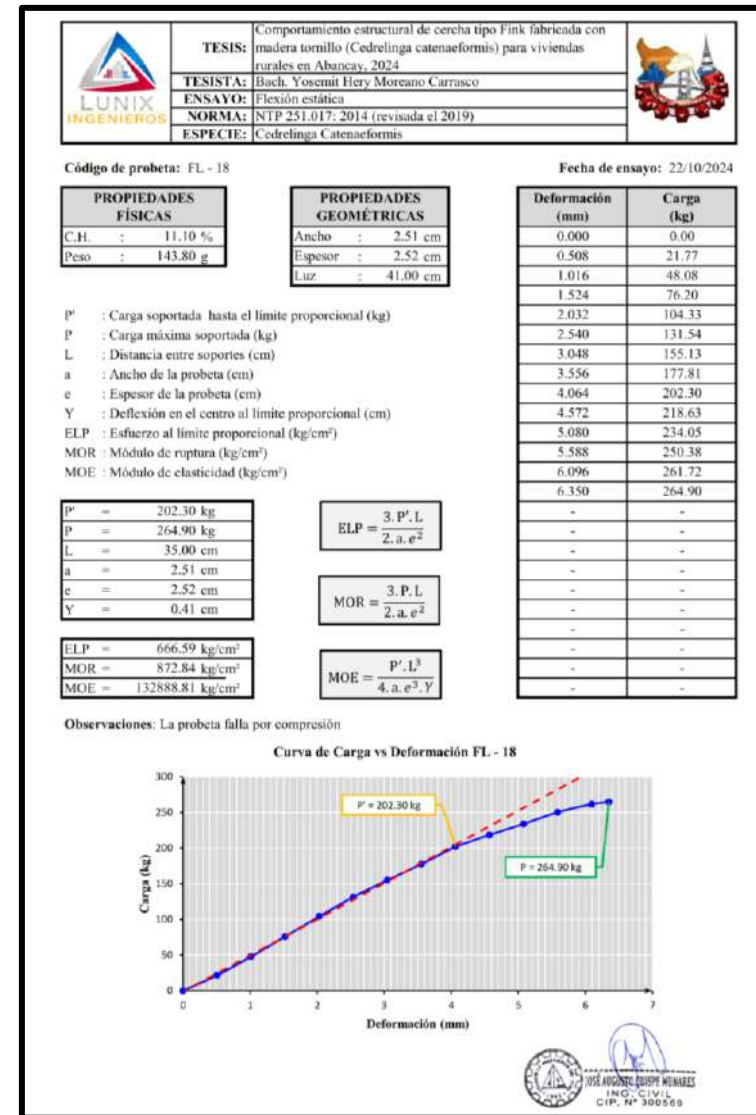




Figura 144 — Ensayo de flexión estática de FL – 18

	TESIS:	Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024	
	TESISTA:	Bach. Yosemite Hery Moreano Carrasco	
	ENSAYO:	Prueba de carga estática en cercha tipo Fink	

Código del prototipo : Prototipo - 01

Solicitud de carga : 400 kg

Fecha de ensayo : 22/02/2025

I. Características del prototipo

Elemento	Sección	Tipo de unión	Observaciones
Cuerda Superior	4 x 9 cm ²	Clavos de 3"	Empalme con cartelas en ambos lados
Cuerda inferior	4 x 9 cm ²	Clavos de 3"	Empalme con cartelas en ambos lados
Diagonales mayores	4 x 6.5 cm ²	Clavos de 3"	Empalme con cartelas en ambos lados
Diagonales menores	4 x 6.5 cm ²	Clavos de 3"	Empalme con cartelas en ambos lados

II. Datos del ensayo

N.º de carga	Carga aplicada (kg)	Deflexión (cm)	Observaciones
1	0.00	0.00	
2	50.00	0.03	
3	100.00	0.08	
4	150.00	0.13	
5	200.00	0.17	
6	250.00	0.21	
7	300.00	0.25	
8	350.00	0.29	
9	400.00	0.35	
10	450.00	0.39	
11	500.00	0.43	
12	550.00	0.48	
13	600.00	0.59	
14	650.00	0.65	

III. Resultados generales

- Deformación máxima ante solicitud de carga: 0.35 cm
- Comportamiento observado:

Sin daño estructural (X)



Grietas en uniones ()

Otros:



JOSE AUGUSTO QUIJPE MUNARES
ING. CIVIL
CIP. N° 300569

Figura 147 — Prueba de carga del prototipo 01

	TESIS:	Comportamiento estructural de cercha tipo Fink fabricada con madera tornillo (Cedrelinga catenaeformis) para viviendas rurales en Abancay, 2024	
	TESISTA:	Bach. Yosemite Hery Moreano Carrasco	
	ENSAYO:	Prueba de carga estática en cercha tipo Fink	

Código del prototipo : Prototipo - 02

Solicitud de carga : 400 kg

Fecha de ensayo : 22/02/2025

I. Características del prototipo

Elemento	Sección	Tipo de unión	Observaciones
Cuerda Superior	4 x 9 cm ²	Clavos de 3"	Empalme con cartelas en ambos lados
Cuerda inferior	4 x 9 cm ²	Clavos de 3"	Empalme con cartelas en ambos lados
Diagonales mayores	4 x 6.5 cm ²	Clavos de 3"	Empalme con cartelas en ambos lados
Diagonales menores	4 x 6.5 cm ²	Clavos de 3"	Empalme con cartelas en ambos lados

II. Datos del ensayo

N.º de carga	Carga aplicada (kg)	Deflexión (cm)	Observaciones
1	0.00	0.00	
2	50.00	0.04	
3	100.00	0.08	
4	150.00	0.13	
5	200.00	0.18	
6	250.00	0.23	
7	300.00	0.28	
8	350.00	0.34	
9	400.00	0.41	
10	450.00	0.45	
11	500.00	0.50	
12	550.00	0.56	
13	600.00	0.72	
14	650.00	0.76	
15	700.00	0.81	

III. Resultados generales

- Deformación máxima ante solicitud de carga: 0.41 cm
- Comportamiento observado:

Sin daño estructural ()

Grietas en uniones (X)

Otros:



JOSE AUGUSTO QUISPE MUNARES
ING. CIVIL
CIP. N° 300569

Figura 148 — Prueba de carga del prototipo 02



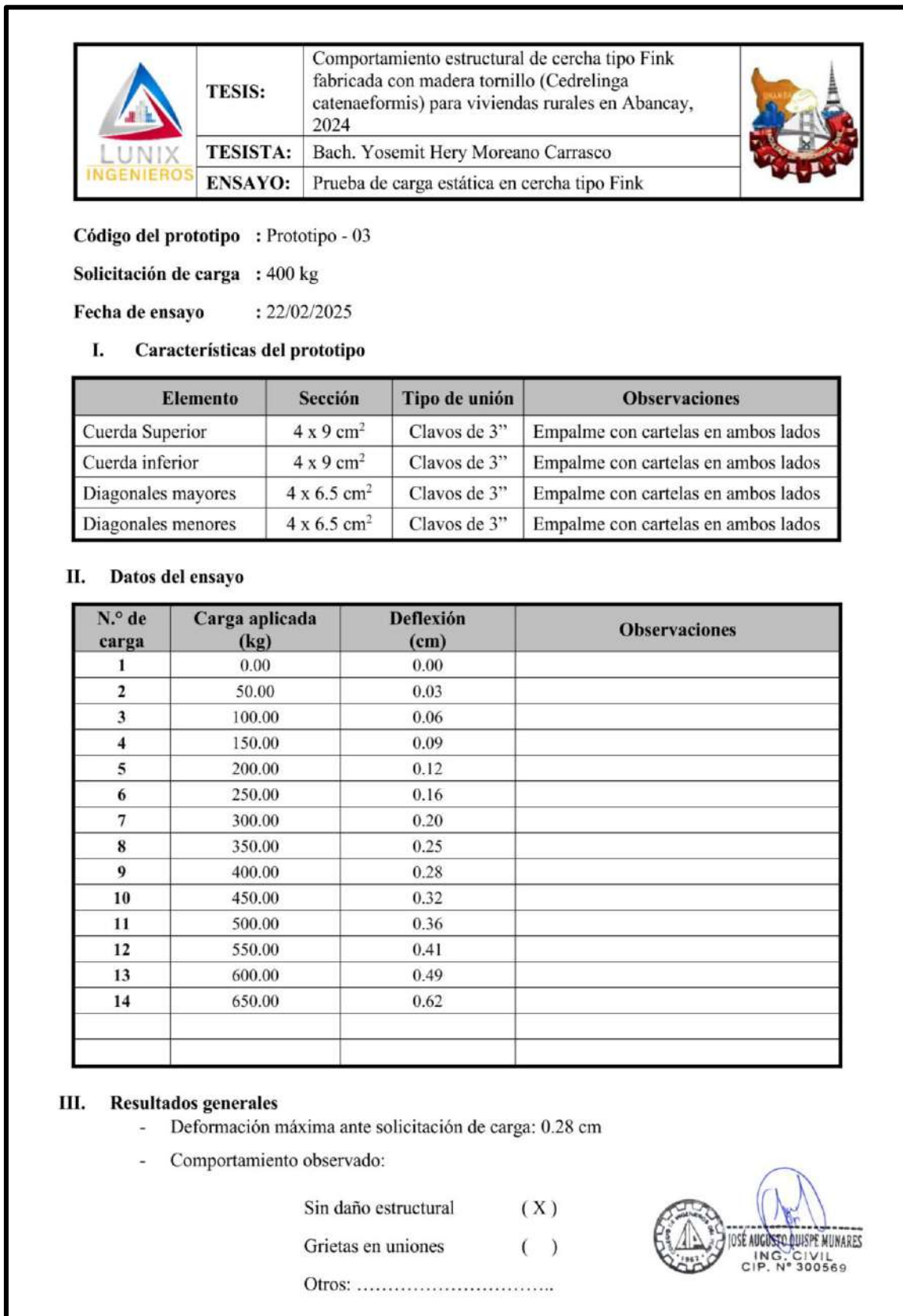


Figura 149 — Prueba de carga del prototipo 03



Anexo F

Análisis estructural en SAP2000

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP2000. The material name is 'MADERA TORNILLO'. The material type is 'Other' and the symmetry type is 'Anisotropic'. The modulus of elasticity (E1, E2, E3) is set to 74228.49. The Poisson's ratio (U12, U13, U23) is set to 0.3. The weight and mass properties are set to 0. The units are set to 'Kgf, cm, C'. The coefficient of thermal expansion (A1, A2, A3, A12, A13, A23) is set to 0. The dialog box also includes buttons for 'Uniaxial Nonlinear Data...', 'Material Damping Properties...', 'Coupled Nonlinear Data...', and 'Time Dependent Properties...'. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Figura 150 — Asignación de las propiedades del material

En la Figura 150 se muestra la asignación de propiedades de material en el software SAP2000, donde se definieron las características mecánicas de la madera utilizada. Ante la ausencia de valores específicos del módulo de Poisson para la especie *Cedrelinga catenaeformis*, se adoptó un valor referencial de $\nu = 0,30$, correspondiente al rango comúnmente empleado en maderas de densidad media, según lo reportado por el Forest Products Laboratory (2021). Asimismo, el módulo de elasticidad considerado corresponde al valor obtenido a partir de los ensayos de laboratorio, equivalente a $74228,49 \text{ kg/cm}^2$.

Posteriormente, se definieron las secciones transversales de cada elemento de la cercha: las cuerdas superior e inferior con una sección de $4 \text{ cm} \times 9 \text{ cm}$, mientras que las diagonales mayores y menores presentan una sección de $4 \text{ cm} \times 6,5 \text{ cm}$.

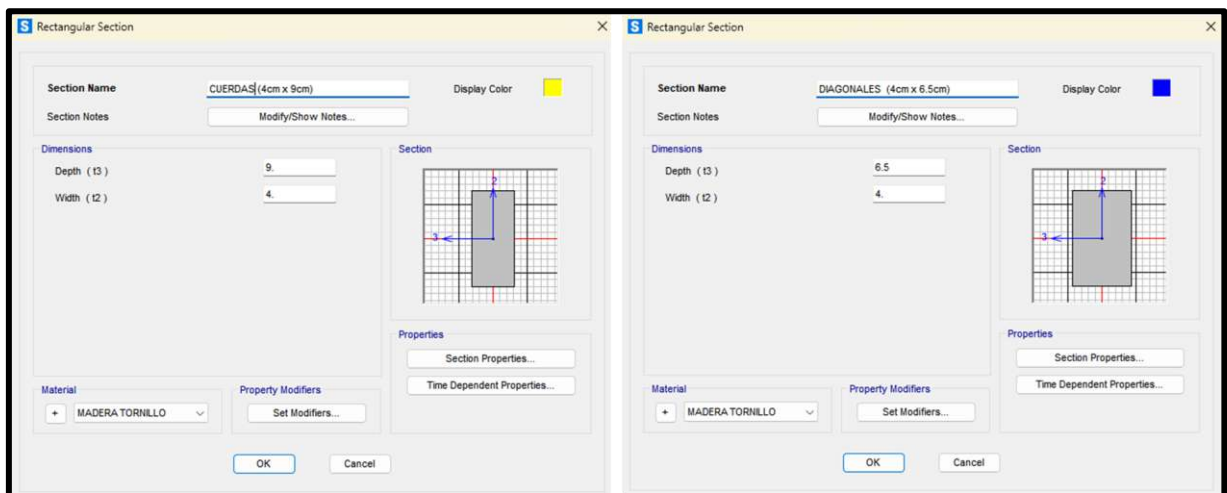


Figura 151 — Asignación de secciones

La Figura 152 muestra la asignación del caso de carga correspondiente a la condición más crítica de análisis estructural. Este escenario se seleccionó considerando las combinaciones de carga establecidas en la Norma Técnica E.020 – Cargas (2020), con el propósito de evaluar el comportamiento de la cercha tipo Fink bajo las solicitaciones más desfavorables.

En este modelo se introdujeron la combinación de cargas permanentes (peso propio de la estructura y recubrimientos) y las cargas variables (sobrecarga de uso y acción del viento),. La representación de este caso en el software SAP2000 permite observar la distribución de las cargas a lo largo de los nodos y elementos estructurales, asegurando que la simulación refleje de manera adecuada la condición de diseño más exigente.

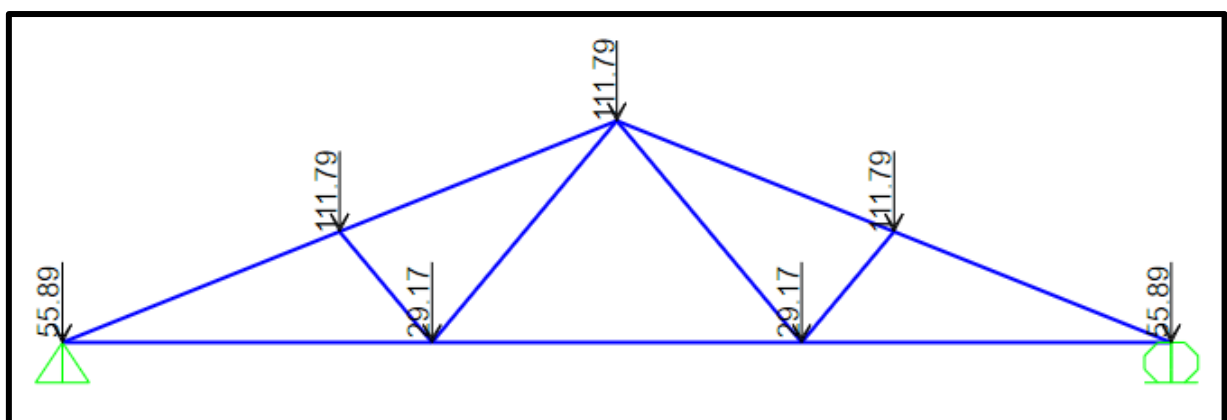


Figura 152 — Asignación de cargas

Con esta configuración se procedió al análisis estructural, cuyos resultados se observan en la Figura 153, donde se identifican los esfuerzos internos de cada barra, distinguiendo entre compresión y tracción, así como los elementos más críticos.

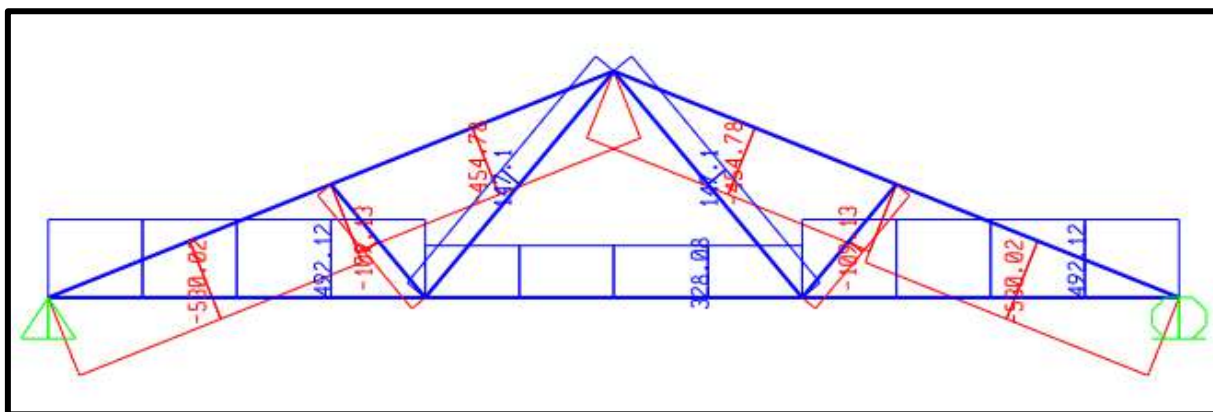


Figura 153 — Esfuerzos axiales

Finalmente, la Figura 154 expone el diagrama de la deformada, a partir del cual se determinaron las deflexiones y desplazamientos en los nodos. Cabe señalar que el software SAP2000 se utilizó únicamente como herramienta de apoyo y validación, siendo el cálculo estructural desarrollado con base en los principios del análisis de armaduras y las consideraciones generales de diseño en madera.

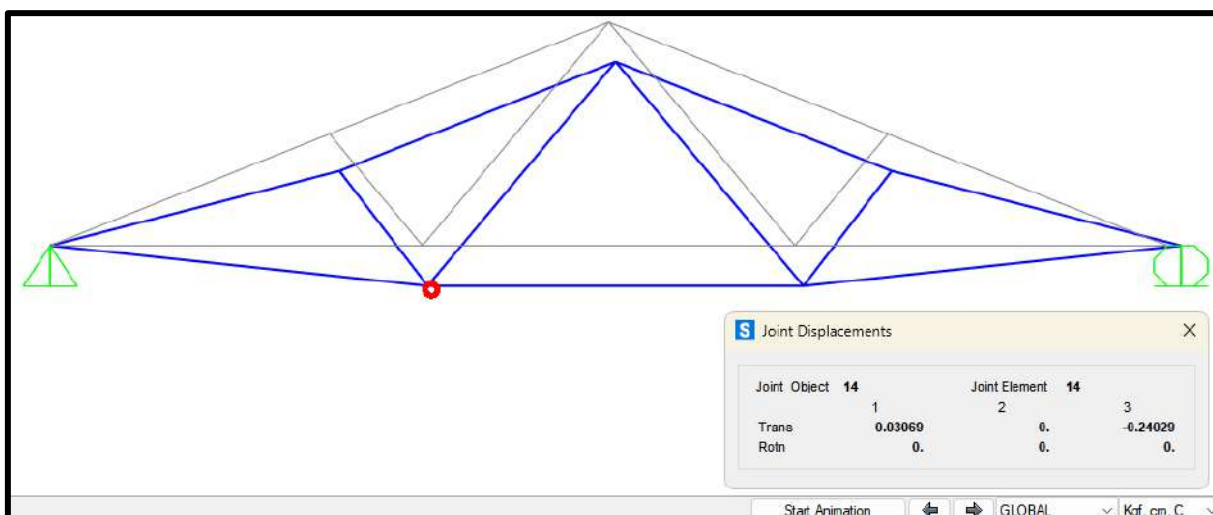


Figura 154 — Deformada de la estructura

Anexo G

Evidencias fotográficas



Figura 155 — Aserradero Madre de Dios



Figura 156 — Higrómetro digital para madera



Figura 157 — Deformímetro análogo de 1"



Figura 161 — Medición del contenido de humedad previas al ensayo de cizallamiento



Figura 162 — Pesaje de probetas previas al ensayo de cizallamiento paralelo



Figura 163 — Ejecución de ensayo de compresión paralela



Figura 164 — Contenido de humedad previas al ensayo de compresión paralela

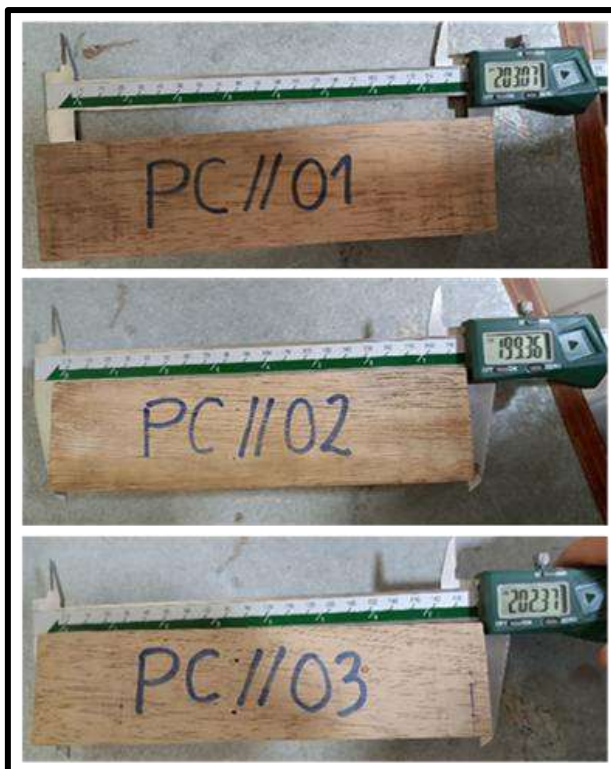


Figura 165 — Dimensiones de probetas previas al ensayo de compresión perpendicular

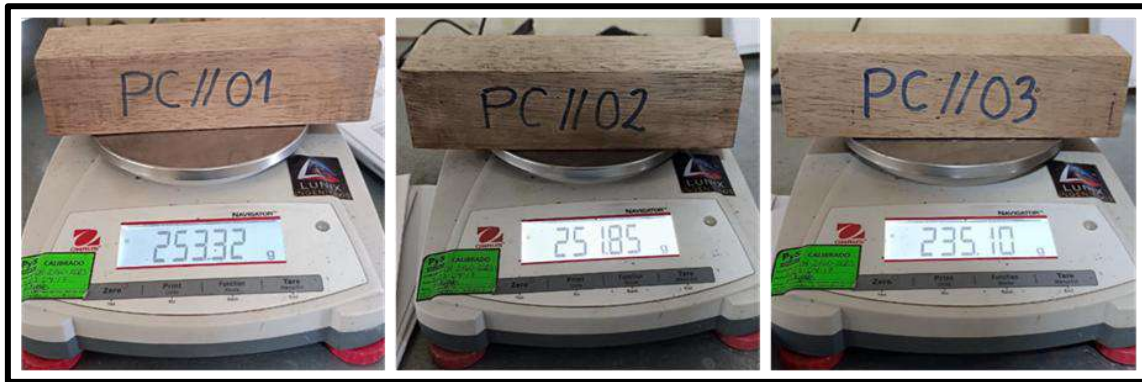


Figura 166 — Pesaje de probetas previas al ensayo de compresión paralela



Figura 167 — Ensayo para determinar la resistencia a compresión paralela



Figura 168 — Ejecución de ensayo de compresión perpendicular

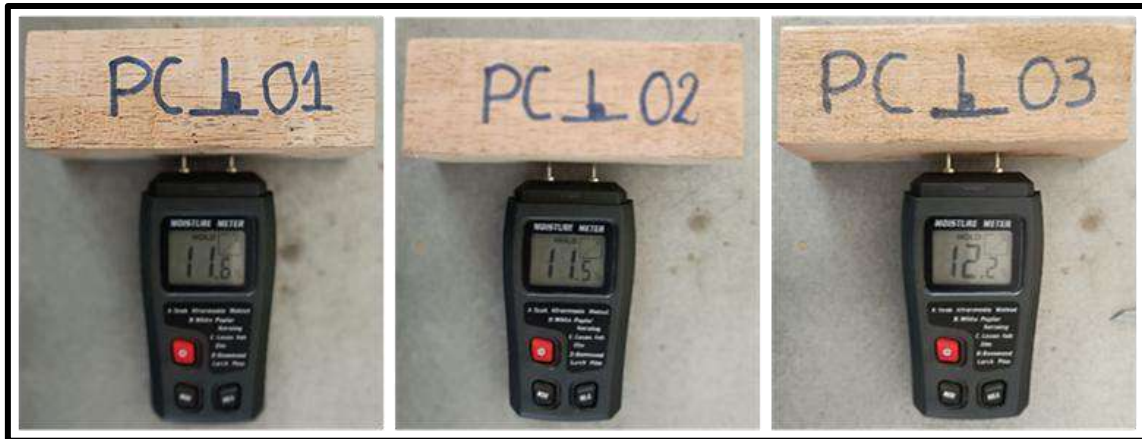


Figura 169 — Contenido de humedad previas al ensayo de compresión perpendicular

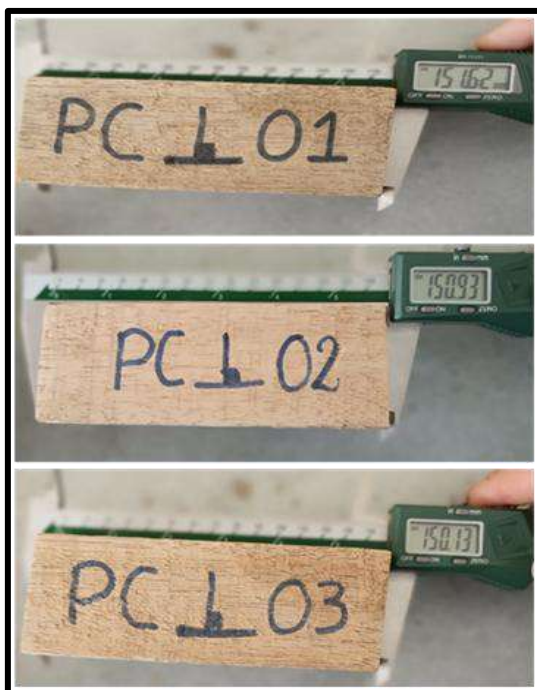


Figura 170 — Dimensiones de probetas previas al ensayo de compresión perpendicular



Figura 171 — Pesaje de probetas previas al ensayo de compresión perpendicular

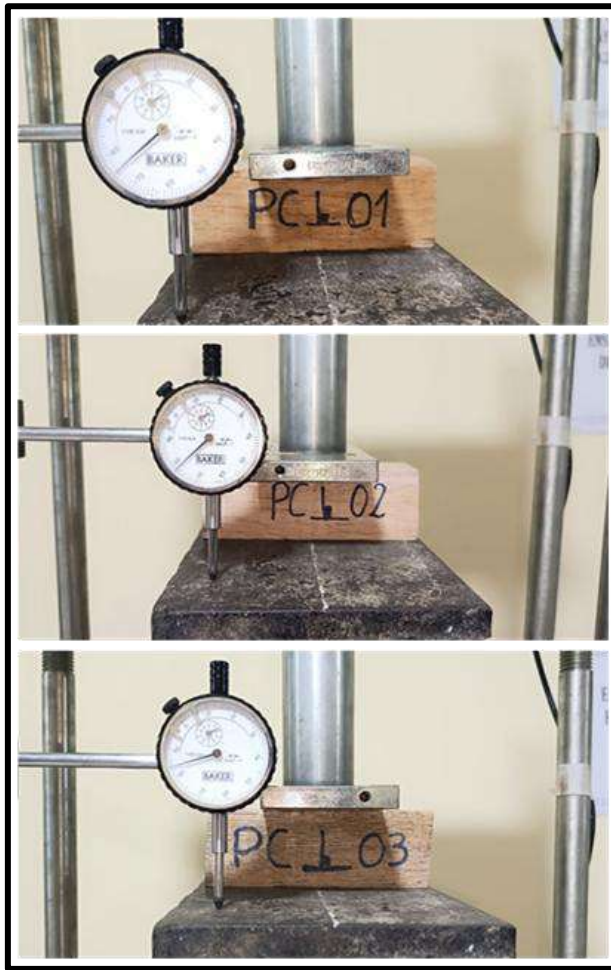


Figura 172 — Ensayo para determinar la resistencia a compresión perpendicular



Figura 173 — Ejecución de ensayo de flexión estática



Figura 174 — Medición del contenido de humedad previas al ensayo de flexión

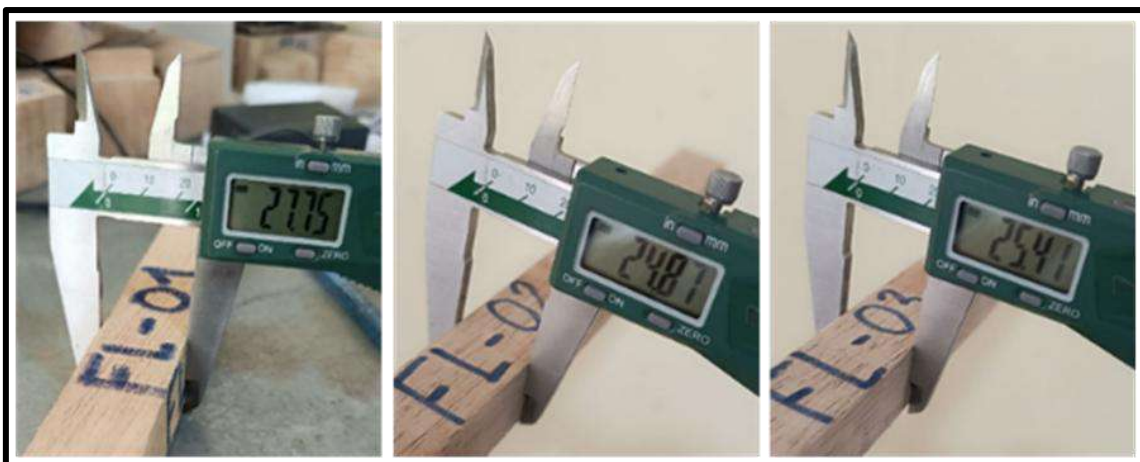


Figura 175 — Dimensiones de probetas previas al ensayo de flexión



Figura 176 — Pesaje de probetas previas al ensayo de flexión

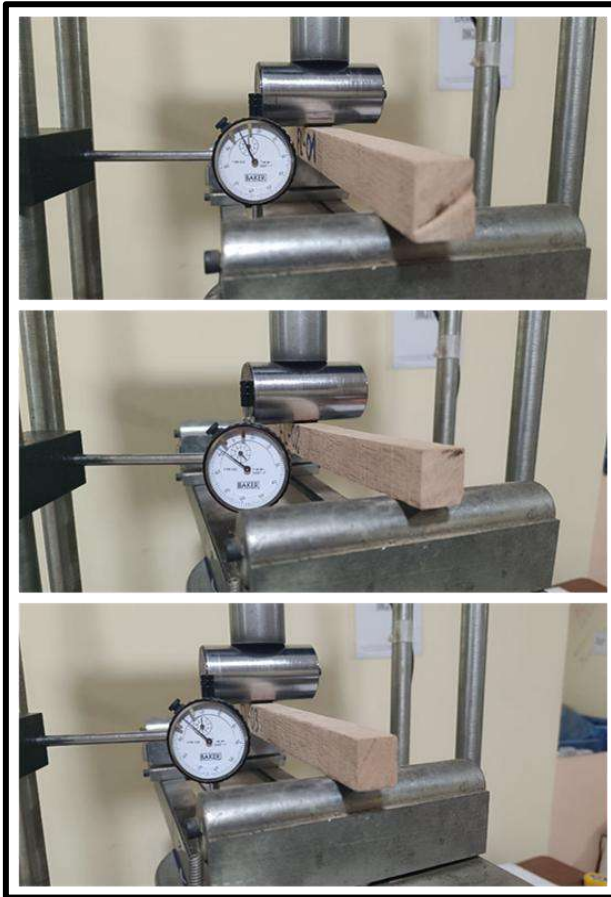


Figura 177 — Ensayo para determinar la flexión estática

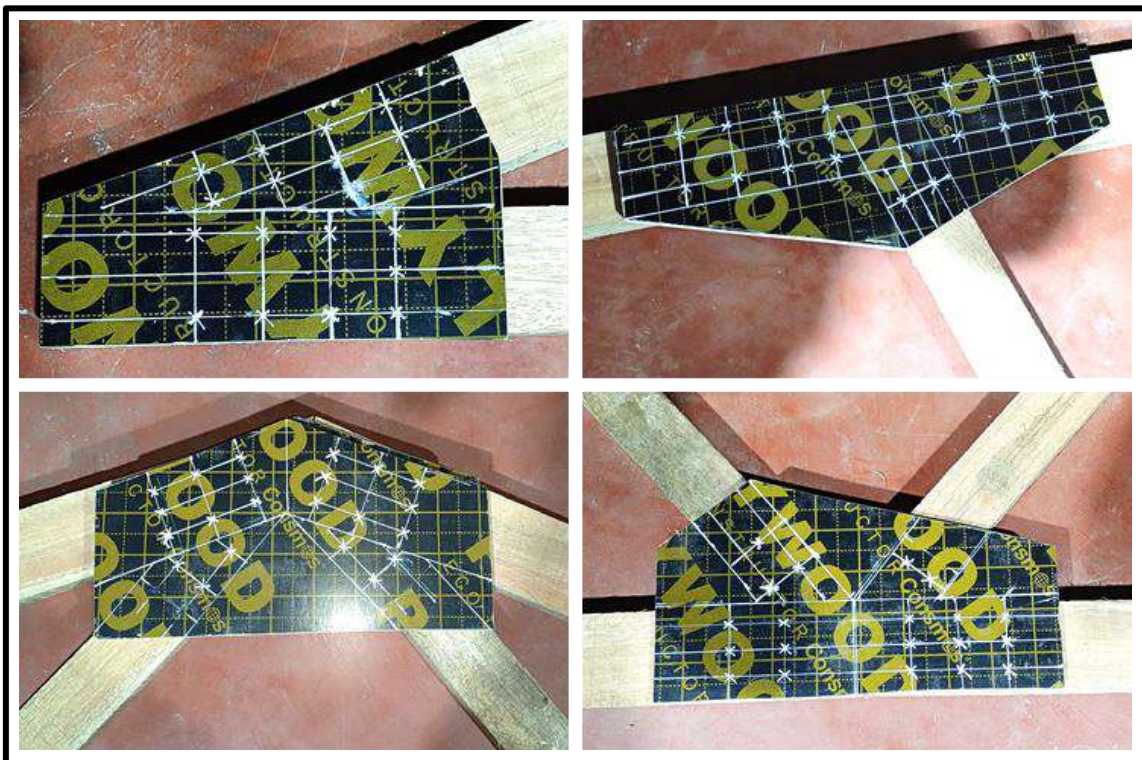


Figura 178 — Distribución de puntos de clavado sobre las uniones



4

Figura 179 — Prototipo 01 de cercha



Figura 180 — Prototipo 02 de cercha



Figura 181 — Prototipo 03 de cercha



Figura 182 — Prueba de carga del prototipo 01



Figura 183 — Prueba de carga del prototipo 02



Figura 184 — Prueba de carga del prototipo 03

Anexo H

Valores críticos de la distribución t de Student

v	α						
	0.40	0.30	0.20	0.15	0.10	0.05	0.025
1	0.325	0.727	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706
2	0.289	0.617	1.061	1.386	1.886	2.920	4.303
3	0.277	0.584	0.978	1.250	1.638	2.353	3.182
4	0.271	0.569	0.941	1.190	1.533	2.132	2.776
5	0.267	0.559	0.920	1.156	1.476	2.015	2.571
6	0.265	0.553	0.906	1.134	1.440	1.943	2.447
7	0.263	0.549	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365
8	0.262	0.546	0.889	1.108	1.397	1.860	2.306
9	0.261	0.543	0.883	1.100	1.383	1.833	2.262
10	0.260	0.542	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228
11	0.260	0.540	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201
12	0.259	0.539	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179
13	0.259	0.538	0.870	1.079	1.350	1.771	2.160
14	0.258	0.537	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145
15	0.258	0.536	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131
16	0.258	0.535	0.865	1.071	1.337	1.746	2.120
17	0.257	0.534	0.863	1.069	1.333	1.740	2.110
18	0.257	0.534	0.862	1.067	1.330	1.734	2.101
19	0.257	0.533	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093
20	0.257	0.533	0.860	1.064	1.325	1.725	2.086
21	0.257	0.532	0.859	1.063	1.323	1.721	2.080
22	0.256	0.532	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074
23	0.256	0.532	0.858	1.060	1.319	1.714	2.069
24	0.256	0.531	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064
25	0.256	0.531	0.856	1.058	1.316	1.708	2.060
26	0.256	0.531	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056
27	0.256	0.531	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052
28	0.256	0.530	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048
29	0.256	0.530	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045
30	0.256	0.530	0.854	1.055	1.310	1.697	2.042
40	0.255	0.529	0.851	1.050	1.303	1.684	2.021
60	0.254	0.527	0.848	1.045	1.296	1.671	2.000
120	0.254	0.526	0.845	1.041	1.289	1.658	1.980
∞	0.253	0.524	0.842	1.036	1.282	1.645	1.960

FUENTE: DÍAZ Y ROSADO, 2019

Figura 185 — Valores críticos de la distribución t

