

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ENSAYO DE CONEXIONES ESPECIALES DE MADERA
SOMETIDAS A CARGA AXIAL**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL
MENCION ESTRUCTURAS**

ESTEBAN ANDRÉS CRIOLLO MOLINA
esteand1988@gmail.com

ÁLVARO SEBASTIÁN QUIJIA ESCOBAR
sebastianq1987@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JORGE MARCELO ESPINOZA CARDOZO
jorge.espinoza@epn.edu.ec

Quito, Mayo 2013

DECLARACIÓN

Nosotros, Esteban Andrés Criollo Molina y Álvaro Sebastián Quijia Escobar, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo. La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

**ESTEBAN ANDRÉS CRIOLLO
MOLINA**

**ÁLVARO SEBASTIÁN QUIJIA
ESCOBAR**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Esteban Andrés Criollo Molina y Álvaro Sebastián Quijía Escobar, bajo mi supervisión.

Ing. Jorge Espinoza
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por haberme dado la fortaleza e inteligencia para llegar a cumplir esta meta tan importante en mi vida.

A mis profesores, por su severidad y por compartirme sus valiosos conocimientos, para poder llegar a ser un buen profesional.

Al Ing. Jorge Vintimilla, por su valiosa colaboración en el desarrollo de este proyecto.

Esteban

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

Le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mis profesores, por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

Le agradezco a mis compañeros de clase por haberme permitido compartir con ellos la grata experiencia de la universidad.

Sebastián

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi familia y a mis hermanos. A mi Padre y Madre, por el apoyo moral y económico que siempre me han brindado, pero sobre todo por ser el mejor ejemplo para mi formación tanto personal como profesional.

A mis hermanos, Paúl y Jefferson, por estar siempre en los buenos y malos momentos, siendo un apoyo importantísimo en todos los instantes de mi vida.

A mis sobrinos, Maité y Matías, por quienes me esfuerzo todos los días, y también a mi primo Javier, por su apoyo, en el ámbito académico y moral, así como por sus valiosos consejos.

A mis cuñadas, Elizabeth y Erika, a mis amigos, César, Paúl, Liz, Andrea, por ser los mejores amigos que alguien puede tener, y con quienes he pasado momentos increíbles que los llevaré siempre en mi memoria.

Esteban

DEDICATORIA

A mis tíos, Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

A Cristina, Por haber sido un pilar fundamental en mi vida apoyándome en los momentos difíciles.

A mi hermana Mireya por haber estado junto a mí incondicionalmente dándome valor, ánimos y la fuerza para continuar a pesar de todas las adversidades.

Sebastián

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
CONTENIDO	VIII
RESUMEN	XXIV
PRESENTACIÓN	XXV
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.1.1 UNIONES CLAVIJAS	4
1.1.1.1 Pernos.....	4
1.1.2 UNIONES CON CONECTORES	5
1.1.2.1 Conectores de Anillo.	5
1.1.2.2 Conectores de Placa.	7
1.1.2.3 Conectores de Placa Dentada.....	8
1.1.2.4 Conectores de Madera.....	11
1.2 OBJETIVOS	11
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	11
1.2.1.1 Descripción.....	11
CAPÍTULO 2: ESTUDIO TEÓRICO	14
2.1 CONEXIONES CON PERNOS.....	14
2.1.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”.....	14
2.1.1.1 Cargas admisibles.....	14
2.1.2 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	17
2.1.2.1 Capacidad de carga para pernos con carga lateral.....	17
2.1.2.2 Capacidad Portante del Perno	21
2.1.3 RESUMEN DE NORMAS SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”.....	23
2.1.3.1 Capacidad de Carga para pernos con carga lateral.....	23
2.1.3.2 Resistencia al aplastamiento.....	25

2.1.3.3	Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas....	26
2.1.4	CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA	28
2.1.4.1	Cálculo de cargas admisibles de las probetas según la “JUNAC”	28
2.1.4.2	Cálculo de cargas admisibles según la “NDS for Wood Construction”	29
2.1.4.3	Cálculo de la capacidad de carga según el “Eurocódigo 5”	32
2.1.4.4	Resumen de resultados obtenidos de acuerdo a los diferentes códigos de diseño.....	40
2.2	CONEXIONES TIPO “BULLDOG”	40
2.2.1	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”	41
2.2.2	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	41
2.2.3	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5” .	41
2.2.3.1	Capacidad de carga	42
2.2.3.2	Espesor de las piezas de madera	43
2.2.3.3	Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas....	44
2.2.4	CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA.....	45
2.2.4.1	Contenido de humedad	45
2.2.4.2	Densidad básica de la madera	46
2.2.4.3	Resistencia a la compresión paralela a la fibra	50
2.2.4.4	Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra	51
2.2.5	CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA	51
2.2.5.1	Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”	51
2.2.5.2	Cálculo de cargas de diseño según la “NDS for Wood Construction”	51
2.2.5.3	Cálculo de la capacidad de carga según el “Eurocódigo 5”	52
2.3	CONEXIONES TIPO “APPEL”	59
2.3.1	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”	59

2.3.2	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	59
2.3.3	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	60
2.3.3.1	Capacidad de carga	60
2.3.4	CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA.....	62
2.3.5	CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA	63
2.3.5.1	Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”	63
2.3.5.2	Cálculo de cargas de diseño según la “NDS for Wood Construction”	63
2.3.5.3	Cálculo de la capacidad de carga según el “Eurocódigo 5”	63
2.4	CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”	71
2.4.1	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”	71
2.4.2	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	71
2.4.3	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	72
2.4.4	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “DIN 1052”	72
2.4.4.1	Carga admisible para uniones empernadas según la norma “DIN 1052”	72
2.4.4.2	Carga admisible para uniones con conectores tipo “Alligator” según la norma “DIN 1052”	75
2.4.5	CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA.....	75
2.4.6	CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA	75
2.4.6.1	Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”	75
2.4.6.2	Cálculo de cargas de diseño según la “NDS for Wood Construction”	75
2.4.6.3	Cálculo de la capacidad de carga según el “Eurocódigo 5”	77

2.4.6.4	Cálculo de cargas admisibles según la norma “DIN 1052”	77
2.4.6.4.1	<i>Cálculo de cargas admisibles para uniones empernadas</i>	77
2.4.6.4.2	<i>Cálculo de cargas admisibles para uniones con conectores tipo “Alligator”</i>	81
CAPÍTULO3: ESTUDIO Y ENSAYO DE CONEXIONES		84
3.1	CONEXIONES TIPO “BULLDOG”	84
3.1.1	DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA	84
3.1.1.1	Perno.....	84
3.1.1.2	Elementos de Madera	84
3.1.1.2.1	<i>Distancia al borde y distancia a la testa</i>	85
3.1.1.2.2	<i>Espesor mínimo</i>	85
3.1.1.3	Ensamblaje de la Probeta	86
3.1.1.4	Simbología de las probetas.....	87
3.1.2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	87
3.1.3	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	88
3.1.4	ANÁLISIS Y COMENTARIOS	89
3.2	ENSAYO DE CONEXIONES TIPO “BULLDOG”	91
3.2.1	DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA	91
3.2.1.1	Conector.....	91
3.2.1.1.1	<i>Descripción constructiva del conector</i>	92
3.2.1.2	ELEMENTOS DE MADERA.....	93
3.2.1.2.1	<i>Espesor mínimo de los elementos de madera</i>	93
3.2.1.3	Perno.....	94
3.2.1.4	ENSAMBLAJE DE LA PROBETA	95
3.2.1.5	Simbología de las probetas.....	96
3.2.2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	96
3.2.3	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	97
3.2.4	ANÁLISIS Y COMENTARIOS	98
3.3	ENSAYO DE CONEXIONES TIPO “APPEL”	100
3.3.1	DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA	100
3.3.1.1	Conector.....	100

3.3.1.1.1	Fabricación del Conector	101
3.3.1.2	Elementos de madera	101
3.3.1.2.1	<i>Espesor mínimo de los elementos de madera</i>	102
3.3.1.3	Perno.....	102
3.3.1.4	Ensamblaje de la Probeta	102
3.3.1.5	Simbología de las probetas.....	103
3.3.2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	104
3.3.3	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	105
3.3.4	ANÁLISIS Y COMENTARIOS	106
3.4	ENSAYO DE CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”.....	107
3.4.1	DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA	107
3.4.1.1	Conector.....	107
3.4.1.1.1	<i>Descripción constructiva del conector</i>	108
3.4.1.2	Madera	109
3.4.1.2.1	<i>Espesor mínimo de los elementos de madera</i>	109
3.4.1.3	Perno.....	110
3.4.1.4	ENSAMBLAJE DE LA PROBETA	110
3.4.1.5	Simbología de las probetas.....	111
3.4.2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.....	112
3.4.3	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	112
3.4.4	ANÁLISIS Y COMENTARIOS	113
CAPÍTULO4: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL.....		115
4.1	CONEXIONES CON PERNOS	115
4.2	CONEXIONES TIPO “BULLDOG”	118
4.3	CONEXIONES TIPO “APPEL”	120
4.4	CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”	121
4.5	ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CONEXIONES CONSIDERADAS....	123
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		127

5.1	COMENTARIOS GENERALES	127
5.2	CONCLUSIONES	128
5.2.1	CONEXIONES EMPERNADAS.....	128
5.2.2	CONEXIONES TIPO “BULLDOG”.....	129
5.2.3	CONEXIONES TIPO “APPEL”	130
5.2.4	CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”	131
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
	ANEXOS	133
	ANEXO No 1: GRÁFICAS DE CARGA VS DEFORMACIÓN PARA LAS PROBETAS A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA	134
	ANEXO No 2: VALORES DE DISEÑO Z PARA CORTE SIMPLE Y CORTE DOBLE SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	147
	ANEXO No 3: GRUPOS DE ESPECIES ESTUDIADAS EN EL PADT-REFORT PARA MADERA ESTRUCTURAL Y CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DE ACUERDO A SU DENSIDAD BÁSICA	160
	ANEXO No 4: COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN	163
	ANEXO No 5: CÁLCULO DEL VALOR DE Fem PARA UNA GRAVEDAD ESPECÍFICA DE 0.93	167
	ANEXO No 6: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MADERA, PARALELA Y PERPENDICULAR A LA FIBRA	169

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1.1: CONEXIONES DE ACUERDO A LA FORMA DE LA UNIÓN	3
FIGURA 1.2: UNIONES CARPINTERAS: A) CAJA Y ESPIGA; B) ENSAMBLE DE COLA DE MILANO A MEDIA MADERA; C) EMPALME.....	3
FIGURA 1.3: DIFERENTES TIPOS DE CLAVIJAS	4
FIGURA 1.4: PERNO.....	5
FIGURA 1.5: CONECTOR DE MADERA.....	11
FIGURA 2.1: UNIÓN EMPERNADA A DOBLE CIZALLAMIENTO, CARGAS PARALELAS AL GRANO EN TODOS LOS ELEMENTOS (CARGA P).....	15
FIGURA 2.2: (A) UNIONES EMPERNADAS CON CORTE SIMPLE. (B) UNIONES EMPERNADAS CON CORTE DOBLE. (C) DISTANCIAS Y ESPACIAMIENTOS EN LAS UNIONES	18
FIGURA 2.3: MODOS DE FALLA PARA UNIONES EMPERNADAS CORTE SIMPLE Y CORTE DOBLE	18
FIGURA 2.4: (A) SEPARACIÓN PARALELA A LA FIBRA EN UNA FILA Y PERPENDICULAR A LA FIBRA ENTRE FILAS. (B) DISTANCIAS AL BORDE Y A LA TESTA	27
FIGURA 2.5 CONECTOR DE PLACA DENTADA SIMPLE	41
FIGURA 2.6: ESPESORES MÍNIMOS PARA PIEZAS DE MADERA COMPONENTES DE LA UNIÓN	44
FIGURA 2.7: MEDIDAS TOMADAS EN LAS PROBETAS MEDIANTE EL CALIBRADOR.....	48
FIGURA 2.8: CONECTOR TIPO “APPEL”.....	59
FIGURA 2.9: ESPESORES MÍNIMOS DE LAS PIEZAS DE MADERA	60
FIGURA 2.10: CONECTOR TIPO ALLIGATOR.....	71
FIGURA 3.1: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA.....	85
FIGURA 3.2: ESPESORES DE PROBETAS.....	86
FIGURA 3.3: FALLA DE PROBETAS.....	88
FIGURA 3.4: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA.....	93
FIGURA 3.5: ESPESORES	94
FIGURA 3.6: PROBETAS ENSAYADAS	97
FIGURA 3.7: PROBETAS ENSAYADAS	104

FIGURA 3.8: CONECTOR TIPO “ALLIGATOR”	108
FIGURA 3.9: PROBETAS ENSAYADAS	112

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1.1: CONECTORES DE ANILLO TIPO A	6
TABLA 1.2: CONECTORES DE PLACA TIPO B	7
TABLA 1.3: CONECTORES DE PLACA DENTADA TIPO C	9
TABLA 2.1: CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS-DOBLE CIZALLAMIENTO	16
TABLA 2.2: ECUACIONES LÍMITE DE FALLA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS UNIONES EMPERNADAS	19
TABLA 2.3: ECUACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DEL TÉRMINO DE REDUCCIÓN R_D	21
TABLA 2.4: CAPACIDAD PORTANTE DEL PERNO	22
TABLA 2.5: VALORES MÍNIMOS DE LAS SEPARACIONES Y DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES Y A LAS TESTAS PARA LOS PERNOS	26
TABLA 2.6: CARGA ADMISIBLE PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN LA “JUNAC”	28
TABLA 2.7: CARGA ADMISIBLE PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN LA “JUNAC”	28
TABLA 2.8: CARGA DE DISEÑO PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	31
TABLA 2.9: CARGA DE DISEÑO PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	32
TABLA 2.10: CAPACIDAD DE CARGA DE CARGA PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	38
TABLA 2.11: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	39
TABLA 2.12: RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS – CORTE DOBLE ..	40
TABLA 2.13: RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS – CORTE SIMPLE .	40
TABLA 2.14: VALORES MÍNIMOS DE LAS SEPARACIONES Y DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES Y A LAS TESTAS PARA CONECTORES DE PLACA DENTADA DE TIPOS C1 A C9	44
TABLA 2.15: DENSIDADES BÁSICAS Y CONTENIDOS DE HUMEDAD EN LAS	

MADERAS.....	49
TABLA 2.16: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES TIPO “BULLDOG” CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	55
TABLA 2.17: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES TIPO “BULLDOG” CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	58
TABLA 2.18: VALORES MÍNIMOS DE LAS SEPARACIONES Y DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES Y A LAS TESTAS PARA CONECTORES DE ANILLO	62
TABLA 2.19: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES TIPO “APPEL” CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	67
TABLA 2.20: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES TIPO “APPEL” CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN EL “EUROCODIGO 5”	70
TABLA 2.21: VALORES DE ESFUERZO DE APLASTAMIENTO DE LA MADERA (σ) Y ESFUERZO DE FLEXIÓN DEL PERNO (A) DE ACUERDO AL NÚMERO DE PLANOS DE CORTE Y DEL TIPO DE MADERA	74
TABLA 2.22: CARGAS ADMISIBLES PARA CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR” SEGÚN LA NORMA “DIN 1052”	76
TABLA 2.23: CARGAS ADMISIBLES PARA CONEXIONES EMPERNADAS A CORTE DOBLE, SEGÚN LA NORMA “DIN 1052”	80
TABLA 2.24: CARGA ADMISIBLE PARA CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR” CON UNO Y DOS PLANOS DE CORTE, SEGÚN LA NORMA “DIN 1052”	83
TABLA 3.1: LONGITUD DE PERNOS UTILIZADOS	84
TABLA 3.2: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA	85
TABLA 3.3: ESPESORES MÍNIMOS VS FABRICADOS	86
TABLA 3.4: ENSAMBLAJE DE PROBETA	86
TABLA 3.5: SIMBOLOGÍA DE LAS PROBETAS	87
TABLA 3.6: RESULTADOS EXPERIMENTALES	88
TABLA 3.7: RIGIDECES PROBETAS CON PERNO	89
TABLA 3.8: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE ($P_{ADM}=P_{L.E.}/4$).....	90
TABLA 3.9: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE	

(PADM=P CUANDO LA DEFORMACIÓN ES IGUAL A 1.5 MM).....	90
TABLA 3.10: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO	90
TABLA 3.11: DESCRIPCIÓN DEL CONECTOR “BULLDOG”	91
TABLA 3.12: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CONECTOR TIPO “BULLDOG”	92
TABLA 3.13: DISTANCIAS AL BORDE Y A LA TESTA.....	93
TABLA 3.14: ESPESORES PROBETAS	94
TABLA 3.15: LONGITUDES DE PERNOS.....	94
TABLA 3.16: ENSAMBLAJE DE LA PROBETA.....	95
TABLA 3.17: SIMBOLOGÍA DE LAS PROBETAS	96
TABLA 3.18: RESULTADOS EXPERIMENTALES	97
TABLA 3.19: RIGIDECES	98
TABLA 3.20: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO, LA CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO CON RESPECTO A LA CARGA ADMISIBLE (PADM.=P.L./4).....	99
TABLA 3.21: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO, LA CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO CON RESPECTO A LA CARGA ADMISIBLE (PADM=P CUANDO LA DEFORMACIÓN ES IGUAL A 1.5 MM).....	99
TABLA 3.22: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO	99
TABLA 3.23: CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR.....	100
TABLA 3.24: DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DEL CONECTOR.....	101
TABLA 3.25: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA	101
TABLA 3.26: ESPESORES DE LAS PROBETAS.....	102
TABLA 3.27: ENSAMBLAJE DE PROBETA	102
TABLA 3.28: SIMBOLOGÍA DE LAS PROBETAS	103
TABLA 3.29: RESULTADOS EXPERIMENTALES	105
TABLA 3.30: RIGIDECES	106
TABLA 3.31: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE (PADM=P L.E/4).....	106
TABLA 3.32: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE	

ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE ($P_{ADM}=P$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES IGUAL A 1.5 MM).....	107
TABLA 3.33: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO	107
TABLA 3.34: CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR	108
TABLA 3.35: DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DEL CONECTOR.....	108
TABLA 3.36: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA	109
TABLA 3.37: ESPESORES DE LA PROBETA.....	110
TABLA 3.38: ENSAMBLAJE DE LA PROBETA.....	110
TABLA 3.39: SIMBOLOGÍA DE PROBETAS	111
TABLA 3.40: RESULTADOS EXPERIMENTALES	113
TABLA 3.41: RIGIDECES	113
TABLA 3.42: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE ($P_{ADM}=P L.E/4$).....	114
TABLA 3.43: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE ($P_{ADM}=P$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES IGUAL A 1.5 MM).....	114
TABLA 3.44: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO	114
TABLA 4.1: RESULTADOS TEÓRICOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES	115
TABLA 4.2: DIFERENCIA EN PORCENTAJE ENTRE LOS VALORES DE CARGAS ADMISIBLES OBTENIDAS MEDIANTE LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION” Y LA “JUNAC”, RESPECTO A LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES	116
TABLA 4.3: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LAS CARGAS EXPERIMENTALES RESPECTO A LAS CARGAS CALCULADAS CON EL “EUROCÓDIGO 5”	117
TABLA 4.4: FACTORES DE SEGURIDAD RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO	117
TABLA 4.5: RESULTADOS EXPERIMENTALES Y TEÓRICOS	118
TABLA 4.6: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LOS VALORES	

EXPERIMENTALES EN RELACIÓN A LOS TEÓRICOS	119
TABLA 4.7: FACTORES DE SEGURIDAD DE LA CARGA ADMISIBLE EXPERIMENTAL RESPECTO A LA CARGA NOMINAL CALCULADO CON EL “EUROCÓDIGO 5”	119
TABLA 4.8: FACTORES DE SEGURIDAD DE LA CARGA ADMISIBLE EXPERIMENTAL RESPECTO A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO EXPERIMENTAL.....	120
TABLA 4.9: CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO EXPERIMENTAL Y CARGA NOMINAL CALCULADO DE ACUERDO AL “EUROCÓDIGO 5”	120
TABLA 4.10: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA NOMINAL CALCULADA SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5” CON RESPECTO A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO EXPERIMENTAL	120
TABLA 4.11: FACTORES DE SEGURIDAD RESPECTO A LA CARGA NOMINAL DEL “EUROCÓDIGO 5”	121
TABLA 4.12: FACTORES DE SEGURIDAD RESPECTO A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO	121
TABLA 4.13: CARGAS ADMISIBLES TEÓRICAS Y EXPERIMENTALES	122
TABLA 4.14: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LAS CARGAS ADMISIBLES, EN RELACIÓN A LAS CARGAS TEÓRICAS	122
TABLA 4.15: FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS CARGAS ADMISIBLES EXPERIMENTALES Y CARGA ADMISIBLE SEGÚN LA NORMA “DIN 1052”, CON RESPECTO A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO.....	122
TABLA 4.16: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DEL INCREMENTO DE LA RIGIDEZ DEL CONECTOR TIPO “BULLDOG”, “APPEL”, “ALLIGATOR”, RESPECTO A LA UNIÓN CON PERNO.....	123
TABLA 4.17: CHANUL CORTE SIMPLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE	123
TABLA 4.18: CHANUL CORTE DOBLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE	124
TABLA 4.19: MASCAREY CORTE SIMPLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO	

TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE	125
TABLA 4.20: MASCAREY CORTE DOBLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO	
TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE	126
TABLA 4.21: GUAYACÁN CORTE SIMPLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO	
TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE	126
TABLA 4.22: GUAYACÁN CORTE DOBLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO	
TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE	126

SIMBOLOGÍA O SIGLAS

A

- **ANSI/ASME B 18.2.1:** Norma para el dimensionamiento de pernos con cabeza hexagonal.
- **ANSI:** Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (American National Standards Institute).
- **ASME:** Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers).

D

- **DIN:** Instituto Alemán de Normalización (Deutsches Institut für Normung).
- **DIN (1052):** Normas para las construcciones en madera.

E

- **EUROCODIGO:** Son un conjunto de normas europeas para la ingeniería de carácter voluntario, redactadas por el Comité Europeo de Normalización.
- **EUROCODIGO (5):** Normas europeas para Proyectos de estructuras de madera.

J

- **JUNAC:** Junta del Acuerdo de Cartagena.
- **NDS FOR WOOD CONSTRUCTION:** Especificación Nacional de Diseño para la Construcción con Madera.
- **SAE:** Sociedad de Ingenieros Automotrices (Society of Automotive Engineers).
- **SAE GRADO 2:** Norma de Pernos de acero de bajo contenido de carbono.

U

- **UNE:** Una Norma Española (norma técnica española).
- **UNE EN 10025:** Productos laminados en caliente de aceros para estructuras. Parte 2: Condiciones técnicas de suministro de los aceros estructurales no aleados.

- **UNE EN 10139:** Flejes de acero bajo en carbono, no recubiertos para conformado en frío. Condiciones técnicas de suministro.
- **UNE EN 10142:** Bandas (chapas y bobinas) de acero bajo en carbono, galvanizadas en continuo por inmersión en caliente, para conformación en frío. Condiciones técnicas de suministro.
- **UNE EN 10147:** Bandas (chapas y bobinas) de acero de construcción galvanizadas en continuo por inmersión en caliente. Condiciones técnicas de suministro.
- **UNE EN 10268:** Productos planos laminados en frío de aceros microaleados soldables de alto límite elástico para conformado en frío.
- **UNE EN 1561:** Fundición gris.
- **UNE EN 1562:** Fundición maleable.
- **UNE EN 1706:** Aluminio y aleaciones de aluminio. Piezas moldeadas. Composición química y características mecánicas.
- **UNE EN 912:** Especificaciones de los conectores para madera.

RESUMEN

Las conexiones en madera que se utilizan en el Ecuador son las tradicionales mencionadas en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, El presente estudio busca incrementar el tipo de uniones utilizadas en el país, introduciendo el estudio de las conexiones especiales empleadas en Europa y Estados Unidos.

Con este objetivo, se empieza definiendo los tipos de conectores y las clases de maderas a emplearse en la realización del estudio,

El siguiente paso en la investigación consiste en realizar un resumen de las normas a ser consideradas, a partir de las cuales se obtienen las dimensiones y características de las probetas, así como los valores teóricos de capacidad de carga de la unión.

Con los datos obtenidos se procede a la fabricación de los conectores, y al posterior ensamblaje de las probetas a ser ensayadas.

Una vez ensambladas las probetas, se procede al ensayo a compresión, para obtener las curvas de carga vs deformación.

Con las curvas obtenidas se realiza un análisis para definir la carga admisible experimental, y luego se hace una comparación entre los valores teóricos y los resultados experimentales.

Finalmente se realiza un análisis comparativo del incremento en la capacidad de carga de las uniones con conectores especiales, respecto a las conexiones empernadas, dependiendo del tipo de madera y del conector utilizado.

PRESENTACIÓN

Esta investigación consta de 6 capítulos, distribuidos de la siguiente manera:

En el capítulo 1, se presenta una introducción referente a los tipos de uniones y de conectores existentes.

En el capítulo 2, se presenta un resumen de las normas existentes para el estudio de las conexiones especiales, además de las características de las probetas y los valores de cargas admisibles teóricas, de acuerdo a los tipos de conectores y las maderas utilizadas en la unión.

En el capítulo 3, se detalla el proceso constructivo de los conectores y el ensamblaje de las probetas, se describe el ensayo de la conexión y se presentan los resultados obtenidos experimentalmente.

En el capítulo 4, se realiza el estudio comparativo de los valores teóricos, obtenidos de aplicar los criterios de los códigos de diseño, y los resultados experimentales. Se presenta una comparación entre los tipos de conectores que se utilizaron en el estudio.

En el capítulo 5, se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas en base a la investigación realizada.

Finalmente en el capítulo 6, se presenta la bibliografía utilizada en la realización del estudio. Además del capítulo 6, se presentan los anexos, en los cuales se incluyen las gráficas de carga vs deformación obtenidas de los ensayos experimentales, tablas con valores de capacidad de carga, coeficientes de contracción y cuadros de clasificaciones de la madera.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En nuestro medio, la construcción con madera se encuentra restringida a pequeños proyectos, debido en gran parte a que nuestros códigos de diseño no se han actualizado. El código ecuatoriano de la construcción está basado en la junta del acuerdo de Cartagena (JUNAC) la cual no ha sido actualizada desde el año 1986, lo cual implica que en nuestro país no se aplique nuevos criterios y tecnologías que ya se han implementado para la construcción con madera en otros países.

Debido a las grandes ventajas que presenta este material como son: bajo costo, poco peso, admite mayores deformaciones que otros materiales de construcción, la consideración de la madera como elemento estructural para las construcciones debe incrementarse en el país, además de que es un elemento estéticamente muy agradable.

El presente trabajo se relaciona con las uniones o conexiones, ya que para todo sistema estructural son muy importantes, muchas de las veces, su adecuado funcionamiento dependerá de éstas.

La información técnica existente es amplia, de ahí que en países desarrollados existan códigos específicos de diseño en madera (Código Americano "National Design Specification for Wood Construction", códigos europeos como el "DIN 1052", o el "Eurocódigo 5", etc.), así como tipos de conexiones patentadas, que resultan muy costosas en nuestro medio. Por tanto, lo que se pretende es tomar dicha información y adaptarla a las condiciones del país, contribuyendo de esta manera al desarrollo de un campo poco estudiado y aportando para que la construcción con madera se fortalezca.

Con el conocimiento de la capacidad que brindan las conexiones se podrá optimizar la construcción en madera, ya que se proporcionara información veraz acerca del comportamiento de la conexión y además los factores de seguridad pueden estar a juicio del ingeniero calculista, resultando en secciones menores que trabajen adecuadamente.

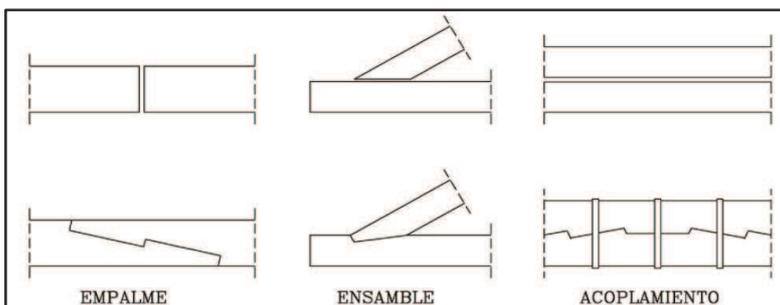
Por tanto lo que se busca es desarrollar e incrementar el uso de la madera como elemento estructural, ya que contribuirá a un mayor conocimiento de este sistema constructivo, particularmente en lo que a conexiones se refiere, ya que la falta de estudios e investigación en este campo en nuestro país crea incertidumbres acerca de su comportamiento.

1.1 ANTECEDENTES

Las estructuras de madera están formadas por piezas unidas entre sí. Estas uniones constituyen puntos fundamentales, para los cuales es necesario un estudio minucioso, ya que el agotamiento de una estructura puede presentarse simplemente por la falta de resistencia de una conexión.

Las uniones entre piezas de madera pueden clasificarse de acuerdo a diversos criterios:

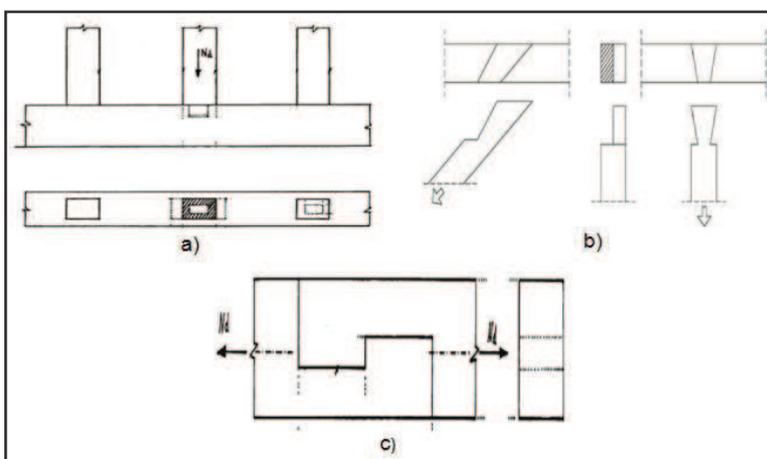
- a) Por la forma de la unión, pueden ser de varios tipos:
- Empalmes, cuando las piezas se enlazan por sus testas
 - Ensamblés, cuando las piezas se cortan formando un determinado ángulo
 - Acoplamientos, cuando las piezas se superponen por sus caras

FIGURA 1.1: CONEXIONES DE ACUERDO A LA FORMA DE LA UNIÓN

Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 5

b) Por el medio de unión empleado, pueden ser de dos tipos:

- Uniones carpinteras, las cuales se enlazan mediante un trabajo de carpintería, como por ejemplo caja y espiga, empalmes, etc.

FIGURA 1.2: UNIONES CARPINTERAS: A) CAJA Y ESPIGA; B) ENSAMBLE DE COLA DE MILANO A MEDIA MADERA; C) EMPALME

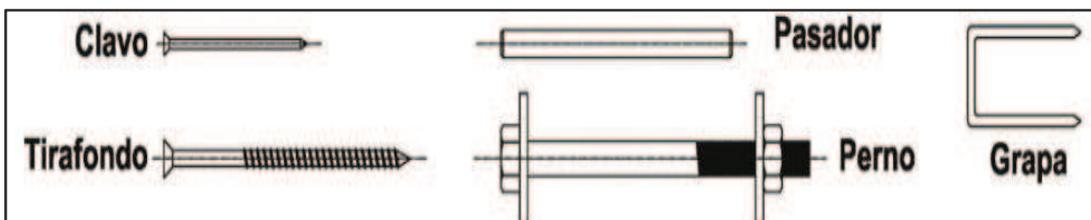
Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 32, 51

- Uniones mecánicas, las cuales utilizan herrajes para la transmisión de esfuerzos, como clavos, pernos, conectores. Dentro de las uniones mecánicas se diferencian dos tipos de uniones dependiendo del modo de transmisión de los esfuerzos: las denominadas “clavijas” y las constituidas por los conectores.

1.1.1 UNIONES CLAVIJAS

Son elementos de fijación de tipo mecánico que atraviesan las piezas de madera, transmiten los esfuerzos a través de herrajes metálicos, mediante tensiones de aplastamiento sobre las piezas de madera. El término clavija se emplea para clavos, grapas, tirafondos, pernos y pasadores.

FIGURA 1.3: DIFERENTES TIPOS DE CLAVIJAS



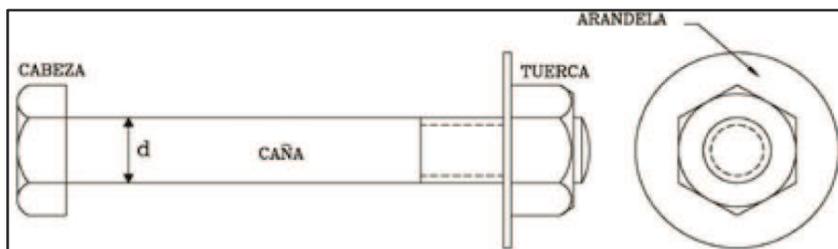
Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 54

Las clavijas pueden resistir esfuerzos laterales (carga de cortante), así como esfuerzos axiales (carga axial).

Como resultado de la aplicación de cargas laterales, el vástago de los elementos clavija está sometido a esfuerzos de flexión, además de corte, y traba las piezas de madera, provocando tensiones localizadas de aplastamiento.

1.1.1.1 Pernos

Son elementos de fijación formados por barras metálicas de sección circular con cabeza hexagonal o cuadrada en un extremo, y rosca o tuerca en el otro. Deben introducirse en agujeros cuyo diámetro puede llegar a tener hasta una holgura de 1 mm para su colocación. Bajo la cabeza de los pernos se deberán colocar arandelas, cuyo diámetro debe ser al menos 3 veces mayor al correspondiente al perno, y un espesor de 0.3 veces el mismo diámetro.

FIGURA 1.4: PERNO

Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 60

1.1.2 UNIONES CON CONECTORES

Un conector es un elemento de fijación que puede ser de varios tipos: de anillo, de placa, placa dentada, madera, el cual se introduce entre dos piezas de madera, afianzadas mediante un perno que atraviesa las mismas. El esfuerzo se transmite a través de una mayor superficie que en el caso de las uniones con clavijas.

De acuerdo con la norma UNE-EN 912, la clasificación de los conectores es la siguiente:

- Grupo A: Conectores de tipo anillo
- Grupo B: Conectores de tipo placa
- Grupo C: Conectores de placa dentada
- Grupo D: Conectores de madera¹

1.1.2.1 Conectores de Anillo

Son elementos metálicos con forma de anillo que pueden ser abiertos o cerrados. Éstos deben insertarse entre las dos piezas de madera a unir, alojando la mitad de su altura en cada una de ellas. También se denominan conectores tipo "Appel".

¹Sociedad Española de la Madera, 03 Diseño y Cálculo en Estructuras de Madera, pág.

Tipos de anillos.- Se clasifican 6 tipos de anillos dependiendo de su forma y material, desde el tipo A1 hasta el tipo A6 como se muestra en el siguiente esquema:

TABLA 1.1: CONECTORES DE ANILLO TIPO A

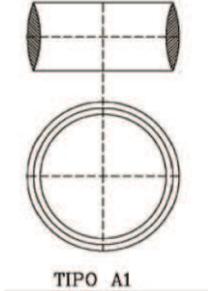
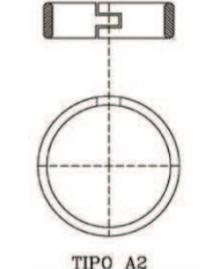
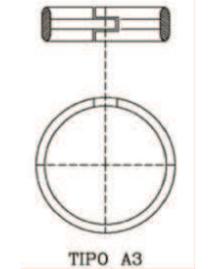
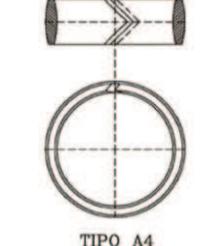
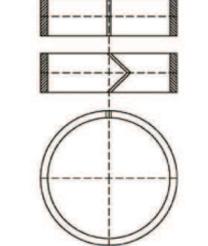
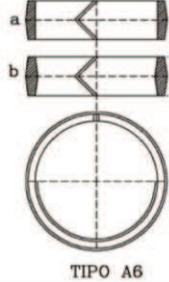
 <p style="text-align: center;">TIPO A1</p>	<p>Tipo A1: Anillo cerrado con sección transversal lenticular, fabricado en aleación de aluminio según norma UNE-EN 1706.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO A2</p>	<p>Tipo A2: Anillo partido con una sección en forma de rectángulo con aristas redondeadas y con un machihembrado en la abertura, fabricado en acero laminado en caliente o aleaciones de acero templado según la norma UNE-EN 10025.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO A3</p>	<p>Tipo A3: Anillo partido con sección transversal con los bordes biselados y un machihembrado en la abertura, fabricado en acero laminado en caliente o en aleaciones de acero templado según norma UNE-EN 10025.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO A4</p>	<p>Tipo A4: Anillo partido con una sección transversal con caras doblemente biseladas y con un machihembrado en forma de V, realizada con un ángulo de 45°, fabricado en fundición gris según la norma UNE-EN 1561.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO A5</p>	<p>Tipo A5: Anillo partido con una sección transversal con forma rectangular y un machihembrado en forma de V o recto, fabricado en acero laminado en caliente según la norma UNE-EN 10025.</p>

Tabla 1.1:CONTINUACIÓN

 <p style="text-align: center;">TIPO A6</p>	<p>Tipo A6: Anillo partido con una sección en forma de trapecio simple o doble. El corte del anillo se realiza con forma de V con un ángulo de 60°, fabricado con fundición según la norma UNE-EN 1561.</p>
--	--

Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 71 - 72

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

1.1.2.2 Conectores de Placa

Son elementos metálicos en forma de placas circulares, con una pestaña en uno de sus lados, que debe insertarse en una caja realizada en la pieza de madera. Se emplean para unir madera con acero o madera con madera. Además deben contar con un agujero central para alojar al perno que completa la unión.

Tipos de placas.- Se clasifican en 4 tipos de placas, dependiendo de su forma y material, desde el tipo B1 hasta el tipo B4 según el siguiente esquema:

TABLA 1.2: CONECTORES DE PLACA TIPO B

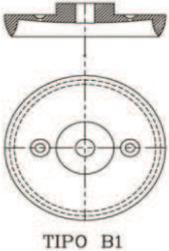
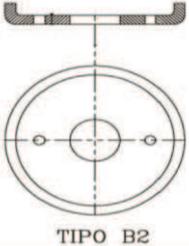
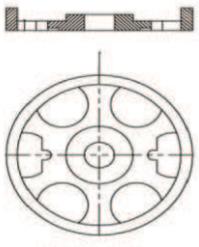
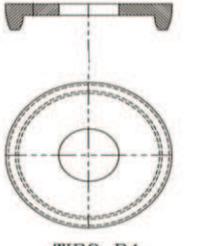
 <p style="text-align: center;">TIPO B1</p>	<p>Tipo B1: Placa de forma circular embreada y con un buje cilíndrico solidario concéntrico. La brida y el buje están en caras opuestas de la placa. Además cuenta con dos orificios para clavos en la placa a ambos lados del orificio del perno, fabricado en aleación de aluminio según norma UNE-EN 1706.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO B2</p>	<p>Tipo B2: Placa de forma circular embreada y con un orificio central para el perno. Cuenta con dos orificios para alojar clavos, fabricado en acero laminado en caliente según la norma UNE-EN 10025.</p>

TABLA 1.2:CONTINUACIÓN

 <p style="text-align: center;">TIPO B3</p>	<p>Tipo B3: Placa perforada de forma circular embreada y con un buje cilíndrico solidario y concéntrico con orificio para perno en el eje de la placa. La brida y el buje se encuentran en la misma cara de la placa, puede tener dos ranuras para alojar clavos, fabricado en fundición maleable según la norma UNE-EN 1562.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO B4</p>	<p>Tipo B4: Placa de forma circular embreada y con un orificio central, fabricado en fundición gris según la norma UNE-EN 1561.</p>

Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 75

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

1.1.2.3 Conectores de Placa Dentada

Dentro de este tipo de elementos se distinguen dos grandes grupos:

El primero formado por los conectores en forma de placa con dientes triangulares, que pueden situarse a uno o ambos lados de la placa, denominados conectores de tipo “Bulldog”.

El segundo formado por los conectores en forma de placa con dientes en forma tronco-cónica, también dentados a uno o ambos lados de la placa. Denominados también conectores tipo “Geka”.

Tipos de conectores de placa dentada.- En total son 11 tipos de conectores de placa dentada, agrupados dentro de los dos tipos definidos anteriormente.

Desde el tipo C1 a C9 se definen los conectores con dientes de forma triangular, y desde el C10 hasta el C11 son los conectores con dientes de forma cónica.

TABLA 1.3: CONECTORES DE PLACA DENTADA TIPO C

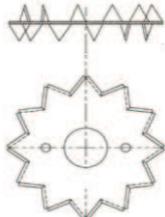
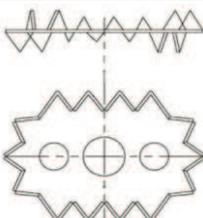
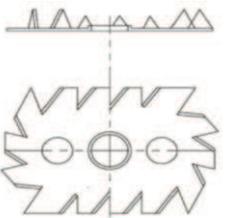
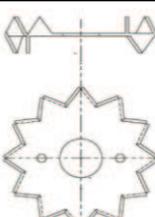
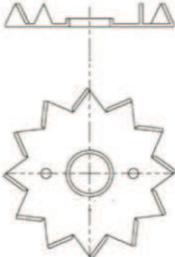
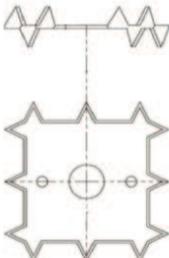
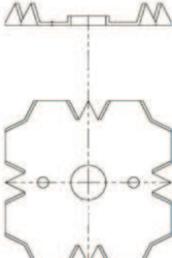
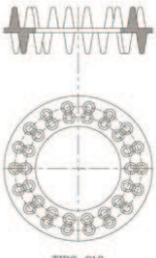
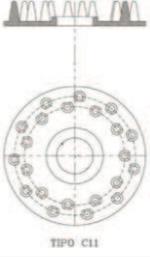
 <p style="text-align: center;">TIPO C1</p>	<p>Tipo C1: Conector de doble cara en forma de placa circular de dientes triangulares cortados y plegados proyectados alternativamente a ambos lados de la placa, con dos orificios para clavos equidistantes del orificio para perno, fabricados con bandas de acero bajo en carbono conformado en frio y no revestidas según la norma UNE-EN 10139.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C2</p>	<p>Tipo C2: Conector similar al tipo C1 pero con dientes en una sola cara de la placa, fabricados con el mismo material del conector tipo C1.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C3</p>	<p>Tipo C3: Conector de doble cara dentada en forma de placa ovalada, cuenta con 28 dientes triangulares cortados y plegados a ambos lados de la placa, con tres orificios, uno central de mayor diámetro, fabricado con bandas de acero bajo en carbono conformado en frio y no revestidas según norma UNE-EN 10139 o chapas laminadas en frio de acero de alta elasticidad para conformado en frio según norma UNE-EN 10268.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C4</p>	<p>Tipo C4: Conector con características similares al C3 pero con los dientes en una sola cara. El orificio para el perno está rodeado de una brida embutida en el mismo lado del dentado, fabricado con el mismo material del conector tipo C3.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C5</p>	<p>Tipo C5: Conector de doble cara dentada en forma de placa cuadrada con dientes triangulares cortados y plegados alternativamente a ambos lados de la placa. En cada esquina de la placa existe un orificio para alojar clavos, fabricado con bandas de acero bajo en carbono conformado en frio y no revestidas según la norma UNE-EN 10139 o chapas laminadas en frio de acero de alta elasticidad para conformado en frio según norma UNE-EN 10268.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C6</p>	<p>Tipo C6: Conector de doble cara en forma de placa circular con agujero para perno en el centro que puede llevar dos orificios para clavos. Consta de 24 dientes triangulares espaciados regularmente y plegados alternativamente a ambos lados de la placa, fabricado en acero bajo en carbono galvanizado en caliente y continuo conformado en frio según norma UNE-EN 10142 y 10147.</p>

Tabla 1.3:CONTINUACIÓN

 <p style="text-align: center;">TIPO C7</p>	<p>Tipo C7: Conector de características similares al C6 pero con 12 dientes en una sola cara y con una brida embutida en el orificio para el perno, fabricado con el mismo material que el conector tipo C6.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C8</p>	<p>Tipo C8: Conector de doble cara en forma de placa cuadrada con orificio central para perno y puede llevar dos orificios laterales para clavos. Consta de 32 dientes triangulares, 8 en cada lado y plegados alternativamente a ambos lados de la placa, fabricado en acero bajo en carbono galvanizado en caliente y continuo conformado en frio según norma UNE-EN 10142 y 10147.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C9</p>	<p>Tipo C9: Conector de características similares al C8 pero con 16 dientes en una sola cara. El orificio para perno está rodeado de una brida embutida en el mismo lado del dentado, fabricado con el mismo material del conector tipo C8.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C10</p>	<p>Tipo C10: Conector de doble cara en forma de anillo con dientes en forma de cono con punta redondeada que pueden disponerse en uno o dos círculos en cada cara del anillo, fabricado en fundición maleable según la norma UNE-EN 1562.</p>
 <p style="text-align: center;">TIPO C11</p>	<p>Tipo C11: Conector similar al tipo C10 pero con dientes en una sola cara, tiene forma de placa circular con un agujero central para el perno. Los dientes pueden disponerse en uno o dos círculos, fabricado en el mismo material que el tipo C10.</p>

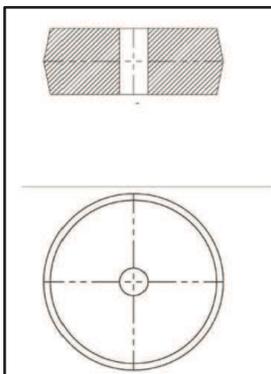
Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 77 - 82

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

1.1.2.4 Conectores de Madera

Dentro de estos elementos se distingue un único tipo denominado D1. Debe ser fabricado con madera limpia de roble, con una densidad característica mínima de 600 kg/m^3 y un contenido de humedad no superior al 18%. La fibra de la madera debe ser perpendicular al eje del perno.

FIGURA 1.5: CONECTOR DE MADERA



Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 84

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio teórico – experimental de las conexiones especiales de madera sometida a carga axial.

1.2.1.1 Descripción

El presente ensayo pretende:

- Determinar experimentalmente el valor de carga admisible de conexiones especiales para madera sometida a carga axial
- Comprobarlos con los valores de carga admisible utilizados en los códigos
- Determinar las propiedades mecánicas de las conexiones especiales de madera sometida a carga axial

Con el propósito de analizar, verificar, tanto los resultados experimentales y los correspondientes teóricos, es decir, los obtenidos al aplicar los criterios de los códigos de diseño, así como el incremento de la capacidad de la conexión, al aplicar una carga axial sobre una serie de probetas ensayadas a simple cizallamiento y a doble cizallamiento, se colocará un conector especial en las uniones, para compararlas con otros tipos de conexiones en las que únicamente se colocará un perno.

Los tipos de conectores especiales utilizados para las conexiones serán: conectores de anillo, y conectores de placa dentada.

- El conector de anillo utilizado será el Tipo A1 (Appel, según la clasificación del “Eurocódigo 5”). Para los conectores de placa dentada se utilizará el Tipo C2 (Bulldog, según la clasificación del “Eurocódigo 5”), además de un tercer tipo de conector llamado “Alligator”, el cual se encuentra especificado en las normas “DIN 1052”. Todos los conectores han sido dimensionados de acuerdo a los criterios de los códigos de diseño existentes, aunque se debe tomar en cuenta ciertas limitaciones como: los tipos de materiales, las dimensiones de estos, y la maquinaria empleada, de acuerdo a lo que se encuentre disponible en el mercado nacional.

Se utilizarán tres tipos de maderas: Guayacán (Madera dura Tipo A), Chanul (Madera intermedia Tipo B) y Mascarey (Madera blanda Tipo C), según clasificación de la “JUNAC”. Por cada tipo de madera y por cada conector se ensamblarán dos probetas. Además se construirán dos uniones adicionales, utilizando como conectores pernos, tanto para cizallamiento simple como para cizallamiento doble.

En total se fabricarán 16 probetas con cada tipo de madera. Por tanto se contará con 48 probetas para la realización de todo el estudio.

Las normas y especificaciones a utilizarse serán:

- Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, "JUNAC"
- Códigoamericano, "National Design Specification for Wood Construction"
- Norma Europea, "Eurocódigo 5"
- Código alemán, "DIN 1052"
- Normas UNE

Limitaciones:

Las "Conexiones especiales de madera sometida a carga axial" son campos en los cuales no se cuenta con información técnica a nivel nacional, por tanto, se debe adaptar la existente en los códigos de diseño americanos y europeos, para poder aplicarla en nuestro medio.

CAPÍTULO II

ESTUDIO TEÓRICO

En el presente capítulo se procede a detallar los diferentes métodos de cálculo para las cargas admisibles correspondientes a los conectores especiales utilizados, conforme a las recomendaciones de los códigos de diseño para madera.

Como un paso previo se ha realizado un estudio de conexiones de madera unidas mediante pernos. Esto se hace necesario debido a que la capacidad total de la conexión considerada debe tomar en cuenta tanto la resistencia del conector especial, como la del perno que forma parte de la misma. Además servirá como parámetro de comparación para determinar cuánto mejora la resistencia de la unión mediante la colocación del conector especial.

El perno utilizado para las conexiones es del tipo SAE Grado 2 Acero de bajo carbono.

2.1 CONEXIONES CON PERNOS

2.1.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”

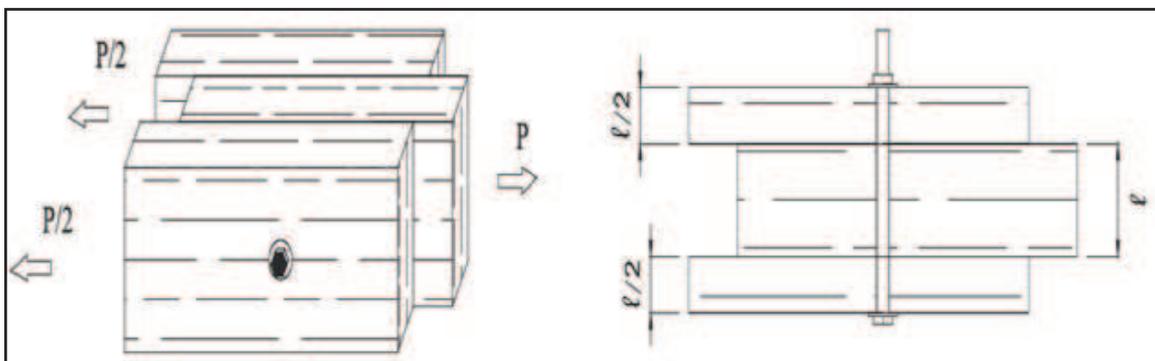
2.1.1.1 Cargas admisibles

La “JUNAC” presenta las cargas admisibles obtenidas experimentalmente basándose en la norma ASTM D1761-74 (10,6b), lo cual fue realizado en uniones con pernos de diámetro $\frac{1}{2}$ ” (1.27 cm) sometidas a doble cizallamiento, y se han efectuado en 46 especies de madera, abarcando los tipos estructurales A, B y

C, con uniones cargadas tanto paralela como perpendicular a la fibra del elemento central de la unión.

Las relaciones entre el espesor del elemento central ℓ , y el diámetro del perno d (relación ℓ/d), consideradas en la "JUNAC" fueron de 2, 4,6 u 8. En todos los casos el espesor de cada uno de los elementos fue igual a la mitad del espesor del elemento central como se muestra en la siguiente figura:

FIGURA 2.1: UNIÓN EMPERNADA A DOBLE CIZALLAMIENTO, CARGAS PARALELAS AL GRANO EN TODOS LOS ELEMENTOS (CARGA P)



Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 78

Para el cálculo de cargas admisibles, la "JUNAC" considera las siguientes variables:

- Grupo estructural de la madera (A, B o C) y la condición de la madera
- Diámetro de los pernos
- La orientación de las fuerzas en la unión, con relación a la dirección de la fibra, en los diversos elementos de la madera
- El espesor de los elementos de la madera
- El número de pernos empleados y su ubicación en la unión

Basándose en estas variables y de acuerdo a los criterios anteriormente mencionados, la "JUNAC" presenta la siguiente tabla:

TABLA 2.1: CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS-DOBLE CIZALLAMIENTO

l cm	D cm	D Pulg	l/d	GRUPO A		GRUPO B		GRUPO C	
				P Kg	Q Kg	P Kg	Q Kg	P Kg	Q Kg
2	0.63	¼	3.2	195	88	131	58	75	34
	0.95	3/8	2.1	297	101	196	67	113	39
	1.27	½	1.6	396	117	261	78	151	45
	1.59	5/8	1.3	495	132	326	88	188	51
3	0.63	¼	4.8	229	124	179	88	113	51
	0.95	3/8	3.2	438	152	294	101	169	59
	1.27	½	2.4	594	176	392	117	226	68
	1.59	5/8	1.9	743	198	489	132	282	77
4	0.63	¼	6.3	256	144	200	114	128	68
	0.95	3/8	4.2	491	201	386	134	226	78
	1.27	½	3.1	779	234	522	156	301	91
	1.59	5/8	2.5	990	264	653	175	376	102
	1.90	¾	2.1	1188	299	783	199	452	116
5	0.95	3/8	5.3	536	226	420	168	268	98
	1.27	½	3.9	851	293	653	195	376	114
	1.59	5/8	3.1	1217	330	816	219	470	128
	1.90	¾	2.6	1485	374	979	248	564	145
6.5	0.95	3/8	6.8	594	260	463	206	297	127
	1.27	½	5.1	943	345	739	253	471	148
	1.59	5/8	4.1	1350	428	1061	285	611	166
	1.90	¾	3.4	1809	486	1273	323	734	188
8	0.95	3/8	8.4	645	289	501	235	318	156
	1.27	½	6.3	1024	385	799	303	511	182
	1.59	5/8	5	1465	481	1148	351	731	205
	1.90	¾	4.2	1963	595	1544	397	903	232
9	0.95	3/8	9.5	676	308	523	253	329	169
	1.27	½	7.1	1072	409	835	326	535	205
	1.59	5/8	5.7	1535	512	1200	395	766	230
	1.90	¾	4.7	2057	633	1614	447	1016	261
10	0.95	3/8	10.5	704	325	544	270	339	181
	1.27	½	7.9	1118	433	869	348	555	227
	1.59	5/8	6.3	1600	541	1248	426	799	256
	1.90	¾	5.3	2144	669	1679	497	1070	290

Fuente: PADT REFORT. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, (1984) pág. 12-14

En donde:

- l : es la longitud definida como el espesor del elemento central o el doble del espesor del elemento más delgado, el que sea menor
- d : es el diámetro del perno, en cm y en pulg
- l/d : es la relación largo sobre diámetro del perno
- P : es la carga admisible en dirección paralela a la fibra, en kg
- Q : es la carga admisible en dirección perpendicular a la fibra, en kg

Para las uniones empernadas de **SIMPLE CIZALLAMIENTO**, se debe tomar como carga admisible la mitad de los valores presentados en la tabla 2.1, de acuerdo a los valores correspondientes de l y de d , según las recomendaciones de la "JUNAC".

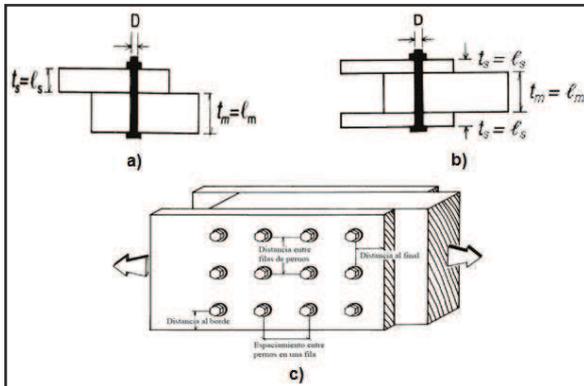
2.1.2 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA "NDS FOR WOOD CONSTRUCTION"

2.1.2.1 Capacidad de carga para pernos con carga lateral

La capacidad de carga de las uniones para pernos con carga lateral debe determinarse de acuerdo a las ecuaciones límite de falla, la cual considera las siguientes características:

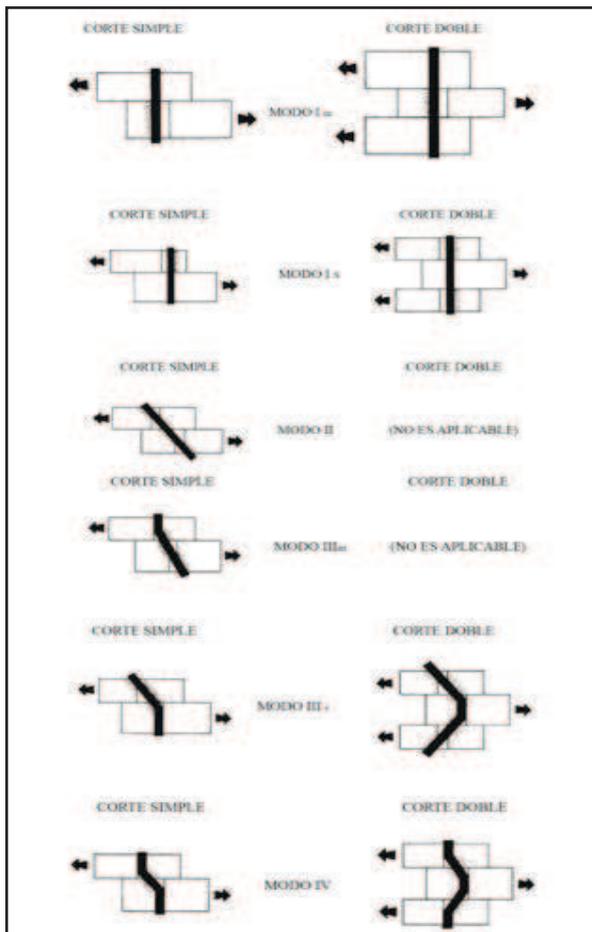
Para conexiones con corte simple (figura 2.2-a) y corte doble simétrico (figura 2.2-b), considerando los siguientes tipos de falla (figura 2.3):

FIGURA 2.2: (A) UNIONES EMPERNADAS CON CORTE SIMPLE. (B) UNIONES EMPERNADAS CON CORTE DOBLE. (C) DISTANCIAS Y ESPACIAMIENTOS EN LAS UNIONES



Fuente: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction, (2001), pág. 72

FIGURA 2.3: MODOS DE FALLA PARA UNIONES EMPERNADAS CORTE SIMPLE Y CORTE DOBLE



Fuente: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction, (2001), pág. 72

En la Figura 2.2:

- D: es el diámetro del perno
- t_m : es el espesor del miembro principal
- t_s : es el espesor del miembro secundario

Además se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Las caras de los miembros conectados están en contacto
- Las cargas actúan perpendicularmente al eje del conector
- La distancia al borde, la distancia al final y los espaciamientos son suficientes para desarrollar los valores de diseño (figura 2.2 - c)
- El valor nominal de diseño Z deberá ser el mínimo valor calculado según el modo de falla usando las ecuaciones de la tabla 2.2

TABLA 2.2: ECUACIONES LÍMITE DE FALLA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LAS UNIONES EMPERNADAS

MODO DE FALLA	CORTE SIMPLE	CORTE DOBLE
I_m	$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$	$Z = \frac{D I_m F_{em}}{R_d}$
I_s	$Z = \frac{D I_s F_{es}}{R_d}$	$Z = \frac{2 D I_s F_{es}}{R_d}$
II	$Z = \frac{k_1 D I_s F_{es}}{R_d}$	
III _m	$Z = \frac{k_2 D I_m F_{em}}{(1 + 2R_e)R_d}$	
III _s	$Z = \frac{k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$	$Z = \frac{2 k_3 D I_s F_{em}}{(2 + R_e) R_d}$
IV	$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}}$	$Z = \frac{2 D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}}$

Fuente: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction, (2001), pág. 71

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

Donde:

- D Es el diámetro del perno, en pulgadas
- F_{yb} : Es el límite elástico de flexión del perno, en psi
- R_d Es el término de reducción (Ver tabla 2.3)
- R_e Es la relación F_{em}/F_{es}
- R_t Es la relación I_m/I_s
- I_m Es el espesor del miembro principal, en pulgadas
- I_s Es el espesor del miembro secundario, en pulgadas
- F_{em} Es la capacidad portante del perno en el miembro principal, en psi (Determinada de acuerdo a la tabla 2.4)
- F_{es} Es la capacidad portante del perno en el miembro secundario, en psi (Determinada de acuerdo a la tabla 2.4)

Los términos k_1 , k_2 , k_3 son constantes determinadas como sigue:

$$k_1 = \frac{\sqrt{R_e + 2R_e^2(1 + R_t + R_t^2) + R_t^2R_e^3 - R_e(1 + R_t)}}{(1 + R_e)} \quad (2.1)$$

$$k_2 = -1 + \sqrt{2(1 + R_e) + \frac{2F_{yb}(1 + 2R_e)D^2}{3F_{em}I_m^2}} \quad (2.2)$$

$$k_3 = -1 + \sqrt{\frac{2(1 + R_e)}{R_e} + \frac{2F_{yb}(2 + R_e)D^2}{3F_{em}I_s^2}} \quad (2.3)$$

TABLA 2.3: ECUACIONES PARA LA DETERMINACIÓN DEL TÉRMINO DE REDUCCIÓN R_D

Tamaño del conector	Modo de falla	Término de reducción R_d
$0.25" \leq D \leq 1"$	I_m, I_s	$4 K_\theta$
	II	$3.6 K_\theta$
	III_m, III_s, IV	$3.2 K_\theta$
$D < 0.25"$	$I_m, I_s, II, III_m, III_s, IV$	K_D

Fuente: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction, (2001), pág. 72

Donde:

$$- K_\theta = 1 + 0.25 \left(\frac{\theta}{90} \right) \quad (2.3.a)$$

- θ Es el ángulo máximo de carga a la fibra ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$), para cualquier miembro en la conexión
- D Es el diámetro del conector en pulgadas
- $K_D = 10D + 0.5$ para $0.17" < D < 0.25"$
- $K_D = 2.2$ para $D \leq 0.17"$

Los valores nominales de diseño para conectores con pernos se pueden observar en el anexo 2. Estos valores fueron calculados para conexiones en condiciones comunes, de acuerdo con las ecuaciones de modo de falla descritas en la tabla 2.2.

2.1.2.2 Capacidad Portante del Perno

La capacidad portante F_e para cargas paralelas o perpendiculares a la fibra, para pernos con diámetros $\frac{1}{4}" \leq D \leq 1"$ está dada en la Tabla 2.4.

Cuando el diámetro del conector es $D < \frac{1}{4}"$ capacidad portante del perno, F_e es la misma para ambos tipos de cargas, paralelas y perpendiculares a la fibra.

TABLA 2.4: CAPACIDAD PORTANTE DEL PERNO

GRAVEDAD ESPECÍFICA	CAPACIDAD PORTANTE DEL PERNO EN LIBRAS POR PULGADA CUADRADA (PSI) ²										
	Fe ⊥	Fe	Fe ⊥								
	D<1/4"	D≥1/4"	D=1/4"	D=5/16"	D=3/8"	D=7/16"	D=1/2"	D=5/8"	D=3/4"	D=7/8"	D=1"
0.73	9300	8200	7750	6900	6300	5850	5450	4900	4450	4150	3850
0.72	9050	8050	7600	6800	6200	5750	5350	4800	4350	4050	3800
0.71	8850	7950	7400	6650	6050	5600	5250	4700	4300	3950	3700
0.70	8600	7850	7250	6500	5950	5500	5150	4600	4200	3900	3650
0.69	8400	7750	7100	6350	5800	5400	5050	4500	4100	3800	3550
0.68	8150	7600	6950	6250	5700	5250	4950	4400	4050	3750	3500
0.67	7950	7500	6850	6100	5550	5150	4850	4300	3950	3650	3400
0.66	7750	7400	6700	5950	5450	5050	4700	4200	3850	3550	3350
0.65	7500	7300	6550	5850	5350	4950	4600	4150	3750	3500	3250
0.64	7300	7150	6400	5700	5200	4850	4500	4050	3700	3400	3200
0.63	7100	7050	6250	5600	5100	4700	4400	3950	3600	3350	3100
0.62	6900	6950	6100	5450	5000	4600	4300	3850	3500	3250	3050
0.61	6700	6850	5950	5350	4850	4500	4200	3750	3450	3200	3000
0.60	6500	6700	5800	5200	4750	4400	4100	3700	3350	3100	2900
0.59	6300	6600	5700	5100	4650	4300	4000	3600	3300	3050	2850
0.58	6100	6500	5550	4950	4500	4200	3900	3500	3200	2950	2750
0.57	5900	6400	5400	4850	4400	4100	3800	3400	3100	2900	2700
0.56	5700	6250	5250	4700	4300	4000	3700	3350	3050	2800	2650
0.55	5550	6150	5150	4600	4200	3900	3650	3250	2950	2750	2550
0.54	5350	6050	5000	4450	4100	3750	3550	3150	2900	2650	2500
0.53	5150	5950	4850	4350	3950	3650	3450	3050	2800	2600	2450
0.52	5000	5800	4750	4250	3850	3550	3350	3000	2750	2550	2350
0.51	4800	5700	4600	4100	3750	3450	3250	2900	2650	2450	2300
0.50	4650	5600	4450	4000	3650	3400	3150	2800	2600	2400	2250
0.49	4450	5500	4350	3900	3550	3300	3050	2750	2500	2300	2150
0.48	4300	5400	4200	3750	3450	3200	3000	2650	2450	2250	2100
0.47	4150	5250	4100	3650	3350	3100	2900	2600	2350	2200	2050
0.46	4000	5150	3950	3550	3250	3000	2800	2500	2300	2100	2000
0.45	3800	5050	3850	3450	3150	2900	2700	2400	2200	2050	1900
0.44	3650	4950	3700	3300	3050	2800	2600	2350	2150	2000	1850
0.43	3500	4800	3600	3200	2950	2700	2550	2250	2050	1900	1800
0.42	3350	4700	3450	3100	2850	2600	2450	2200	2000	1850	1750
0.41	3200	4600	3350	3000	2750	2550	2350	2100	1950	1800	1650
0.40	3100	4500	3250	2900	2650	2450	2300	2050	1850	1750	1600
0.39	2950	4350	3100	2800	2550	2350	2200	1950	1800	1650	1550
0.38	2800	4250	3000	2700	2450	2250	2100	1900	1750	1600	1500

TABLA 2.4: CONTINUACIÓN

GRAVEDAD ESPECÍFICA	CAPACIDAD PORTANTE DEL PERNO EN LIBRAS POR PULGADA CUADRADA (PSI) ²										
	Fe ⊥	Fe	Fe ⊥								
	D<1/4"	D≥1/4"	D=1/4"	D=5/16"	D=3/8"	D=7/16"	D=1/2"	D=5/8"	D=3/4"	D=7/8"	D=1"
0.37	2650	4150	2900	2600	2350	2200	2050	1850	1650	1550	1450
0.36	2550	4050	2750	2500	2250	2100	1950	1750	1600	1500	1400
0.35	2400	3900	2650	2400	2150	2000	1900	1700	1550	1400	1350
0.34	2300	3800	2550	2300	2100	1950	1800	1600	1450	1350	1300
0.33	2150	3700	2450	2200	2000	1850	1750	1550	1400	1300	1200
0.32	2050	3600	2350	2100	1900	1750	1650	1500	1350	1250	1150
0.31	1900	3450	2250	2000	1800	1700	1600	1400	1300	1200	1100

Fuente: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction, (2001), pág. 73

2.1.3 RESUMEN DE NORMAS SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”

2.1.3.1 Capacidad de Carga para pernos con carga lateral

El valor característico de la capacidad de carga para pernos por plano de corte y por medio de fijación, debe tomarse como el mínimo de los obtenidos en las siguientes expresiones.

Para corte simple:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \quad (a) \quad (2.4.1) \\ f_{h,2,k} t_2 d \quad (b) \quad (2.4.2) \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (c) \quad (2.4.3) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (d) \quad (2.4.4) \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (e) \quad (2.4.5) \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (f) \quad (2.4.6) \end{array} \right.$$

Para corte doble:

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & \text{(g) (2.5.1)} \\ 0.5 f_{h,2,k} t_2 d & \text{(h) (2.5.2)} \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta (1 + \beta) + \frac{4\beta (2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(j) (2.5.3)} \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & \text{(k) (2.5.4)} \end{cases}$$

Donde:

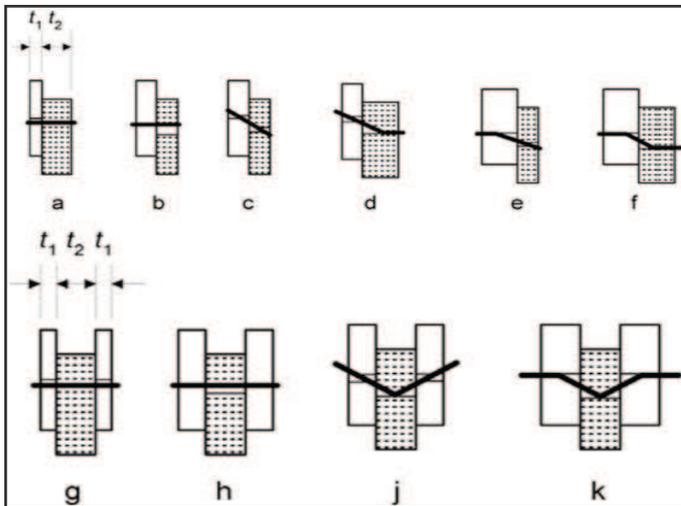
$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad \text{(2.4.a)}$$

- $F_{v,Rk}$ Es el valor característico de la capacidad de carga por plano de corte y medio de fijación;
- t_i Es el espesor de la madera con i igual a 1 o 2, de acuerdo a la figura 2.4;
- $f_{h,1,k}$ Es el valor característico de la resistencia al aplastamiento de la pieza de madera i ;
- d Diámetro del medio de fijación;
- $M_{y,Rk}$ Es el valor característico del momento plástico del medio de fijación;
- β Es relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas;
- $F_{ax,Rk}$ Es el valor característico de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación (pernos 25%);

En las ecuaciones (2.4) y (2.5) el primer término del lado derecho representa la capacidad de carga de acuerdo a la teoría de plastificación de Johansen en tanto que el segundo término $F_{ax,Rk}/4$ representa la contribución del efecto sogá. Dicho efecto deberá considerarse como un porcentaje de la parte de Johansen. Para el

caso de pernos el efecto sogá se tomará como el 25 % de la parte de Johansen².

FIGURA 2.4: MODOS DE FALLA PARA UNIONES CON MADERA



Fuente: NORMA ESPAÑOLA. Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1, (2006), pág. 70

2.1.3.2 Resistencia al aplastamiento

El valor característico de momento plástico que debería utilizarse para pernos es:

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} d^{2.6} \quad (2.6)$$

Donde:

- $M_{y,Rk}$ Es el valor característico del momento plástico, en Nmm
- $f_{u,k}$ Es el valor característico de la resistencia a tracción, en N/mm^2
- d Es el diámetro del perno en mm

Para pernos con diámetros de hasta 30 mm, el valor característico de la resistencia al aplastamiento para madera y madera microlaminada, con un ángulo α respecto a la dirección de la fibra debería ser:

²AENOR, Eurocódigo 5 - Proyecto de estructuras de madera – Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación, 2006, pág. 34, 37

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (2.7)$$

$$f_{h,0,k} = 0.082 (1 - 0.01 d) \rho_k \quad (2.8)$$

Donde:

$$k_{90} = \begin{cases} 1.35 + 0.015 d & \text{Coníferas} \\ 1.30 + 0.015 d & \text{Microlaminadas (2.9)} \\ 0.90 + 0.015 d & \text{Fronzosas} \end{cases}$$

- $f_{h,0,k}$ Es el valor característico de la resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra, en N/mm².
- ρ_k Es el valor característico de la densidad de la madera, en kg/m³
- α Es el ángulo formado entre la dirección de la carga y la fibra
- d Es el diámetro del perno, en mm

2.1.3.3 Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas

Los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas deben tomarse de la siguiente tabla:

TABLA 2.5: VALORES MÍNIMOS DE LAS SEPARACIONES Y DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES Y A LAS TESTAS PARA LOS PERNOS

SEPARACIONES Y DISTANCIAS AL BORDE/TESTA	ÁNGULO	SEPARACIÓN O DISTANCIA MÍNIMA
a_1 (Paralela a la fibra)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(4 + \cos \alpha) d$
a_2 (Perpendicular a la fibra)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$4 d$
$a_{3,t}$ (Testa cargada)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	Máx (7 d; 80 mm)
$a_{3,c}$ (Testa no cargada)	$90 \leq \alpha < 150$	Máx [(1 + 6 sen α) d; 4 d]
	$150 \leq \alpha < 210$	4 d
	$210 \leq \alpha \leq 270$	Máx [(1 + 6 sen α)] d; 4 d

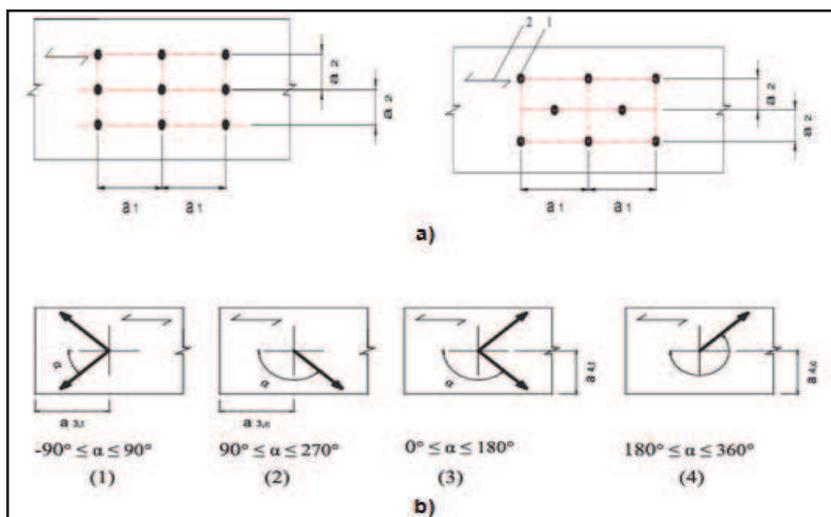
TABLA 2.5: CONTINUACIÓN

SEPARACIONES Y DISTANCIAS AL BORDE/TESTA	ÁNGULO	SEPARACIÓN O DISTANCIA MÍNIMA
$a_{4,t}$ (Borde cargado)	$0 \leq \alpha \leq 180$	Máx $[(2 + 2 \text{ sen } \alpha)] d$; 3 d
$a_{4,c}$ (Borde no cargado)	$180 \leq \alpha \leq 360$	3 d

Fuente: Norma Eurocódigo 5 Proyecto de estructuras de madera, pág. 84

A continuación se presentan los esquemas con la nomenclatura correspondiente a la utilizada en la tabla anterior:

FIGURA 2.4: (A) SEPARACIÓN PARALELA A LA FIBRA EN UNA FILA Y PERPENDICULAR A LA FIBRA ENTRE FILAS. (B) DISTANCIAS AL BORDE Y A LA TESTA



Fuente: NORMA ESPAÑOLA. Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1, (2006), pág. 78

Donde:

- (1) Testa cargada
- (2) Testa no cargada
- (3) Borde cargado
- (4) Borde no cargado
- 1 Medio de fijación
- 2 Dirección de la fibra

2.1.4 CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

2.1.4.1 Cálculo de cargas admisibles de las probetas según la “JUNAC”

Según el procedimiento descrito en el numeral 2.0.1.1, la carga admisible para uniones empernadas a doble cizallamiento deberá tomarse de la tabla 1, de acuerdo al valor de ℓ y el valor correspondiente de d , así como a la clasificación de la madera según la “JUNAC”.

Para corte doble se obtuvieron los siguientes valores:

TABLA 2.6: CARGA ADMISIBLE PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN LA “JUNAC”

PROBETA	DENSIDAD BÁSICA	TIPO	ℓ	D	ℓ/d	CARGA (kg)	CARGA (T)
PD1	0.71	B	6.00	1.27	4.72	739.00	0.739
PD2	0.71	B	6.00	1.27	4.72	739.00	0.739
PD3	0.43	C	6.00	1.27	4.72	471.00	0.471
PD4	0.43	C	6.00	1.27	4.72	471.00	0.471
PD5	0.93	A	6.00	1.27	4.72	943.00	0.943
PD6	0.93	A	6.00	1.27	4.72	943.00	0.943

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

Para corte simple se obtuvieron los siguientes valores:

TABLA 2.7: CARGA ADMISIBLE PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN LA “JUNAC”

PROBETA	DENSIDAD BÁSICA	TIPO	ℓ	D	ℓ/d	CARGA (kg)	CARGA (T)
PS1	0.71	B	6.00	1.27	4.72	369.50	0.370
PS2	0.71	B	6.00	1.27	4.72	369.50	0.370
PS3	0.43	C	6.00	1.27	4.72	235.50	0.236
PS4	0.43	C	6.00	1.27	4.72	235.50	0.236
PS5	0.93	A	6.00	1.27	4.72	471.50	0.472
PS6	0.93	A	6.00	1.27	4.72	471.50	0.472

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

Los valores de densidad básica de la madera se obtuvieron como se muestra en

el procedimiento descrito en el numeral 2.1.4.2

Los valores de carga admisible para las uniones empernadas a simple cizallamiento se tomarán como la mitad de las cantidades correspondientes a los valores de ℓ , d y a la clasificación de la madera.

El valor de ℓ , correspondiente a las probetas ensayadas no se encuentra en la tabla 1, por lo que se tomará el valor más cercano a este y su respectiva carga admisible (se tomará el valor de ℓ igual a 6.5).

La clasificación de la madera de acuerdo a los grupos estructurales (A, B o C), depende de la densidad básica de la madera. Este valor se muestra en el anexo 3.

2.1.4.2 Cálculo de cargas admisibles según la “NDS for Wood Construction”

Datos iniciales:

Corte doble:

Probeta: PD1. (Chanul)

Modo de falla: IV (De acuerdo a la figura 2.3)

$D = 1/2$ pulg = 0.0127 m

$\theta = 0^\circ$

$F_{yb} = 57000$ psi

Gravedad específica = 0.71

a) Cálculo del factor K_θ de acuerdo a la ecuación (2.3.a)

$$K_\theta = 1 + 0.25 \times \left(\frac{\theta}{90} \right) = 1 + 0.25 \times \left(\frac{0}{90} \right)$$

$K_\theta = 1$

- b) Cálculo del término de reducción R_d considerando el modo de falla y el diámetro del conector, de acuerdo a la tabla 2.3

$$R_d = 3.2 \times K_\theta = 3.2 \times 1$$

$$\mathbf{R_d=3.2}$$

- c) Cálculo de la capacidad portante del perno en el miembro principal F_{em} de acuerdo a la tabla 2.4

De acuerdo al valor de la gravedad específica y el diámetro del conector se obtiene el siguiente valor de F_{em}

$$\mathbf{F_{em}=7950 \text{ psi}}$$

- d) Cálculo de la capacidad portante del perno en el miembro secundario F_{es} siguiendo el mismo proceso descrito en el literal c

$$\mathbf{F_{es}=7950 \text{ psi}}$$

- e) Cálculo del coeficiente R_e

$$R_e = \frac{F_{em}}{F_{es}} = \frac{7950}{7950}$$

$$\mathbf{R_e=1}$$

- f) Cálculo del valor de diseño (Z) en libras, para la unión empernada, de acuerdo a las ecuaciones presentadas en la tabla 2.2

$$Z = \frac{2 D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}} = \frac{2 \times \left(\frac{1}{2}\right)^2}{3.2} \times \sqrt{\frac{2 \times 7950 \times 57000}{3 \times (1 + 1)}}$$

$$Z=1920.35 \text{ l}$$

$$\mathbf{Z = 0.871 \text{ T}}$$

A continuación se presenta un cuadro con los resultados obtenidos para todas las conexiones consideradas a corte doble:

TABLA 2.8: CARGA DE DISEÑO PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”

PROBETA	FALLA	GRAVEDAD ESP.	F _{em} (psi)	F _{es} (psi)	F _{yb} (psi)	R _d	R _e	Z (l)	Z (T)
PD1	IV	0.71	7950	7950	57000	3.2	1	1920.35	0.871
PD2	IV	0.71	7950	7950	57000	3.2	1	1920.35	0.871
PD3	IV	0.43	4800	4800	57000	3.2	1	1492.17	0.677
PD4	IV	0.43	4800	4800	57000	3.2	1	1492.17	0.677
PD5	IV	0.93	10420	10420	57000	3.2	1	2198.52	0.997
PD6	IV	0.93	10420	10420	57000	3.2	1	2198.52	0.997

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

Corte simple:

Probeta: PS1. (Chanul)

Modo de falla: IV (De acuerdo a la figura 3)

D = 1/2 pulg = 0.0127 m

$\theta=0^\circ$

F_{yb}=57000 psi

Gravedad específica = 0.71

- Los valores de K_θ, R_d, F_{em}, F_{es}, R_e son los mismos que se obtuvieron para corte doble
- Cálculo del valor de diseño (Z) en libras, para la unión empernada de acuerdo a las ecuaciones presentadas en la tabla 2.2

$$Z = \frac{D^2}{R_d} \sqrt{\frac{2 F_{em} F_{yb}}{3 (1 + R_e)}} = \frac{(1/2)^2}{3.2} \times \sqrt{\frac{2 \times 7950 \times 57000}{3 (1 + 1)}}$$

$$Z = 960.18 \text{ l}$$

$$Z = 0.436 \text{ T}$$

A continuación se presenta un cuadro con los resultados obtenidos para todas las

conexiones consideradas a corte simple:

TABLA 2.9: CARGADE DISEÑO PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”

PROBETA	FALLA	GRAVEDAD ESP.	F _{em} (psi)	F _{es} (psi)	F _{yb} (psi)	R _d	R _e	Z (I)	Z (T)
PS1	IV	0.71	7950	7950	57000	3.2	1	960.18	0.436
PS2	IV	0.71	7950	7950	57000	3.2	1	960.18	0.436
PS3	IV	0.43	4800	4800	57000	3.2	1	746.08	0.338
PS4	IV	0.43	4800	4800	57000	3.2	1	746.08	0.338
PS5	IV	0.93	10420	10420	57000	3.2	1	1099.26	0.499
PS6	IV	0.93	10420	10420	57000	3.2	1	1099.26	0.499

Fuente: NORMA ESPAÑOLA. Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1, (2006), pág. 84

Los modos de falla que se presentaron en las probetas ensayadas a corte doble y simple se pueden observar en las figuras: 3.3, 3.6, 3.7 y 3.9.

Los valores de F_{em} y F_{es} para las probetas 5 y 6 ensayadas a corte doble y simple se obtuvieron mediante una regresión de una variable, debido a que la tabla 4 únicamente presenta valores de gravedades específicas hasta 0.71. El procedimiento utilizado se muestra en el anexo 5.

2.1.4.3 Cálculo de la capacidad de carga según el “Eurocódigo 5”

Datos iniciales:

Corte doble:

Probeta: PD1 (Chanul)

Modo de falla: k (De acuerdo a la figura 2.4)

t₁ = 60 mm

t₂ = 60 mm

d = 1/2 pulg = 12.70 mm

α = 0°

f_{u,k} = 57000 psi = 393.56 N/mm²

Tipo de madera: Frondosa³

$$\rho_k = 705.86 \text{ kg/m}^3$$

a) Cálculo del factor k_{90} de acuerdo a la ecuación (2.9):

$$k_{90} = 0.90 + 0.015 d = 0.90 + 0.015 \times 12.70$$

$$\mathbf{k_{90} = 1.091}$$

b) Cálculo de la resistencia al aplastamiento de la madera con carga paralela a la fibra, de acuerdo a la ecuación (2.8):

$$f_{h,0,k} = 0.082 (1 - 0.01 d) \rho_k = 0.082 \times (1 - 0.01 \times 12.70) \times 705.86$$

$$\mathbf{f_{h,0,k} = 50.53 \text{ N/mm}^2}$$

c) Cálculo de la resistencia al aplastamiento de la madera para el miembro principal y secundario de la probeta:

Debido a que la carga no forma ningún ángulo ni con el miembro principal ni con el miembro secundario los valores correspondientes de $f_{h,1,k}$ y $f_{h,2,k}$ serán los mismos que el determinado para $f_{h,0,k}$.

$$\mathbf{f_{h,1,k} = 50.53 \text{ N/mm}^2}$$

$$\mathbf{f_{h,2,k} = 50.53 \text{ N/mm}^2}$$

d) Cálculo del momento plástico para el perno de acuerdo a la ecuación (2.6).

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} d^{2.6} = 0.3 \times 393.56 \times 12.70^{2.6}$$

$$\mathbf{M_{y,Rk} = 87502.76 \text{ Nmm}}$$

³AENOR, Eurocódigo 5 - Proyecto de estructuras de madera – Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación, 2006, pág. 83.

e) Cálculo del coeficiente β de acuerdo a la ecuación (2.4.a):

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{50.53}{50.53}$$

$$\beta = 1$$

f) Cálculo de la capacidad de carga de la unión de acuerdo a la teoría de plastificación de Johansen y al efecto sogá, mediante la ecuación (5k), debido al modo de falla presentado (k) de acuerdo a la figura 2.4.

- Teoría de plastificación de Johansen:

$$F_{V,Rk} \text{ Johansen} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d}$$

$$F_{V,Rk} \text{ Johansen} = 1.15 \times \sqrt{\frac{2 \times 1}{1+1}} \times \sqrt{2 \times 87502.76 \times 50.53 \times 12.70}$$

$$\mathbf{F_{V,Rk} \text{ Johansen} = 12187.02 \text{ N}}$$

- Efecto sogá:

La contribución del efecto sogá a la capacidad de carga se deberá tomar como el 25% de la parte de Johansen, de acuerdo a lo expuesto en el numeral 2.0.3.1.

$$F_{ax,Rk}/4 = 0.25 \times 12187.02$$

$$\mathbf{F_{ax,Rk}/4 = 3046.75 \text{ N}}$$

- Capacidad de carga de la unión por plano de corte:

La capacidad de carga por plano de corte será la suma de la parte de Johansen y del efecto sogá.

$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk} = 12187.02 + 3046.75$$

$$\mathbf{F_{v,Rk} = 15233.77 \text{ N}}$$

- Capacidad de carga total:

Al existir dos planos de corte, la capacidad de carga obtenida en el paso anterior se deberá multiplicar por 2, para obtener la capacidad de carga total.

$$F_{v,Rk} = 2 \times 15233.77$$

$$F_{v,Rk} = 30467.55 \text{ N}$$

$$\mathbf{F_{v,Rk} = 3.109 \text{ T}}$$

Corte simple:

Probeta: PS1 (Chanul)

Modo de falla: f (De acuerdo a la figura 4)

$t_1 = 60 \text{ mm}$

$t_2 = 60 \text{ mm}$

$d = 1/2 \text{ pulg} = 12.70 \text{ mm}$

$\alpha = 0^\circ$

$f_{u,k} = 57000 \text{ psi} = 393.56 \text{ N/mm}^2$

Tipo de madera: Frondosa⁴

$\rho_k = 705.86 \text{ kg/m}^3$

- a) Los valores de k_{90} , $f_{h,0,k}$, $f_{h,1,k}$, $f_{h,2,k}$, $M_{y,Rk}$, β , son los mismos que los obtenidos para el caso de corte doble

⁴AENOR, Eurocódigo 5 - Proyecto de estructuras de madera – Parte 1-1: Reglas generales y reglas para edificación, 2006, pág. 83

b) Cálculo de la capacidad de carga de la unión de acuerdo a la teoría de plastificación de Johansen y al efecto sogá, mediante la ecuación (4f), debido al modo de falla presentado (f) de acuerdo a la figura 4

- Teoría de plastificación de Johansen:

$$F_{v,Rk} \text{ Johansen} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d}$$

$$F_{v,Rk} \text{ Johansen} = 1.15 \times \sqrt{\frac{2 \times 1}{1+1}} \times \sqrt{2 \times 87502.76 \times 50.53 \times 12.70}$$

$$\mathbf{F_{v,Rk} \text{ Johansen} = 12187.02 \text{ N}}$$

- Efecto sogá:

La contribución del efecto sogá a la capacidad de carga se deberá tomar como el 25% de la parte de Johansen, de acuerdo a lo expuesto en el numeral 2.0.3.1

$$F_{ax,Rk}/4 = 0.25 \times 12187.02$$

$$\mathbf{F_{ax,Rk}/4 = 3046.75 \text{ N}}$$

- Capacidad de carga de la unión:

La capacidad de carga por plano de corte será la suma de la parte de Johansen y del efecto sogá.

$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk} = 12187.02 + 3046.75$$

$$F_{v,Rk} = 15233.77 \text{ N}$$

$$\mathbf{F_{v,Rk} = 1.554 \text{ T}}$$

En las tablas 2.10 y 2.11 se presentan los resultados obtenidos para todas las conexiones consideradas tanto para corte doble como para corte simple.

Los valores de capacidad de carga obtenidos de acuerdo a las especificaciones del “Eurocódigo 5” son valores nominales, es decir son aquellos que se encuentran en el límite elástico de la curva carga vs deformación. Por lo tanto estos valores no se encuentran afectados por ningún factor de seguridad. Esta observación deberá tomarse en cuenta para todos los cálculos realizados con las recomendaciones de este código incluyendo a los conectores tipo “bulldog” y “appel”.

Los modos de falla que se presentaron en las probetas ensayadas a corte doble y corte simple se muestran en las figuras: 3.3, 3.6, 3.7 y 3.9.

TABLA 2.10: CAPACIDAD DE CARGA DE CONEXIONES EMPERNADAS CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN EL "EUROCÓDIGO 5"

PROBETA	FALLA	MADERA	t_1 (mm)	t_2 (mm)	$f_{h,1,k}$ (N/mm ²)	$f_{h,2,k}$ (N/mm ²)	B	$M_{y,R,k}$ (Nmm)	POR PLANO DE CORTE				TOTAL		
									JOHANSEN $F_{v,R,k}$ (N)	EFFECTO SOGA $F_{ax,Rk/4}$ (N)	CAPACIDAD DE CARGA $F_{v,R,k}$ (N)	CAPACIDAD DE CARGA $F_{v,R,k}$ (N)	CAPACIDAD DE CARGA $F_{v,R,k}$ (kg)	CAPACIDAD DE CARGA $F_{v,R,k}$ (T)	
PD1	k	Chanul	60	60	50.53	50.53	1.00	87502.76	12187.02	3046.75	15233.77	30467.55	3108.93	3.109	
PD2	k	Chanul	60	60	50.53	50.53	1.00	87502.76	12187.02	3046.75	15233.77	30467.55	3108.93	3.109	
PD3	k	Mascarey	60	60	30.81	30.81	1.00	87502.76	9516.34	2379.08	11895.42	23790.84	2427.64	2.428	
PD4	k	Mascarey	60	60	30.81	30.81	1.00	87502.76	9516.34	2379.08	11895.42	23790.84	2427.64	2.428	
PD5	k	Guayacán	40	60	66.89	66.89	1.00	87502.76	14021.89	3505.47	17527.37	35054.74	3577.01	3.577	
PD6	k	Guayacán	40	60	66.89	66.89	1.00	87502.76	14021.89	3505.47	17527.37	35054.74	3577.01	3.577	

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

TABLA 2.11: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN EL "EUROCÓDIGO 5"

PROBETA	FALLA	MADERA	t_1 (mm)	t_2 (mm)	$f_{h,1,k}$ (N/mm ²)	$f_{h,2,k}$ (N/mm ²)	B	$M_{y,R,k}$ (Nmm)	$F_{v,R,k}$ Johansen (N)	EFFECTO SOGA $F_{ax,Rk/4}$ (N)	CAPACIDAD DE CARGA $F_{v,R,k}$ (N)	CAPACIDAD DE CARGA $F_{v,R,k}$ (kg)	CAPACIDAD DE CARGA $F_{v,R,k}$ (T)
PS1	f	Chanul	60	60	50.53	50.53	1.00	87502.76	12187.02	3046.75	15233.77	1554.47	1.554
PS2	f	Chanul	60	60	50.53	50.53	1.00	87502.76	12187.02	3046.75	15233.77	1554.47	1.554
PS3	f	Mascarey	60	60	30.81	30.81	1.00	87502.76	9516.34	2379.08	11895.42	1213.82	1.214
PS4	f	Mascarey	60	60	30.81	30.81	1.00	87502.76	9516.34	2379.08	11895.42	1213.82	1.214
PS5	f	Guayacán	40	40	66.89	66.89	1.00	87502.76	14021.89	3505.47	17527.37	1788.51	1.789
PS6	f	Guayacán	40	40	66.89	66.89	1.00	87502.76	14021.89	3505.47	17527.37	1788.51	1.789

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

2.1.4.4 Resumen de resultados obtenidos de acuerdo a los diferentes códigos de diseño

- Corte doble:

TABLA 2.12: RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS – CORTE DOBLE

PROBETA	CARGA TEÓRICA (T)		
	JUNAC	NDS	EUROCÓDIGO
PD1	0.739	0.871	3.109
PD2	0.739	0.871	3.109
PD3	0.471	0.677	2.428
PD4	0.471	0.677	2.428
PD5	0.943	0.996	3.577
PD6	0.943	0.996	3.577

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

- Corte simple:

TABLA 2.13: RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS – CORTE SIMPLE

PROBETA	CARGA TEÓRICA (T)		
	JUNAC	NDS	EUROCÓDIGO
PS1	0.370	0.436	1.554
PS2	0.370	0.436	1.554
PS3	0.236	0.338	1.214
PS4	0.236	0.338	1.214
PS5	0.472	0.498	1.789
PS6	0.472	0.498	1.789

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

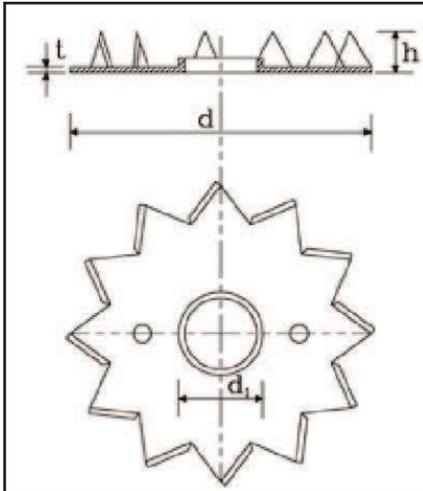
2.2 CONEXIONES TIPO “BULLDOG”

El presente estudio se realizará para el **conector de placa dentada simple**

Las conexiones tipo “Bulldog” consisten en dos discos dentados en una sola cara

y unidos espalda con espalda, los cuales se incrustan en las maderas a ser unidas y se ajustan mediante pernos pasadores.

FIGURA 2.5 CONECTOR DE PLACA DENTADA SIMPLE



Fuente: SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág.78

2.2.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”

La “JUNAC” no considera este tipo de uniones en su estudio

2.2.2 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”

La norma de la “NDS for Wood Construction” no considera este tipo de uniones en su estudio.

2.2.3 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”.

El conector utilizado para el presente estudio es el **tipo C2** de acuerdo a las normas europeas UNE EN 912 y UNE EN 14545.

2.2.3.1 Capacidad de carga

El valor característico de la capacidad de carga de las uniones realizadas mediante conectores de placa dentada, se debe tomar como la suma de la capacidad de carga de los conectores en sí y de los pernos de conexión (de acuerdo al proceso descrito en el numeral 2.0.3 de este estudio).

El valor característico de la capacidad de carga $F_{V,Rk}$ por cada conector tipo C (de placa dentada), de acuerdo con las Normas Europeas EN 912 y EN 14545 debería tomarse igual a:

Para los tipos de simple cara (2.10.1)

Para los tipos de doble cara (2.10.2)

Donde:

$F_{V,Rk}$ Es el valor característico de la capacidad de carga por cada conector de placa dentada, en N

k_i Son los factores de modificación, definidos más adelante

d_c Es el diámetro del conector de placa dentada, en mm

Factores de modificación

El factor k_1 deberá tomarse igual a:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Donde:

t_1 Es el espesor de la pieza lateral, en mm

- t_2 Es el espesor de la pieza central, en mm
 h_e Es la penetración de los dientes, en mm

El factor k_2 deberá tomarse igual a:

Para los conectores tipo C1 a C9:

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{1.5 d_c} \right. \quad (2.12)$$

Con:

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.1 d_c \\ 7 d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right. \quad (2.13)$$

Donde:

- d Es el diámetro del perno, en mm
 d_c Es el diámetro del conector de placa dentada, en mm

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1.5}{\rho_k} \right. \quad (2.14)$$

Donde:

- ρ_k Es el valor característico de la densidad de la madera, en kg/m^3

2.2.3.2 Espesor de las piezas de madera

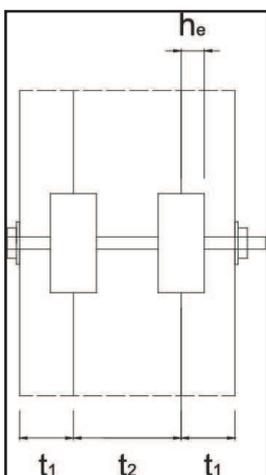
Para las piezas de madera componentes de la unión deberían considerarse los siguientes espesores mínimos:

Piezas exteriores: $t_1 = 2.25 h_e$

Pieza interior: $t_2 = 3.75 h_e$

Donde h_e es la profundidad de inserción del conector (penetración de los dientes), como se detalla en la siguiente figura:

FIGURA 2.6: ESPESORES MÍNIMOS PARA PIEZAS DE MADERA COMPONENTES DE LA UNIÓN



Fuente: NORMA ESPAÑOLA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 78, (2006). 78

2.2.3.3 Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas

Los valores mínimos de las separaciones y de las distancias a los bordes y a las testas para los conectores de placa dentada tipos C1 a C9, deberán tomarse de la siguiente tabla:

TABLA 2.14: VALORES MÍNIMOS DE LAS SEPARACIONES Y DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES Y A LAS TESTAS PARA CONECTORES DE PLACA DENTADA DE TIPOS C1 A C9

SEPARACIONES Y DISTANCIAS AL BORDE/TESTA	ÁNGULO	SEPARACIÓN O DISTANCIA MÍNIMA
a_1 (Paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.3 \cos \alpha) d_c$
a_2 (Perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2 d_c$

TABLA 2.14: CONTINUACIÓN

SEPARACIONES Y DISTANCIAS AL BORDE/TESTA	ÁNGULO	SEPARACIÓN O DISTANCIA MÍNIMA
$a_{3,t}$ (Testa cargada)	$-90^{\circ} \leq \alpha \leq 90^{\circ}$	$2.0 d_c$
$a_{3,c}$ (Testa no cargada)	$90^{\circ} \leq \alpha < 150^{\circ}$	$(0.9 + 0.6 \text{sen } \alpha)d_c$
	$150^{\circ} \leq \alpha < 210^{\circ}$	$1.2 d_c$
	$210^{\circ} \leq \alpha \leq 270^{\circ}$	$(0.9 + 0.6 \text{sen } \alpha)d_c$
$a_{4,t}$ (Borde cargado)	$0^{\circ} \leq \alpha \leq 180^{\circ}$	$(0.6 + 0.2 \text{sen } \alpha)d_c$
$a_{4,c}$ (Borde no cargado)	$180^{\circ} \leq \alpha \leq 360^{\circ}$	$0.6 d_c$

Fuente: NORMA ESPAÑOLA. Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1, (2006), pág. 84

La nomenclatura utilizada en la Tabla 6 es la misma que se encuentra descrita en la Figura 5.

2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

Para la obtención de las características de las probetas se realizaron ensayos con 5 muestras de cada uno de los tres tipos de madera utilizados para el presente estudio. Cada muestra tiene dimensiones aproximadas de 5 x 5 x 5cm, de acuerdo a las recomendaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 160 (Contenido de Humedad) e INEN 1 162 (Densidad), las cuales indican que las probetas deben tener dimensiones mínimas de 25mm a lo largo de la fibra y un volumen mínimo de 33cm³.

2.2.4.1 Contenido de humedad

Se define como la relación entre la masa de agua presente en la muestra y la masa seca, obtenida luego de colocar la probeta en el horno a una temperatura aproximada de 103° C en un período de tiempo no menor a 20 horas.

La relación que permite determinar el contenido de humedad presente en una muestra de madera de acuerdo a la norma INEN 1 160 es:

$$CH = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100 \quad (2.15)$$

Donde:

CH Es el contenido de humedad de la madera, en porcentaje

P Es la masa original de la muestra, en gramos

P_{sh} Es la masa de la muestra seca al horno, en gramos

2.2.4.2 Densidad básica de la madera

Se define como la relación entre el peso seco y el volumen verde de la madera. El peso seco se obtiene luego de colocar la muestra en el horno a una temperatura aproximada de 103° C durante un período de tiempo no menor a 20 horas. El volumen verde se puede definir como aquel volumen de la muestra de madera en estado natural.

Debido a que la medición de las dimensiones de las muestras se realizó después de secarlas al horno (volumen seco), es necesario introducir un coeficiente de contracción de la madera, de tal manera que se obtenga el volumen verde de la misma. Los coeficientes de contracción fueron obtenidos de acuerdo a las recomendaciones de la JUNAC. De este modo el volumen verde se obtiene de la siguiente expresión:

$$V_v = V_s (1 + C_c/100) \quad (2.16)$$

Donde:

V_v Es el volumen verde de la muestra, en cm³

V_s Es el volumen seco de la muestra, en cm³

C_c Es el coeficiente de contracción volumétrica cuyos valores se muestran en el anexo 4

La densidad básica en una muestra de madera se obtiene de acuerdo a la norma INEN 1 162, con la expresión:

$$D = \frac{P_{sh}}{V_v} \quad (2.17)$$

Donde:

D Es la densidad básica de la madera, en g/cm^3

P_{sh} Es la masa de la muestra seca al horno, en gramos

V_v Es el volumen verde de la muestra, en cm^3

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, los valores obtenidos tanto para la densidad básica como para el contenido de humedad se obtienen como se indica a continuación:

Datos iniciales:

Probeta: M1 (Mascarey)

$P = 72.76 \text{ g}$

$P_{sh} = 68.03 \text{ g}$

$L_{prom} = 5.21 \text{ cm}$

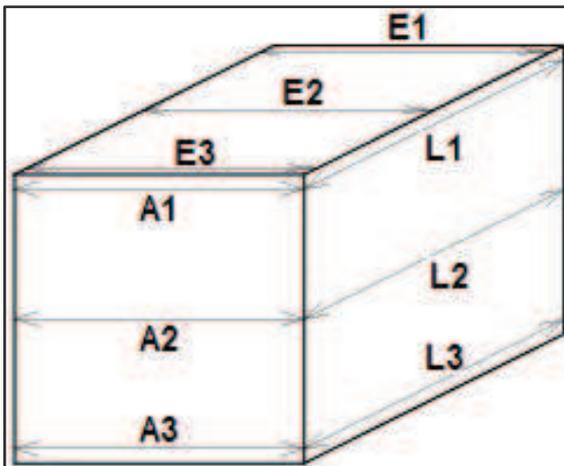
$A_{prom} = 5.04 \text{ cm}$

$E_{prom} = 5.02 \text{ cm}$

$C_c = 19.10 \%$

Los valores de largo (L), ancho (A) y espesor (E) se obtuvieron promediando las medidas tomadas en las probetas como se muestra en la siguiente figura:

FIGURA 2.7: MEDIDAS TOMADAS EN LAS PROBETAS MEDIANTE EL CALIBRADOR



Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

Cálculo del contenido de humedad de la madera:

- a) De la ecuación (2.15) se obtiene el valor de contenido de humedad:

$$CH = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100 = \frac{72.76 - 68.03}{68.03} \times 100$$

CH = 6.95 %

Debido a que se ensayaron 5 probetas por cada tipo de madera el contenido de humedad será el promedio de los 5 valores obtenidos.

Cálculo de la densidad básica de la madera:

- a) Cálculo del volumen seco de la muestra de madera:

$$V_s = L_{prom} \times A_{prom} \times E_{prom} = 5.21 \times 5.04 \times 5.02$$

V_s = 131.56 cm³

- b) De la ecuación (2.16) se obtiene el volumen verde de la madera:

$$V_v = V_s (1 + C_c/100) = 131.56 \times \left(1 + \frac{19.10}{100}\right)$$

$$V_v = 152.28 \text{ cm}^3$$

c) De la ecuación (2.17) se obtiene la densidad básica de la madera:

$$D = \frac{P_{sh}}{V_v} = \frac{68.03}{152.28}$$

$$D = 0.43 \text{ g/cm}^3$$

Debido a que se ensayaron 5 probetas por cada tipo de madera densidad básica será el promedio de los 5 valores obtenidos.

Los resultados obtenidos para todas las muestras ensayadas se indican en la siguiente tabla, donde se presentan los valores de contenido de humedad y de densidad básica para los tres tipos de madera considerados:

TABLA 2.15: DENSIDADES BÁSICAS Y CONTENIDOS DE HUMEDAD EN LAS MADERAS

MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	L prom (cm)	A prom (cm)	E prom (cm)	Volumen (cm ³)	Coefficiente de Contracción	Volumen Verde (cm ³)	Densidad Básica (g/cm ³)	Densidad Básica promedio (g/cm ³)	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad promedio (%)
M1	72.76	68.03	5.25	5.03	5.00	5.21	5.04	5.02	131.56	19.10	156.69	0.43	0.43	6.95	7.00
			5.23	5.04	5.04										
			5.14	5.04	5.01										
M2	68.4	64.07	4.89	5.00	5.30	4.88	4.94	5.30	127.86	19.10	152.28	0.42	0.43	6.76	7.00
			4.87	4.91	5.30										
			4.89	4.91	5.30										
M3	71.38	66.94	5.00	5.14	4.98	5.01	5.20	4.95	128.87	19.10	153.49	0.44	0.43	6.63	7.00
			5.02	5.20	4.95										
			5.01	5.25	4.92										
M4	70.68	65.88	4.81	5.03	5.00	4.88	5.07	5.10	126.10	19.10	150.18	0.44	0.43	7.29	7.00
			4.90	5.07	5.10										
			4.93	5.10	5.20										
M5	68.04	63.36	5.00	4.96	5.02	4.99	4.99	5.06	126.00	19.10	150.06	0.42	0.43	7.39	7.00
			5.00	4.99	5.05										
			4.98	5.02	5.10										

TABLA 2.15: CONTINUACIÓN

MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ESPESOR (cm)	L prom (cm)	A prom (cm)	E prom (cm)	Volumen (cm ³)	Coefficiente de Contracción	Volumen Verde (cm ³)	Densidad Básica (g/cm ³)	Densidad Básica promedio (g/cm ³)	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad promedio (%)
CH1	103.88	92.82	4.70 4.74 4.74	4.94 4.94 4.94	4.93 4.90 4.88	4.73	4.94	4.90	114.49	16.50	133.38	0.70	0.71	11.92	11.92
CH2	119.59	107.11	5.07 4.95 4.86	5.12 5.15 5.15	4.96 4.95 4.94	4.96	5.14	4.95	126.20	16.50	147.02	0.73		11.65	
CH3	107.06	95.79	4.83 4.81 4.81	4.70 4.71 4.80	5.20 5.16 5.13	4.82	4.74	5.16	117.80	16.50	137.24	0.70	0.71	11.77	11.92
CH4	112.43	99.52	5.09 5.08 5.08	4.95 4.94 4.95	4.75 4.75 4.75	5.08	4.95	4.75	119.44	16.50	139.15	0.72		12.97	
CH5	114.54	102.9	5.16 5.17 5.18	5.03 4.97 4.96	4.95 4.95 4.96	5.17	4.99	4.95	127.70	16.50	148.77	0.69		11.31	
GU1	132.53	118.81	4.80 4.83 4.84	4.99 4.92 4.95	4.74 4.75 4.74	4.82	4.95	4.74	113.33	12.10	127.04	0.94	0.93	11.55	11.64
GU2	135.99	121.83	4.78 4.80 4.80	5.00 5.00 5.00	4.84 4.83 4.84	4.79	5.00	4.84	115.92	12.10	129.94	0.94		11.62	
GU3	132.01	118.32	4.70 4.72 4.73	4.70 4.72 4.72	5.04 5.06 5.08	4.72	4.71	5.06	112.49	12.10	126.10	0.94		11.57	
GU4	127.61	114.16	4.82 4.87 4.90	4.50 4.54 4.57	4.94 4.95 4.96	4.86	4.54	4.95	109.21	12.10	122.43	0.93		11.78	
GU5	133.29	119.33	4.88 4.83 4.88	4.80 4.73 4.70	4.95 4.98 4.98	4.86	4.74	4.97	114.65	12.10	128.52	0.93		11.70	

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

2.2.4.3 Resistencia a la compresión paralela a la fibra

La madera presenta gran resistencia a los esfuerzos de compresión paralela a sus fibras debido a que estas están orientadas con su eje longitudinal en esa dirección. La capacidad está limitada por el pandeo de las fibras más que por su propia resistencia al aplastamiento.

La resistencia a la compresión paralela a la fibra ha sido determinada en probetas de madera de dimensiones 5 x 5 x 20 cm según la recomendación de la norma ASTM D143, las cuales han sido ensayadas para obtener la curva esfuerzo deformación y por consiguiente la resistencia a la compresión paralela de las mismas.

2.2.4.4 Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra

Cuando se aplica este tipo de carga las fibras están sometidas a un esfuerzo perpendicular a su eje. Al incrementarse la magnitud de la carga la pieza se va comprimiendo debido al aplastamiento que ocurre en los pequeños cilindros formados por las fibras.

La resistencia a la compresión perpendicular a la fibra se ha determinado en probetas de madera de dimensiones 5 x 5 x 15 cm según la recomendación de la norma ASTM D143, obteniéndose la curva esfuerzo deformación y por consiguiente la resistencia a la compresión perpendicular de las mismas.

Los valores de la resistencia a la compresión, tanto paralela como perpendicular para los tres tipos de madera utilizados, se encuentran en el anexo 6.

2.2.5 CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

2.2.5.1 Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”

La “JUNAC” no considera este tipo de uniones en su estudio

2.2.5.2 Cálculo de cargas de diseño según la “NDS for Wood Construction”

La “NDS for Wood Construction” no considera este tipo de uniones en su estudio

2.2.5.3 Cálculo de la capacidad de carga según el “Eurocódigo 5”

Datos iniciales:

Corte doble:

Probeta: BD1 (Chanul)

Tipo de conector: Simple cara

$d = 1/2 \text{ pulg} = 12.70 \text{ mm}$

$d_c = 62 \text{ mm}$

$h_e = 9 \text{ mm}$

$t_1 = 60 \text{ mm}$

$t_2 = 60 \text{ mm}$

$\rho_k = 705.86 \text{ kg/m}^3$

- a) Cálculo del coeficiente k_1 de acuerdo a la ecuación (2.11)

El coeficiente k_1 deberá tomarse entre el mínimo de los siguientes valores:

$$k_1 = 1$$

$$k_1 = \frac{t_1}{3 h_e} = \frac{60}{3 \times 9} = 2.22$$

$$k_1 = \frac{t_2}{5 h_e} = \frac{60}{5 \times 9} = 1.33$$

Por tanto:

$$k_1 = 1$$

- b) Cálculo del factor $a_{3,t}$ de acuerdo a la ecuación (2.13)

El factor $a_{3,t}$ deberá obtenerse como el máximo de los siguientes valores:

$$a_{3,t} = 1.1 d_c = 1.1 \times 62 = 68.20 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = 7 d = 7 \times 12.70 = 88.90 \text{ mm}$$

$$a_{3,t} = 80 \text{ mm}$$

Por tanto:

$$\mathbf{a_{3,t} = 88.90 \text{ mm}}$$

- c) Cálculo del factor k_2 de acuerdo a la ecuación (2.12)

El factor k_2 deberá tomarse como el mínimo obtenido entre los siguientes valores:

$$k_2 = 1$$

$$k_2 = \frac{a_{3,t}}{1.5 d_c} = \frac{88.90}{1.5 \times 62} = 0.96$$

Por tanto:

$$\mathbf{k_2 = 0.96}$$

- d) Cálculo del factor k_3 de acuerdo a la ecuación (2.14).

El factor k_3 deberá tomarse como el mínimo entre los siguientes valores:

$$k_3 = 1.5$$

$$k_3 = \frac{\rho_k}{350} = \frac{705.86}{350} = 2.02$$

Por tanto:

$$\mathbf{k_3 = 1.5}$$

- e) Cálculo de la capacidad de carga de la unión:

Para obtener la capacidad de carga de la unión se debe considerar tanto la contribución de los conectores tipo "bulldog", así como la del perno que forma parte de la misma.

- Capacidad de carga de los conectores tipo “bulldog”, de acuerdo a la ecuación (2.10) conector de simple cara:

$$F_{v,Rk} = 18 k_1 k_2 k_3 d_c^{1.5} = 18 \times 1 \times 0.96 \times 1.50 \times 62^{1.5}$$

$$F_{v,Rk} = 12599.99 \text{ N}$$

El valor obtenido en el paso anterior es la capacidad de carga para un solo conector. Al tratarse de una conexión con doble plano de corte se utilizaron dos conectores en la unión. Por lo tanto dicho valor deberá multiplicarse por 2 para obtener la capacidad de carga total de los conectores.

$$F_{v,Rk} = 2 \times 12599.99$$

$$F_{v,Rk} = 25199.97 \text{ N}$$

$$\mathbf{F_{v,Rk} = 2.571 \text{ T}}$$

- Capacidad de carga del perno:

La capacidad de carga del perno se determinó de acuerdo a lo descrito en el numeral 2.0.4.3, corte doble.

$$\mathbf{F_{v,Rk} = 3.109 \text{ T}}$$

- Capacidad de carga total de la unión:

La capacidad de carga total de la unión será la suma de la capacidad de carga de los conectores y de la capacidad de carga del perno.

$$F_{v,Rk} = 2.571 + 3.109$$

$$\mathbf{F_{v,Rk} = 5.680 \text{ T}}$$

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos para todas las conexiones consideradas con doble plano de corte:

TABLA 2.16: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES TIPO "BULLDOG" CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN EL "EUROCÓDIGO 5"

PROBETA	MADERA	ρ_k (kg/m ³)	h_e (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	MÍNIMO		MÁXIMO		MÍNIMO		MÍNIMO	CONECTOR	CONECTOR	PERNO	CARGA TOTAL
						k_1	k_2	$a_{3,t}$ (mm)	$a_{3,t}$ (mm)	k_2	k_3					
BD1	CHANUL	705.86	9	60	60	1		68.20			k_3	25199.97	2.571	3.109	5.680	
						2.22	1	88.90	0.96	1.5						
						1.33	0.96	80	2.02							
BD2	CHANUL	705.86	9	60	60	1		68.20			k_3	25199.97	2.571	3.109	5.680	
						2.22	1	88.90	0.96	1.5						
						1.33	0.96	80	2.02							
BD3	MASCAREY	430.39	9	60	60	1		68.20			k_3	20658.61	2.108	2.428	4.536	
						2.22	1	88.90	0.96	1.5						
						1.33	0.96	80	1.23							
BD4	MASCAREY	430.39	9	60	60	1		68.20			k_3	20658.61	2.108	2.428	4.536	
						2.22	1	88.90	0.96	1.5						
						1.33	0.96	80	1.23							
BD5	GUAYACÁN	934.40	9	40	60	1		68.20			k_3	25199.97	2.571	3.577	6.148	
						1.48	1	88.90	0.96	1.5						
						1.33	0.96	80	2.67							
BD6	GUAYACÁN	934.40	9	40	60	1		68.20			k_3	25199.97	2.571	3.577	6.148	
						1.48	1	88.90	0.96	1.5						
						1.33	0.96	80	2.67							

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

Corte simple:

Probeta: BS1 (Chanul)

Tipo de conector: Simple cara

$$d = 1/2 \text{ pulg} = 12.70 \text{ mm}$$

$$d_c = 62 \text{ mm}$$

$$h_e = 9 \text{ mm}$$

$$t_1 = 60 \text{ mm}$$

$$t_2 = 60 \text{ mm}$$

$$\rho_k = 705.86 \text{ kg/m}^3$$

a) Cálculo de los factores k_1 , k_2 y k_3

Los factores k_1 , k_2 y k_3 serán determinados de la misma manera que para el caso de corte doble, y debido a que los miembros de madera tienen los mismos espesores (t_1 y t_2) y la misma profundidad de penetración (h_e) entonces tendrán los mismos valores.

$$k_1 = 1$$

$$k_2 = 0.96$$

$$k_3 = 1.5$$

b) Cálculo de la capacidad de carga de la unión

- Capacidad de carga del conector tipo "bulldog", de acuerdo a la ecuación (2.10) conector de simple cara:

$$F_{v,Rk} = 18 k_1 k_2 k_3 d_c^{1.5} = 18 \times 1 \times 0.96 \times 1.50 \times 62^{1.5}$$

$$F_{v,Rk} = 12599.99 \text{ N}$$

$$F_{v,Rk} = 1.286 \text{ T}$$

- Capacidad de carga del perno:

La capacidad de carga del perno se determinó de acuerdo a lo descrito en el numeral 2.0.4.3, corte simple.

$$F_{V,Rk} = 1.554 \text{ T}$$

- Capacidad de carga de la unión:

La capacidad de carga total de la unión será la suma de la capacidad de carga del conector y de la capacidad de carga del perno.

$$F_{V,Rk} = 1.286 + 1.554$$

$$F_{V,Rk} = 2.840 \text{ T}$$

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos para todas las conexiones tipo “bulldog” consideradas con un solo plano de corte:

TABLA 2.17: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES TIPO "BULLDOG" CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN EL "EUROCÓDIGO 5"

PROBETA	MADERA	ρ_k (kg/m ³)	h_e (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	MÍNIMO			MÁXIMO			MÍNIMO		MÍNIMO	CONECTOR	CONECTOR	PERNO	CARGA TOTAL	
						k_1	k_2	k_3	$a_{3,t}$ (mm)	$a_{3,t}$ (mm)	k_2	k_3	$F_{v,Rk}$ (N)						$F_{v,Rk}$ (T)
BS1	CHANUL	705.86	9	60	60	1	1	1.50	68.20	68.20	1	1.5	1.286	1.286	1.554	2.840			
						2.22	0.96	88.90	88.90	0.96	2.02								
						1.33		80											
BS2	CHANUL	705.86	9	60	60	1	1	1.50	68.20	68.20	1	1.5	1.286	1.286	1.554	2.840			
						2.22	0.96	88.90	88.90	0.96	2.02								
						1.33		80											
BS3	MASCAREY	430.39	9	60	60	1	1	1.23	68.20	68.20	1	1.5	1.054	1.054	1.214	2.268			
						2.22	0.96	88.90	88.90	0.96	1.23								
						1.33		80											
BS4	MASCAREY	430.39	9	60	60	1	1	1.23	68.20	68.20	1	1.5	1.054	1.054	1.214	2.268			
						2.22	0.96	88.90	88.90	0.96	1.23								
						1.33		80											
BS5	GUAYACÁN	934.40	9	40	40	1.48	1	1.50	68.20	68.20	1	1.5	1.143	1.143	1.789	2.931			
						0.89	0.96	88.90	88.90	0.96	2.67								
								80											
BS6	GUAYACÁN	934.40	9	40	40	1	1	1.50	68.20	68.20	1	1.5	1.143	1.143	1.789	2.931			
						1.48	0.96	88.90	88.90	0.96	2.67								
						0.89		80											

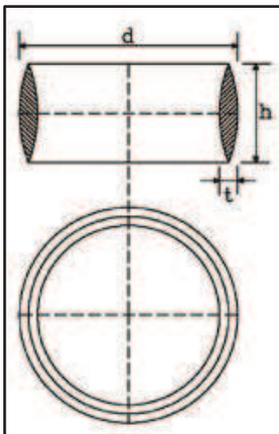
Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

2.3 CONEXIONES TIPO “APPEL”

El presente estudio se realizará para el **conector tipo “Appel”**

Los conectores tipo “Appel” consisten en un anillo con bordes perfilados, el cual debe incrustarse a presión en las piezas de madera a unirse y se ajustan mediante pernos pasadores.

FIGURA 2.8: CONECTOR TIPO “APPEL”



Fuente: Libro Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 78

2.3.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”

La “JUNAC” no considera este tipo de conectores en su estudio

2.3.2 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”

Las normas de diseño según la “NDS for Wood Construction” únicamente considera conectores de anillo abierto, por lo que no es aplicable para el presente estudio.

2.3.3 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”

2.3.3.1 Capacidad de carga

Para las uniones con conectores de anillo de tipo A (Appel), de acuerdo con las normas europeas EN 912 y EN 14545 y con un diámetro no mayor a 200 mm, el valor característico de la capacidad de carga paralela a la fibra $F_{v,0,Rk}$ por conector y por plano de cortadura se debe calcular de acuerdo a la siguiente expresión:

$$F_{v,0,Rk} = \min \begin{cases} k_1 k_2 k_3 k_4 (35 d_c^{1.5}) \\ k_1 k_3 h_e (31.5 d_c) \end{cases} \quad (2.18)$$

Donde:

$F_{v,0,Rk}$ Es el valor característico de la capacidad de carga paralela a la fibra, en N

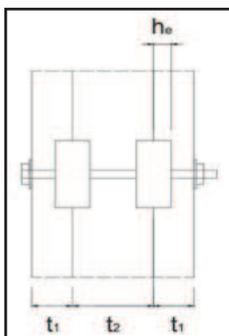
d_c Es el diámetro del conector, en mm

h_e Es la profundidad de inserción, en mm

k_i Son factores de modificación con $i = 1$ a 4, definidos más adelante

El espesor mínimo de las piezas de madera exteriores (t_1) debe tomarse como $2.25 h_e$ y el de la pieza interior (t_2) deberá ser igual a $3.75 h_e$, siendo h_e la profundidad de inserción.

FIGURA 2.9: ESPESORES MÍNIMOS DE LAS PIEZAS DE MADERA



Fuente: NORMA ESPAÑOLA. Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 78, (2006)

Los factores k_i mencionados en la ecuación 2.18 deben determinarse de acuerdo a las siguientes expresiones:

El valor k_1 se debe obtener de entre las siguientes ecuaciones:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (2.19)$$

Donde:

t_1 y t_2 Son los espesores de las piezas de madera externas, como se muestra en la figura 2.10.

h_e Es la profundidad de inserción del conector, como se muestra en la figura 2.10.

El factor k_2 se aplica al caso de testa cargada (como se indica en la figura 2.4) para $-30^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ y se debe tomar de las siguientes expresiones:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} k_a \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{array} \right. \quad (2.20)$$

Donde:

$$k_a = \begin{cases} 1.25 & \text{Para uniones con un conector por plano de cortadura} \\ 1.0 & \text{Para uniones con más de un conector por plano de cortadura} \end{cases}$$

$a_{3,t}$ Es el valor definido en la Tabla 2.18

Para valores diferentes de α el valor de k_2 se toma igual a 1

TABLA 2.18: VALORES MÍNIMOS DE LAS SEPARACIONES Y DE LAS DISTANCIAS A LOS BORDES Y A LAS TESTAS PARA CONECTORES DE ANILLO

SEPARACIONES Y DISTANCIAS AL BORDE/TESTA	ÁNGULO	SEPARACIÓN O DISTANCIA MÍNIMA
a_1 (Paralela a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$(1.2 + 0.8 \cos \alpha)d_c$
a_2 (Perpendicular a la fibra)	$0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$1.2 d_c$
$a_{3,t}$ (Testa cargada)	$-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$	$1.5 d_c$
$a_{3,c}$ (Testa no cargada)	$90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$	$(0.4 + 1.6 \sen \alpha)d_c$
	$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$	$1.2 d_c$
	$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$	$(0.4 + 1.6 \sen \alpha)d_c$
$a_{4,t}$ (Borde cargado)	$0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$	$(0.6 + 0.2 \sen \alpha) d_c$
$a_{4,c}$ (Borde no cargado)	$180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$	$0.6 d_c$

Fuente: NORMA ESPAÑOLA. Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1, (2006), pág. 84

La nomenclatura utilizada en la Tabla 2.18 es la misma que se encuentra descrita en la Figura 2.5.

El factor k_3 se debe tomar igual a:

$$k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right. \quad (2.21)$$

ρ_k Es el valor característico de la densidad de la madera, en kg/m^3

El factor k_4 depende de los materiales conectados y debe tomarse igual a:

$$K_4 = \begin{cases} 1.1 & \text{Para uniones madera-madera} \\ & \text{Para uniones acero-madera} \end{cases} \quad (2.22)$$

2.3.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

Las características de las probetas de acuerdo al tipo de madera son las mismas que se determinaron en el numeral 2.1.4.

2.3.5 CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

2.3.5.1 Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”

La “JUNAC” no considera este tipo de uniones en su estudio.

2.3.5.2 Cálculo de cargas de diseño según la “NDS for Wood Construction”

La “NDS for Wood Construction” solo considera anillos abiertos en su análisis por lo que no es aplicable para este estudio.

2.3.5.3 Cálculo de la capacidad de carga según el “Eurocódigo 5”

Datos iniciales:

Corte doble:

Probeta: APD1 (Chanul)

$d_c = 73 \text{ mm}$

$h_e = 15 \text{ mm}$

$t_1 = 60 \text{ mm}$

$t_2 = 60 \text{ mm}$

$\rho_k = 705.86 \text{ kg/m}^3$

a) Cálculo del factor k_1 de acuerdo a la ecuación (2.19):

El factor k_1 deberá tomarse como el mínimo entre los siguientes valores:

$$k_1 = 1$$

$$k_1 = \frac{t_1}{3 h_e} = \frac{60}{3 \times 15} = 1.33$$

$$k_1 = \frac{t_2}{5 h_e} = \frac{60}{5 \times 15} = 0.80$$

Por tanto:

$$\mathbf{k_1 = 0.80}$$

b) Cálculo del factor k_2 :

El factor k_2 deberá tomarse como 1 al tratarse de un caso de testa no cargada, de acuerdo al procedimiento descrito en el numeral 2.2.3.1.

$$\mathbf{k_2 = 1}$$

c) Cálculo del factor k_3 , de acuerdo a la ecuación (2.21):

El factor k_3 se deberá tomar como el mínimo entre los siguientes valores:

$$k_3 = 1.75$$

$$k_3 = \frac{\rho_k}{350} = \frac{705.86}{350} = 2.02$$

Por tanto:

$$\mathbf{k_3 = 1.75}$$

d) Cálculo del factor k_4 , de acuerdo a la ecuación (2.22):

El factor k_4 deberá tomarse como 1 al tratarse de una unión madera-madera.

$$\mathbf{k_4 = 1}$$

Cálculo de la capacidad de carga de la unión, de acuerdo a la ecuación (2.18):

- Capacidad de carga de los conectores tipo “appel”:

El valor de la capacidad de carga por cada conector tipo “appel” se deberá tomar como el mínimo entre los siguientes valores:

$$F_{v,0,Rk} = k_1 k_2 k_3 k_4 (35 d_c)^{1.5} = 0.80 \times 1 \times 1.75 \times 1 \times (35 \times 73)^{1.5} = 30561.90 \text{ N}$$

$$F_{v,0,Rk} = k_1 k_3 h_e (31.5 d_c) = 0.80 \times 1.75 \times 15 \times (31.5 \times 73) = 48289.50 \text{ N}$$

Por tanto:

$$F_{v,0,Rk} = 30561.90 \text{ N}$$

$$\mathbf{F_{v,0,Rk} = 3.119 \text{ T}}$$

El valor obtenido en el paso anterior es la capacidad de carga para un solo conector. Debido a que la conexión tiene doble plano de corte se utilizaron dos conectores en la unión. Por lo tanto este valor se debe multiplicar por 2 para obtener la capacidad de carga total de los conectores.

$$F_{v,0,Rk} = 2 \times 3.119$$

$$\mathbf{F_{v,0,Rk} = 6.237 \text{ T}}$$

- Capacidad de carga del perno:

La capacidad de carga del perno se determinó de acuerdo a lo descrito en el numeral 2.0.4.3, corte doble.

$$\mathbf{F_{v,Rk} = 3.109 \text{ T}}$$

- Capacidad de carga de la unión:

La capacidad de carga total de la unión será la suma de la capacidad de carga del conector y de la capacidad de carga del perno.

$$F_{v,0,Rk} = 6.237 + 3.109$$

$$\mathbf{F_{v,0,Rk} = 9.346 T}$$

En la tabla 2.19 se presenta los resultados obtenidos para todas las conexiones consideradas con doble plano de corte.

Corte simple:

Probeta: APS1 (Chanul)

$$d_c = 73 \text{ mm}$$

$$h_e = 15 \text{ mm}$$

$$t_1 = 60 \text{ mm}$$

$$t_2 = 60 \text{ mm}$$

$$\rho_k = 705.86 \text{ kg/m}^3$$

TABLA 2.19: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES TIPO "APPEL" CON DOBLE PLANO DE CORTE, SEGÚN EL "EUROCÓDIGO 5"

PROBETA	MADERA	ρ_k (kg/m ³)	h_e (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	MÍNIMO			MÍNIMO			CONECTOR	MÍNIMO	CONECTOR	PERNO	CARGA TOTAL
						k_1	k_2	k_3	k_3	k_4	$F_{v,0,Rk}$ (N)					
APD1	CHANUL	705.86	15	60	60	1	1	1.75	1.75	1	61123.80	6.237	3.109	9.346		
						1.33									2.02	
						0.80									96579.00	
APD2	CHANUL	705.86	15	60	60	1	1	1.75	1.75	1	61123.80	6.237	3.109	9.346		
						1.33									2.02	
						0.80									96579.00	
APD3	MASCAREY	430.39	15	60	60	1	1	1.75	1.23	1	42950.14	4.383	2.428	6.810		
						1.33									1.23	
						0.80									67863.61	
APD4	MASCAREY	430.39	15	60	60	1	1	1.75	1.23	1	42950.14	4.383	2.428	6.810		
						1.33									1.23	
						0.80									67863.61	
APD5	GUAYACÁN	934.40	15	40	60	1	1	1.75	1.75	1	61123.80	6.237	3.577	9.814		
						0.89									2.67	
						0.80									96579.00	
APD6	GUAYACÁN	934.40	15	40	60	1	1	1.75	1.75	1	61123.80	6.237	3.577	9.814		
						0.89									2.67	
						0.80									96579.00	

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

a) Cálculo de los coeficientes k_1, k_2, k_3 y k_4 :

El procedimiento para el cálculo de estos coeficientes es el mismo mostrado para la conexión con doble plano de corte, y los valores obtenidos serán iguales ya que los espesores (t_1 y t_2) así como el diámetro del conector (d_c) y la profundidad de penetración (h_e).

$$k_1 = 0.80$$

$$k_2 = 1$$

$$k_3 = 1.75$$

$$k_4 = 1$$

b) Cálculo de la capacidad de carga de la unión:

- Capacidad de carga del conector:

El valor de la capacidad del conector tipo “appel” se deberá tomar como el mínimo entre los siguientes valores:

$$F_{v,0,Rk} = k_1 k_2 k_3 k_4 (35 d_c^{1.5}) = 0.80 \times 1 \times 1.75 \times 1 \times (35 \times 73^{1.5}) = 30561.90 \text{ N}$$

$$F_{v,0,Rk} = k_1 k_3 h_e (31.5 d_c) = 0.80 \times 1.75 \times 15 \times (31.5 \times 73) = 48289.50 \text{ N}$$

Por tanto:

$$F_{v,0,Rk} = 30561.90 \text{ N}$$

$$F_{v,0,Rk} = 3.119 \text{ T}$$

- Capacidad de carga del perno:

La capacidad de carga del perno se determinó de acuerdo a lo descrito en el numeral 2.0.4.3, corte simple.

$$F_{v,Rk} = 1.554 \text{ T}$$

- Capacidad de carga de la unión:

La capacidad de carga total de la unión será la suma de la capacidad de carga del conector y de la capacidad de carga del perno.

$$F_{v,0,Rk} = 3.119 + 1.554$$

$$\mathbf{F_{v,0,Rk} = 4.673 T}$$

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos para todas las conexiones consideradas con un solo plano de corte:

TABLA 2.20: CAPACIDAD DE CARGA PARA CONEXIONES TIPO “APPEL” CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN EL “EUROCODIGO 5”

PROBETA	MADERA	ρ_k (kg/m ³)	h_e (mm)	t_1 (mm)	t_2 (mm)	MÍNIMO			MÍNIMO			CONECTOR	MÍNIMO	CONECTOR	PERNO	CARGA TOTAL
						k_1	k_2	k_3	k_3	k_4	$F_{v,0,Rk}$ (N)					
APS1	CHANUL	705.86	15	60	60	1	1	1.75	1.75	1	30561.90	3.119	1.554	4.673		
						1.33									2.02	48289.50
						0.80										
APS2	CHANUL	705.86	15	60	60	1	1	1.75	1.75	1	30561.90	3.119	1.554	4.673		
						1.33									2.02	48289.50
						0.80										
APS3	MASCAREY	430.39	15	60	60	1	1	1.75	1.23	1	21475.07	2.191	1.214	3.405		
						1.33									1.23	33931.80
						0.80										
APS4	MASCAREY	430.39	15	60	60	1	1	1.75	1.23	1	21475.07	2.191	1.214	3.405		
						1.33									1.23	33931.80
						0.80										
APS5	GUAYACÁN	934.40	15	40	40	1	1	1.75	1.75	1	20374.60	2.079	1.789	3.868		
						0.89									2.67	32193.00
						0.53										
APS6	GUAYACÁN	934.40	15	40	40	1	1	1.75	1.75	1	20374.60	2.079	1.789	3.868		
						0.89									2.67	32193.00
						0.53										

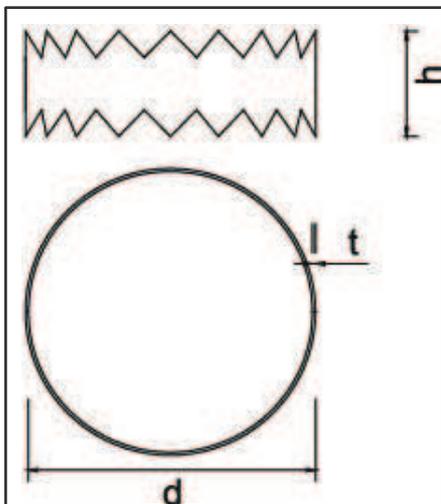
Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

2.4 CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”

El presente estudio se realizará para el **conector tipo “Alligator”**

Los conectores tipo “Alligator” consisten en anillos con bordes dentados tipo zigzag, los cuales deben incrustarse en la madera a ser unida y se ajustan mediante pernos pasadores.

FIGURA 2.10: CONECTOR TIPO ALLIGATOR



Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

2.4.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”

La “JUNAC” no considera este tipo de uniones en su estudio

2.4.2 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”

La norma de la “NDS for Wood Construction” no considera este tipo de uniones en su estudio.

2.4.3 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”

La norma de diseño “Eurocódigo 5” no considera este tipo de uniones en su estudio.

2.4.4 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “DIN 1052”⁵

Debido a que no se cuenta con información acerca de este conector en los códigos anteriormente mencionados, es necesario recurrir a las recomendaciones de diseño de la norma “DIN 1052”.

Al igual que en las anteriores conexiones consideradas, la carga admisible para las uniones con conectores tipo “Alligator” deberá considerar tanto la contribución del conector en sí, tanto como la contribución del perno que forma parte de la unión.

2.4.4.1 Carga admisible para uniones empernadas según la norma “DIN 1052”

La norma “DIN 1052” considera las siguientes recomendaciones:

Las cargas calculadas según esta norma, se aplican para conexiones cuyo diámetro de perno es mayor a 12 mm.

La relación l/d no debe ser menor a 4.5, siendo l el espesor del elemento más grueso o longitud del perno en este y del diámetro del perno.

La carga admisible para conexiones empernadas con un plano de corte deberá tomarse como el menor valor que resulte de:

⁵OBANDO, L., TINOCO, L. (1993). Tesis, Estudio experimental de conexiones de madera estructural sujeta a carga axial. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

a) Carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera:

$$N_m = \sigma a d \quad (2.23)$$

Donde:

N_m es la carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera, en kg.

σ es el esfuerzo de aplastamiento de la madera, en kg/cm², determinado de acuerdo a la tabla 2.21.

a es el espesor del miembro menos grueso, en cm.

d es el diámetro del perno, en cm.

b) Carga admisible controlada por el aplastamiento del perno:

$$N_p = A d^2 \quad (2.24)$$

Donde:

N_p es la carga admisible controlada por el aplastamiento del perno, en kg

A es el esfuerzo de flexión del perno en kg/cm², determinado de acuerdo a la tabla 21.

d es el diámetro del perno, en cm

La carga admisible para uniones con dos planos de corte será aquella que resulte menor de los siguientes valores:

a) Carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera considerando el elemento central.

Se debe determinar a través de la ecuación (2.30), considerando el valor de σ de acuerdo a la tabla 2.21 y el espesor de dicho elemento "a".

b) Carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera

considerando los elementos laterales.

Se debe determinar a través de la ecuación (2.23), considerando el valor de σ de acuerdo a la tabla 2.21 y el espesor "a" se considera como la suma de los espesores de dichos elementos.

- c) Carga admisible controlada por la flexión del perno considerando el elemento central.

Se debe determinar a través de la ecuación (2.24) considerando el valor de "A" de acuerdo a la tabla 2.21.

- d) Carga admisible controlada por la flexión del perno considerando los elementos laterales.

Se debe determinar a través de la ecuación (2.24) considerando el valor de "A" de acuerdo a la tabla 2.21 y adicionalmente debe multiplicarse por 2.

TABLA 2.21: VALORES DE ESFUERZO DE APLASTAMIENTO DE LA MADERA (σ) Y ESFUERZO DE FLEXIÓN DEL PERNO (A) DE ACUERDO AL NÚMERO DE PLANOS DE CORTE Y DEL TIPO DE MADERA

CORTE	MADERA	σ_1	A
SIMPLE	SUAVE	40	170
	DURA	50	200
DOBLE	CONSIDERANDO EL MIEMBRO CENTRAL		
	SUAVE	85	380
	DURA	100	450
	CONSIDERANDO LOS MIEMBROS LATERALES		
	SUAVE	55	260
	DURA	65	300

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

2.4.4.2 Carga admisible para uniones con conectores tipo “Alligator” según la norma “DIN 1052”

La norma “DIN 1052” presenta una tabla basada en resultados de varias experiencias para la determinación de la carga admisible en uniones con conectores tipo “Alligator”.

La tabla 2.22 toma en cuenta las características del conector como son: diámetro, externo, altura, espesor, número de dientes, y basados en estos datos se procede a determinar el valor de la carga admisible del conector, según el valor presentado en la tabla 2.22.

2.4.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

Las características de las probetas de acuerdo al tipo de madera son las mismas que se determinaron en el numeral 2.1.4.

2.4.6 CÁLCULO DE CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

2.4.6.1 Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”

La “JUNAC” no considera este tipo de uniones en su estudio

2.4.6.2 Cálculo de cargas de diseño según la “NDS for Wood Construction”

La “NDS for Wood Construction” no considera este tipo de uniones en su estudio

TABLA 2.22: CARGAS ADMISIBLES PARA CONEXIONES TIPO "ALLIGATOR" SEGÚN LA NORMA "DIN 1052"

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
FORMA DEL PASADOR	DIMENSIONES DEL PASADOR		PERNOS						DIRECCIÓN DE LAS FIBRAS	DIRECCIÓN DE LA FUERZA Y EL ÁNGULO EN LA DIRECCIÓN DE LAS FIBRAS	DIRECCIÓN DE LA FUERZA Y EL ÁNGULO EN LA DIRECCIÓN DE LA FIBRA	DISTRIBUCIÓN DE LAS FIBRAS				
	DIÁMETRO EXTERNO ¹⁾	ALTURA ²⁾	ESPAZAMIENTO	NÚMERO DE DIENTES	SUPERFICIE DE FALLA DEL PASADOR	TORNILLOS DE CABEZA HEXAGONAL DIN 601 HOJA 1	DIÁMETRO DE DISCOS CIRCULARES/ ESPESOR	LONGITUD DE UN LADO/ ARANDELAS CUADRADAS/ ESPESOR								
	d _d	h _d	S		ΔF	d _b	d _s		b/a	b/a	e _d ll	kp	kp	kp	kp	kp
CONECTOR TIPO ALLIGATOR	55	19	1.45	11	2.0	M 12	58/6	50/6	10/4 o 8/6	10/4 o 9/6	12	600	550	500	550	550
	70	19	1.45	15	2.6	M 16	68/6	60/6	10/5	12/5	14	800	700	650	750	700
	95	24	1.5	17	4.5	M 20	80/8	70/8	12/6	14/6	17	1200	1100	950	1100	1000
	115	24	1.5	20	5.6	M 22 ⁽¹²⁾	92/8	80/8	15/8	18/8	20	1600	1450	1300	1450	1300
	125	29	1.65	18	7.3	M 24	105/8	95/8	16/8	19/8	23	1800	1600	1450	1550	1450

Fuente: DEUTSCHE NORMEN. DIN Code 1052, (1969), pág. 2

2.4.6.3 Cálculo de la capacidad de carga según el “Eurocódigo 5”

El “Eurocódigo 5” no considera este tipo de uniones en su estudio

2.4.6.4 Cálculo de cargas admisibles según la norma “DIN 1052”

Como paso previo a la determinación de las cargas admisibles para las uniones con conectores tipo Alligator, se deben determinar las cargas admisibles para uniones empernadas según la norma “DIN 1052”, ya que los pernos deben ser considerados como parte de la capacidad de carga de toda la unión.

2.4.6.4.1 Cálculo de cargas admisibles para uniones empernadas

Datos iniciales:

Corte doble:

Probeta PD1 (Chanul)

Madera tipo: DURA

$d = 1/2$ pulg = 1.27 cm

$l = 6$ cm

$a_{\text{central}} = 6$ cm

$a_{\text{lateral}} = 12$ cm

$A_{\text{central}} = 450$ kg/cm² (Según tabla 2.21)

$A_{\text{lateral}} = 300$ kg/cm² (Según tabla 2.21)

$\sigma_{\text{central}} = 100$ kg/cm² (Según tabla 2.21)

$\sigma_{\text{lateral}} = 65$ kg/cm² (Según tabla 2.21)

a) Cálculo de la relación l/d :

$$\frac{l}{d} = \frac{6}{1.27} = 4.72 > 4.5$$

Cumple la condición requerida por la norma "DIN 1052"

- b) Cálculo de la carga admisible N_m del elemento central, de acuerdo a la ecuación (2.30):

$$N_m = \sigma a d = 100 \times 6 \times 1.27$$

$$\mathbf{N_m = 762 \text{ kg}}$$

- c) Cálculo de la carga admisible N_m de los elementos laterales, de acuerdo a la ecuación (2.30):

$$N_m = \sigma a d = 65 \times 12 \times 1.27$$

$$\mathbf{N_m = 990.60 \text{ kg}}$$

- d) Cálculo de la carga admisible N_p del elemento central, de acuerdo a la ecuación (2.31):

$$N_p = A d^2 = 450 \times 1.27^2$$

$$\mathbf{N_p = 725.81 \text{ kg}}$$

- e) Cálculo de la carga admisible N_p de los elementos laterales, de acuerdo a la ecuación (2.31):

$$N_p = 2 A d^2 = 2 \times 300 \times 1.27^2$$

$$\mathbf{N_p = 967.74 \text{ kg}}$$

- f) Cálculo de la carga admisible para la unión emperrada:

La carga admisible de la unión emperrada será el menor valor de los obtenidos en los pasos anteriores:

$$N = 725.81 \text{ kg}$$

$$\mathbf{N = 0.726 \text{ T}}$$

En la tabla 2.23 se presenta los resultados obtenidos para todas las conexiones consideradas a corte doble de acuerdo con la norma "DIN 1052".

Corte simple:

Probeta PS1 (Chanul)

Tipo madera: DURA

$d = 1/2 \text{ pulg} = 1.27 \text{ cm}$

$l = 6 \text{ cm}$

$a = 6 \text{ cm}$

$A = 200 \text{ kg/cm}^2$ (Según tabla 2.21)

$\sigma = 50 \text{ kg/cm}^2$ (Según tabla 2.21)

a) Cálculo de la relación l/d :

$$\frac{l}{d} = \frac{6}{1.27} = 4.72 > 4.5$$

Cumple la condición requerida por la norma "DIN 1052"

b) Cálculo de la carga admisible N_m , de acuerdo a la ecuación (2.23):

$$N_m = \sigma a d = 50 \times 6 \times 1.27$$

$$\mathbf{N_m = 381 \text{ kg}}$$

TABLA 2.23: CARGAS ADMISIBLES PARA CONEXIONES EMPERNADAS A CORTE DOBLE, SEGÚN LA NORMA "DIN 1052"

PROBETA	TIPO	l (cm)	d (cm)	l/d	CENTRAL		LATERAL		σ (kg/cm ²)	Nm (kg)	Np (kg)	CARGA ADM. (kg)	CARGA ADM. (T)
					a (cm)	a (cm)	A (kg/cm ²)	A (kg/cm ²)					
PD1	Dura	6	1.27	4.72	6	12	450	300	100	762.00	967.74	725.81	0.726
PD2	Dura	6	1.27	4.72	6	12	450	300	100	762.00	967.74	725.81	0.726
PD3	Suave	6	1.27	4.72	6	12	380	260	85	647.70	838.71	612.90	0.613
PD4	Suave	6	1.27	4.72	6	12	380	260	85	647.70	838.71	612.90	0.613
PD5	Dura	6	1.27	4.72	6	8	450	300	100	762.00	967.74	660.40	0.660
PD6	Dura	6	1.27	4.72	6	8	450	300	100	762.00	967.74	660.40	0.660

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

c) Cálculo de la carga admisible N_p , de acuerdo a la ecuación (2.31):

$$N_p = A d^2 = 200 \times 1.27^2$$

$$N_p = 322.58 \text{ kg}$$

d) Cálculo de la carga admisible para la unión emperrada:

La carga admisible de la unión emperrada será el menor valor de los obtenidos en los pasos anteriores:

$$N = 322.58 \text{ kg}$$

$$N = 0.323 \text{ T}$$

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos para todas las conexiones consideradas a corte simple de acuerdo con la norma "DIN 1052".

TABLA 2.24: CARGAS ADMISIBLES PARA CONEXIONES EMPERNADAS CON UN PLANO DE CORTE, SEGÚN LA NORMA "DIN 1052"

PROBETA	TIPO	l (cm)	d (cm)	l/d	a (cm)	A (kg/cm ²)	σ (kg/cm ²)	Nm (kg)	Np (kg)	CARGA ADM. (kg)	CARGA ADM. (T)
PS1	Dura	6	1.27	4.72	6	200	50	381.00	322.58	322.58	0.323
PS2	Dura	6	1.27	4.72	6	200	50	381.00	322.58	322.58	0.323
PS3	Suave	6	1.27	4.72	6	170	40	304.80	274.19	274.19	0.274
PS4	Suave	6	1.27	4.72	6	170	40	304.80	274.19	274.19	0.274
PS5	Dura	6	1.27	4.72	4	200	50	254.00	322.58	254.00	0.254
PS6	Dura	6	1.27	4.72	4	200	50	254.00	322.58	254.00	0.254

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

2.4.6.4.2 Cálculo de cargas admisibles para uniones con conectores tipo "Alligator"

La carga admisible para las uniones con conectores tipo "Alligator", deberá determinarse como la suma de la carga admisible del conector especial y del perno que forma parte de la unión:

a) Cálculo de la carga admisible para el conector tipo “Alligator”:

La carga admisible para el conector deberá determinarse de acuerdo a la tabla 2.22, con las características del conector estudiado:

Datos iniciales:

$$d_d = 70 \text{ mm}$$

$$h_d = 29 \text{ mm}$$

$$s = 2$$

Número de dientes: 15

De acuerdo a lo anterior la carga admisible para un solo conector será:

$$N_{Al} = 800 \text{ kp}$$

$$N_{Al} = 8000 \text{ N}$$

$$\mathbf{N_{Al} = 0.816 \text{ T}}$$

Para dos conectores (corte doble) el anterior valor se multiplica por 2

$$\mathbf{N_{Al} = 1.633 \text{ T}}$$

b) Carga admisible de la conexión tipo “Alligator”

- Corte simple:

Probeta ALS1 (Chanul)

$$P = N + N_{Al} = 0.323 + 0.816$$

$$\mathbf{P = 1.139 \text{ T}}$$

- Corte doble:

Probeta ALD1 (Chanul)

$$P = N + N_{Al} = 0.726 + 1.633$$

$$P = 2.358 \text{ T}$$

A continuación se presenta una tabla con los resultados obtenidos tanto para corte simple como para corte doble de todas las conexiones consideradas, de acuerdo a la norma "DIN 1052".

TABLA 2.24: CARGA ADMISIBLE PARA CONEXIONES TIPO "ALLIGATOR" CON UNO Y DOS PLANOS DE CORTE, SEGÚN LA NORMA "DIN 1052"

ROBETA	CARGA CONECTOR (N)	CARGA CONECTOR (kg)	CARGA CONECTOR (T)	CARGA PERNO (T)	CARGA TOTAL (T)
ALD1	16000	1632.65	1.633	0.726	2.358
ALD2	16000	1632.65	1.633	0.726	2.358
ALD3	16000	1632.65	1.633	0.613	2.246
ALD4	16000	1632.65	1.633	0.613	2.246
ALD5	16000	1632.65	1.633	0.660	2.293
ALD6	16000	1632.65	1.633	0.660	2.293
ALS1	8000	816.33	0.816	0.323	1.139
ALS2	8000	816.33	0.816	0.323	1.139
ALS3	8000	816.33	0.816	0.274	1.091
ALS4	8000	816.33	0.816	0.274	1.091
ALS5	8000	816.33	0.816	0.254	1.070
ALS6	8000	816.33	0.816	0.254	1.070

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

CAPÍTULO III

ESTUDIO Y ENSAYO DE CONEXIONES

3.1 CONEXIONES TIPO “BULLDOG”

3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA

Con el fin de hacer una comparación experimental, se incrementó el estudio de la conexión con pernos, la cual se realizará de acuerdo a los elementos que forman parte de la misma (perno y elementos de madera a ser unidos).

3.1.1.1 Perno

El perno utilizado está fabricado en acero de bajo carbono, tipo SAE GRADO 2. Norma ANSI/ASME B 18.2.1 de diámetro \varnothing 1/2". Las longitudes de los pernos se describen a continuación.

TABLA 3.1: LONGITUD DE PERNOS UTILIZADOS

		Corte simple			Corte doble		
		Mascarey	Chanul	Guayacán	Mascarey	Chanul	Guayacán
Longitud del perno	Pulgadas (in)	6	6	4	8	8	6
	Centímetros(cm)	15	15	10	20	20	15

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

3.1.1.2 Elementos de Madera

En los elementos de madera se consideran varios parámetros como son: el

espesor, las distancias a los bordes y testas, de modo que cumplan con las recomendaciones de la norma europea “Eurocódigo 5”.

3.1.1.2.1 Distancia al borde y distancia a la testa

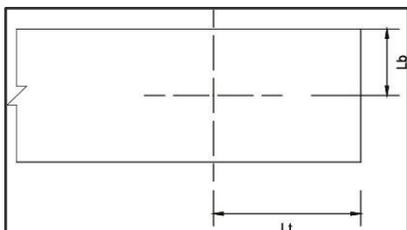
La distancia al borde así como la distancia a la testa del elemento de madera, está considerada de acuerdo al numeral 2.0.3.3, de donde se obtienen los siguientes valores.

TABLA 3.2: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA

	Valores Mínimos	Valores de la probeta
Distancia al borde L_b en (mm)	38.1	150
Distancia a la testa L_t en (mm)	50.8	70

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

FIGURA 3.1: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

Consideraciones: La distancia al borde (L_b), que se usó en las probetas, está basada en las dimensiones de las vigas disponibles en el mercado.

3.1.1.2.2 Espesor mínimo

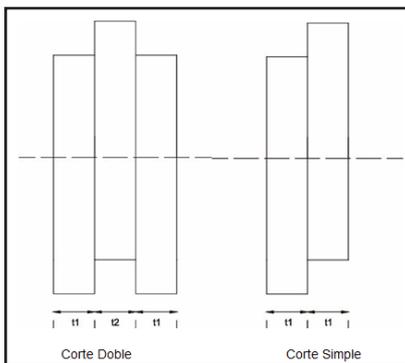
El espesor mínimo de las piezas de madera deberá ser igual a 30 mm en los elementos laterales y 40 mm en los elementos centrales⁶, como se muestra en la siguiente tabla:

⁶ Sociedad Española de la Madera, 03 Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 62.

TABLA 3.3: ESPESORES MÍNIMOS VS FABRICADOS

	Valor mínimo	Valor de la probeta		
		Chanul	Mascarey	Guayacán
Esesor pieza exterior t1 en (mm)	30	60	60	40
Esesor pieza interior t2 en (mm)	40	60	60	60

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

FIGURA 3.2: ESPESORES DE PROBETAS

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.1.1.3 Ensamblaje de la Probeta

TABLA 3.4: ENSAMBLAJE DE PROBETA

Trazado de ejes para la perforación	
Se procede a ensamblar la probeta, considerando que se debe colocar las arandelas en los extremos	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.1.1.4 Simbología de las probetas

Las probetas que están unidas mediante pernos tienen la siguiente nomenclatura, de acuerdo con el tipo de madera y los planos de corte.

TABLA 3.5: SIMBOLOGÍA DE LAS PROBETAS

PROBETA	Tipo de conexión	Madera	Planos de corte
PS1	PERNO	CHANUL	SIMPLE
PS2	PERNO	CHANUL	SIMPLE
PS3	PERNO	MASCAREY	SIMPLE
PS4	PERNO	MASCAREY	SIMPLE
PS5	PERNO	GUAYACÁN	SIMPLE
PS6	PERNO	GUAYACÁN	SIMPLE
PD1	PERNO	CHANUL	DOBLE
PD2	PERNO	CHANUL	DOBLE
PD3	PERNO	MASCAREY	DOBLE
PD4	PERNO	MASCAREY	DOBLE
PD5	PERNO	GUAYACÁN	DOBLE
PD6	PERNO	GUAYACÁN	DOBLE

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.1.2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Las probetas fueron ensayadas a compresión en la maquina universal "SUZPECAR", misma que registra los datos de carga y deformación. Éstos fueron ingresados en hojas de cálculo para realizar las graficas que se muestran en el anexo 1.

El modo de falla para las uniones fue por flexión de los pernos, como se indica en la figura 3.3.

FIGURA 3.3: FALLA DE PROBETAS

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.1.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la tabla 3.6 se presentan los resultados experimentales obtenidos

En el numeral 3.0.1.4 y en el anexo 1 se puede observar que se ensayaron dos probetas por cada tipo de unión. Para el análisis de los resultados se tomaron los valores de la probeta que soportó menor carga, con el criterio de incrementar el margen de seguridad. Así también cuando las gráficas de un mismo tipo de probeta difieran considerablemente se utilizará la curva promedio.

La carga admisible que se consideró es la carga en el límite elástico dividida para cuatro, además del criterio de carga cuando la deformación se haya restringido a 1.5 mm.

TABLA 3.6: RESULTADOS EXPERIMENTALES

PROBETA	CARGA ADMISIBLE EN (ton)		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA MÁXIMA	
	$\delta=1.5\text{mm}$ (ton)	L.E./4 (ton)	PL.E. (ton)	δ L.E. (mm)	P MÁX. (ton)	δ MÁX (mm)
PS 1 – 2	1.18	0.45	1.8	2.82	4	34.5
PS 3 – 4	0.44	0.225	0.9	3.73	3.3	48
PS 5 – 6	0.76	0.55	2.2	4.13	4.5	25.97

TABLA 3.6: CONTINUACIÓN

PROBETA	CARGA ADMISIBLE EN (ton)		LIMITE ELÁSTICO		CARGA MÁXIMA	
	$\delta=1.5\text{mm}$ (ton)	L.E./4 (ton)	PL.E. (ton)	δ L.E. (mm)	P MÁX. (ton)	δ MÁX (mm)
PD 1 – 2	1.68	0.95	3.8	3.19	8.6	26.9
PD 3 – 4	0.85	0.5	2	4.01	3.3	27
PD 5 – 6	1.51	0.975	3.9	3.22	11.8	26.21

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

Donde:

δ = Deformación

L.E.=Límite elástico

P.L.E= carga en el límite elástico

δ L.E= Deformación en el límite elástico

P MÁX= Carga máxima

δ MÁX= Deformación máxima

3.1.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS

La rigidez de la conexión (pendiente bajo la curva en el tramo recto) se muestra en la tabla 3.7.

TABLA 3.7: RIGIDECES PROBETAS CON PERNO

Nomenclatura	RIGIDECES (ton/mm)
PS 1 – 2	0.64
PS 3 – 4	0.24
PS 5 – 6	0.53
PD 1 – 2	1.19
PD 3 – 4	0.40
PD 5 – 6	1.21

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

La rigideces para corte simple (probetas PS), se justifican respecto a las probetas en corte doble (probetas PD), puesto que representan aproximadamente el doble

de la rigidez obtenida para un solo plano de corte.

De manera general las curvas presentadas en el anexo 1 para un mismo tipo de probeta son iguales, salvo pequeñas diferencias atribuibles a las características anisotrópicas de la madera.

De la tabla 3.6 se obtienen las siguientes tablas comparativas:

TABLA 3.8: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE (PADM=PL.E./4)

PROBETA	CARGA ADMISIBLE	CARGA EN EL L.E.	CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO
PS 1 – 2	100	400	889
PS 3 – 4	100	400	1467
PS 5 – 6	100	400	818
PD 1 – 2	100	400	905
PD 3 – 4	100	400	660
PD 5 – 6	100	400	1210

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

TABLA 3.9: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE (PADM=P CUANDO LA DEFORMACIÓN ES IGUAL A 1.5 MM)

PROBETA	CARGA ADMISIBLE	CARGA EN EL L.E.	CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO
PS 1 – 2	100	153	339
PS 3 – 4	100	205	750
PS 5 – 6	100	289	592
PD 1 – 2	100	226	512
PD 3 – 4	100	235	388
PD 5 – 6	100	258	781

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

TABLA 3.10: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO

PROBETA	DEFORMACIÓN EN EL L.E.	DEFORMACIÓN EN EL PMÁX.
PS 1 – 2	100	1223
PS 3 – 4	100	1287
PS 5 – 6	100	629
PD 1 – 2	100	843
PD 3 – 4	100	673
PD 5 – 6	100	814

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

3.2 ENSAYO DE CONEXIONES TIPO “BULLDOG”

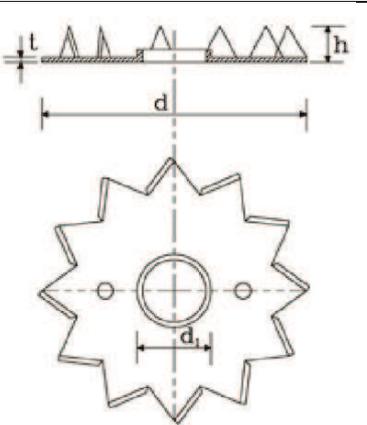
3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA

La descripción de la probeta tipo “Bulldog” se realizará de acuerdo a los componentes de la misma, es decir, el conector y los elementos de madera.

3.2.1.1 Conector

Las características del elemento tipo “Bulldog” se basan en la descripción del numeral 2.1, mismo que corresponde al conector tipo C2, como se indica a continuación.

TABLA 3.11: DESCRIPCIÓN DEL CONECTOR “BULLDOG”

	En la norma	Fabricado	
Diámetro d en (mm)	62	62	
altura h en (mm)	8.7	9	
Espesor t en (mm)	1.2	1.35	
Diámetro del agujero del perno d_1 (mm)	12.4-16.4-20.4	12.6	
Número de dientes n	12	12	
Material	Acero bajo en carbono	Acero bajo en carbono	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

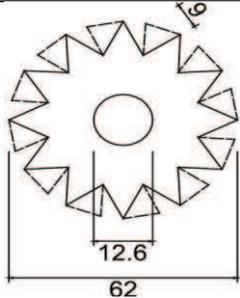
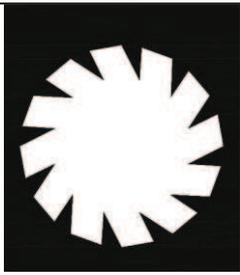
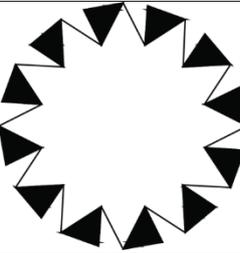
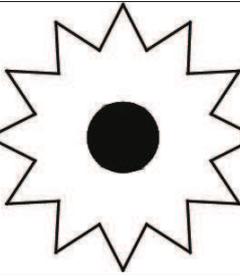
Consideraciones constructivas:

- *Altura:* la altura de los dientes difiere levemente, debido a que el conector fue fabricado con instrumentos de cerrajería.
- *Espesor:* el espesor del conector es mayor, ya que en el mercado ecuatoriano no se dispone del espesor que indica la norma.

- *Diámetro del agujero del perno:* el diámetro utilizado en la fabricación del conector corresponde al diámetro de la broca (1/2") disponible en el mercado ecuatoriano.

3.2.1.1.1 Descripción constructiva del conector

TABLA 3.12: PROCESO CONSTRUCTIVO DEL CONECTOR TIPO “BULLDOG”

<p>Dibujar el conector en el plano para imprimir en papel adhesivo y colocarlo sobre las placas de acero. Las figuras trazadas con líneas segmentadas forman cada uno de los dientes del conector, una vez que se haya realizado el doblado.</p>	
<p>Se cortará la placa metálica siguiendo las líneas antes dibujadas. Al final se obtendrá una figura similar a la mostrada.</p>	
<p>Se doblará los triángulos de color negro en un ángulo de 90 grados con respecto a la placa.</p>	
<p>Una vez doblados los dientes, se obtiene una figura similar a la mostrada, ahora se procederá a perforar el agujero central.</p>	
<p>Conector terminado</p>	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.2.1.2 ELEMENTOS DE MADERA

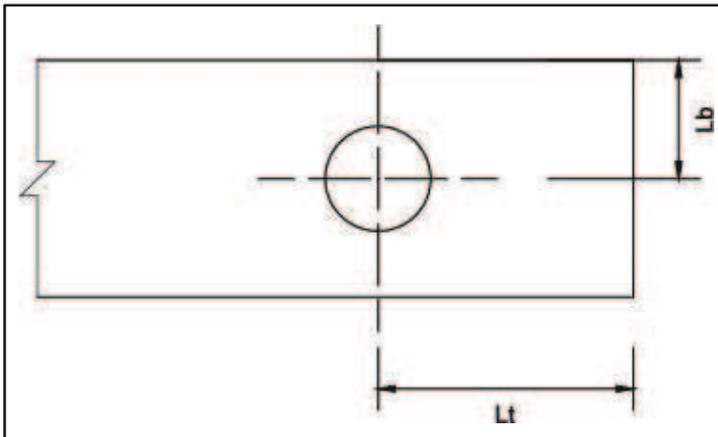
Las dimensiones mínimas de distancias a los bordes y a las testas para las probetas se mencionan en el numeral 2.1.3.3, para el caso del conector tipo “Bulldog” se tienen los siguientes valores.

TABLA 3.13: DISTANCIAS AL BORDE Y A LA TESTA

	Valores Mínimos	Valores de la probeta
Distancia al borde L_b en (mm)	37.2	70
Distancia a la testa L_t en (mm)	74.4	150

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

FIGURA 3.4: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

Consideraciones: Los valores mínimos de distancia al borde y a la testa (L_b y L_t), fueron calculados para un diámetro de conector de 62 mm.

3.2.1.2.1 Espesor mínimo de los elementos de madera

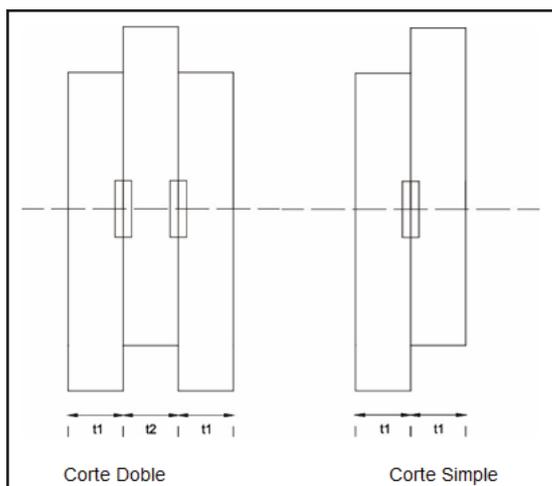
El espesor mínimo se ha considerado de acuerdo a lo descrito en el numeral 2.1.3.2, de donde se obtienen los siguientes valores:

TABLA 3.14: ESPESORES PROBETAS

	Valor mínimo	Valor de la probeta		
		Chanul	Mascarey	Guayacán
Espesor pieza exterior t1 en (mm)	20.25	60	60	40
Espesor pieza interior t2 en (mm)	33.75	60	60	60

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

FIGURA 3.5: ESPESORES



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

Consideraciones: El valor 60 mm fue seleccionado debido a que es el espesor estándar de los tabloncillos de madera que se encuentran en el mercado nacional.

3.2.1.3 Perno

El perno que se va a utilizar está fabricado en acero de bajo carbono, tipo SAE GRADO 2. Norma ANSI/ASME B 18.2.1 de diámetro $\varnothing 1/2'$ y sus respectivas arandelas.

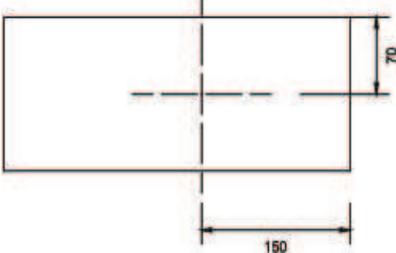
TABLA 3.15: LONGITUDES DE PERNOS

		Corte simple			Corte doble		
		Mascarey	Chanul	Guayacán	Mascarey	Chanul	
Longitud	Pulgadas (in)	6	6	4	8	8	6
	Centímetros (cm)	15	15	10	20	20	15

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.2.1.4 ENSAMBLAJE DE LA PROBETA

TABLA 3.16: ENSAMBLAJE DE LA PROBETA

<p>Trazar el eje para el perno</p>	
<p>Utilizando un sacabocados se debe perforar una guía de 3mm de profundidad</p>	
<p>Con la ayuda de una fresadora para madera, se procede a realizar el canal donde se alojará el conector</p>	
<p>Canal donde se ubica el conector</p>	
<p>Perforar el agujero central del conector con un taladro de banco (debe utilizarse este instrumento para garantizar que la perforación sea perpendicular a la madera)</p>	
<p>Se procede a ubicar el conector en la madera con la ayuda de un gato hidráulico o una mordaza</p>	
<p>Finalmente se une cada elemento de la probeta, ajustándose mediante el perno y las arandelas que se ubican en el extremo</p>	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.2.1.5 Simbología de las probetas

Las probetas que están unidas mediante el conector tipo “Bulldog”, de acuerdo con el tipo de madera y los planos de corte tienen la siguiente nomenclatura.

TABLA 3.17: SIMBOLOGÍA DE LAS PROBETAS

Nomenclatura	Tipo de conexión	Madera	Planos de corte
BS1	BULLDOG	CHANUL	SIMPLE
BS2	BULLDOG	CHANUL	SIMPLE
BS3	BULLDOG	MASCAREY	SIMPLE
BS4	BULLDOG	MASCAREY	SIMPLE
BS5	BULLDOG	GUAYACÁN	SIMPLE
BS6	BULLDOG	GUAYACÁN	SIMPLE
PD1	BULLDOG	CHANUL	DOBLE
BD2	BULLDOG	CHANUL	DOBLE
BD3	BULLDOG	MASCAREY	DOBLE
BD4	BULLDOG	MASCAREY	DOBLE
BD5	BULLDOG	GUAYACÁN	DOBLE
BD6	BULLDOG	GUAYACÁN	DOBLE

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

3.2.2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos fueron obtenidos de la máquina universal de ensayos, misma que registra los datos de carga y deformación. Éstos fueron ingresados en una hoja de cálculo para realizar las gráficas que se muestran en el anexo 1.

El modo de falla para las uniones tipo “Bulldog” fue por flexión de los pernos, deformación del conector y desgarre de la madera, como se indica en la figura 3.6.

FIGURA 3.6: PROBETAS ENSAYADAS

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.2.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la tabla 3.18 se presenta un resumen con los resultados obtenidos experimentalmente.

En el numeral 3.1.1.5 y en las curvas del anexo1 se muestran dos probetas por cada tipo de unión. En el análisis de resultados se consideró los valores de la probeta que soportó una menor carga, con el criterio de incrementar el margen de seguridad. Cuando los resultados de un mismo tipo de unión son muy diferentes se deberá tomar un valor promedio de ambas probetas.

Se consideró como carga admisible a la carga en el límite elástico dividido para cuatro, debido a la incertidumbre que genera el no fabricar el conector con los materiales establecidos en la norma. Además se tomó también el criterio de carga cuando la deformación está restringida a 1.5 mm.

TABLA 3.18: RESULTADOS EXPERIMENTALES

PROBETA	CARGA ADMISIBLE EN (ton)		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA MÁXIMA	
	$\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4	PL.E. (ton)	δ L.E. (mm)	P MÁX. (ton)	δ MÁX (mm)
BS 1 – 2	0.59	0.55	2.2	4.31	6.9	45.6
BS 3 – 4	0.84	0.375	1.5	3.56	3.4	45.8
BS 5 – 6	0.85	0.775	3.1	4.8	6.5	36.9

TABLA 3.18: CONTINUACIÓN

PROBETA	CARGA ADMISIBLE EN (ton)		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA MÁXIMA	
	$\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4	PL.E. (ton)	δ L.E. (mm)	P MÁX. (ton)	δ máx (mm)
BD 1 – 2	2.15	1.075	4.3	3.13	11	33.8
BD 3 – 4	0.94	0.7	2.8	3.9	5.8	24.7
BD 5 – 6	2.47	1.125	4.5	2.74	9.8	24.5

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

Donde:

δ = Deformación

L.E.=Límite elástico

P.L.E= carga en el límite elástico

δ L.E= Deformación en el límite elástico

P MÁX= Carga máxima

δ MÁX= Deformación máxima

3.2.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS

La rigidez de la conexión (pendiente bajo la curva carga-deformación en el tramo recto) se presenta en la tabla 3.19.

TABLA 3.19: RIGIDECES

Nomenclatura	RIGIDECES (ton/mm)
BS 1 – 2	0.51
BS 3 – 4	0.42
BS 5 – 6	0.65
BD 1 – 2	1.37
BD 3 – 4	0.72
BD 5 – 6	1.64

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

En las curvas del anexo 1 se observa que estas son iguales, salvo pequeñas diferencias atribuibles a las características anisotrópicas de la madera.

De la tabla 3.18 (resumen de resultados) se obtiene las siguientes tablas comparativas.

TABLA 3.20: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO, LA CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO CON RESPECTO A LA CARGA ADMISIBLE (PADM.=P.L./4)

PROBETA	CARGA ADMISIBLE	CARGA EN EL L.E.	CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO
BS 1 - 2	100	400	1255
BS 3 - 4	100	400	907
BS 5 - 6	100	400	839
BD 1 - 2	100	400	1023
BD 3 - 4	100	400	829
BD 5 - 6	100	400	871

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

TABLA 3.21: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO, LA CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO CON RESPECTO A LA CARGA ADMISIBLE (PADM=P CUANDO LA DEFORMACIÓN ES IGUAL A 1.5 MM)

PROBETA	CARGA ADMISIBLE	CARGA EN EL L.E.	CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO
BS 1 - 2	100	373	1169
BS 3 - 4	100	179	405
BS 5 - 6	100	365	765
BD 1 - 2	100	200	512
BD 3 - 4	100	298	617
BD 5 - 6	100	182	397

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

TABLA 3.22: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO

PROBETA	DEFORMACIÓN EN LA CARGA ADMISIBLE	DEFORMACIÓN EN EL L.E.
BS 1 - 2	100	1058.00
BS 3 - 4	100	1286.52
BS 5 - 6	100	768.75
BD 1 - 2	100	1079.87
BD 3 - 4	100	633.33
BD 5 - 6	100	894.16

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.3 ENSAYO DE CONEXIONES TIPO “APPEL”

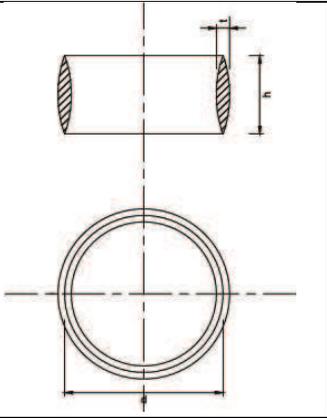
3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA

La probeta será descrita de acuerdo a los elementos componentes de la unión como son: el conector, los elementos de madera y el perno.

3.3.1.1 Conector

Las características del conector de anillo (Appel) están consideradas de acuerdo a lo descrito en el numeral 1.1.2.1, correspondiente al conector A1, como se describe a continuación.

TABLA 3.23: CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR

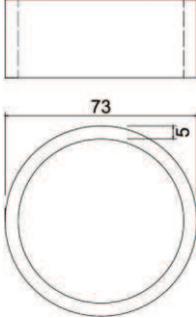
	En la norma	Fabricado	
Diámetro d en (mm)	65	73	
Altura h en (mm)	30	30	
Espesor t en (mm)	5	5	
Material	Aleación de aluminio	Acero bajo en carbono	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

Consideraciones constructivas: El diámetro del conector fabricado difiere de lo establecido en la norma, debido a que en el mercado ecuatoriano no se dispone de tubos con el diámetro requerido, y la fabricación a partir de un eje de acero sólido provocaría que el costo del conector se incremente considerablemente.

3.3.1.1.1 Fabricación del Conector

TABLA 3.24: DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DEL CONECTOR

<p>A partir de un tubo de 2 ½" de diámetro y 5 mm de espesor, se procede a cortar pedazos de 30 mm de alto.</p> <p>Se mecaniza en el torno para darle la inclinación que necesita el anillo en los bordes.</p>	
<p>Conector tipo "Appel" terminado</p>	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

3.3.1.2 Elementos de madera

En lo referente a requerimientos de dimensiones mínimas de distancias a los bordes y a las testas de la madera, las probetas cumplen las recomendaciones mencionadas en el numeral 2.1.3.3. En el caso del conector tipo "Appel" se tienen los siguientes valores.

TABLA 3.25: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA

	Valores Mínimos	Valores de la probeta
Distancia al borde Lb en (mm)	43.8	70
Distancia a la testa Lt en (mm)	87.6	150

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

Ver figura 3.4

3.3.1.2.1 Espesor mínimo de los elementos de madera

El espesor mínimo se ha considerado de acuerdo a las recomendaciones indicadas en el numeral 2.1.3.2, de donde se obtienen los siguientes valores:

TABLA 3.26: ESPESORES DE LAS PROBETAS

	Valor mínimo	Valor de la probeta		
		Chanul	Mascarey	Guayacán
Espesor pieza exterior t1 en (mm)	33.75	60	60	40
Espesor pieza interior t2 en (mm)	56.25	60	60	60

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

Ver figura 3.5

3.3.1.3 Perno

Los pernos a utilizarse se encuentran descritos en el numeral 3.1.1.3

3.3.1.4 Ensamblaje de la Probeta

TABLA 3.27: ENSAMBLAJE DE PROBETA

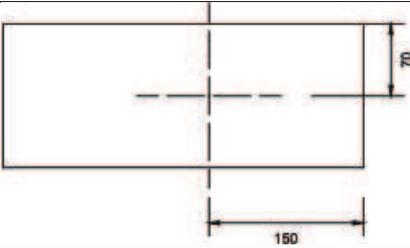
<p>Trazar el eje del conector y del perno</p>	
<p>Mediante una cortadora circular ajustable se procede a fabricar el canal donde se alojará el conector. La perforación deberá tener una profundidad igual a 1/3 de la altura del conector $h/3 = 10\text{mm}$</p>	

TABLA 3.27: CONTINUACIÓN

Perforar el agujero del perno	
Colocar el conector tipo "Appel" en la ranura	
Con la ayuda de un gato hidráulico o mordaza se procede a juntar completamente las probetas	
Probeta ensamblada	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.3.1.5 Simbología de las probetas

Las probetas unidas mediante el conector tipo "Appel" tienen la siguiente nomenclatura, de acuerdo con el tipo de madera y los planos de corte.

TABLA 3.28: SIMBOLOGÍA DE LAS PROBETAS

Nomenclatura	Tipo de conexión	Madera	Planos de corte
APS1	APPEL	CHANUL	SIMPLE
APS2	APPEL	CHANUL	SIMPLE
APS3	APPEL	MASCAREY	SIMPLE
APS4	APPEL	MASCAREY	SIMPLE
APS5	APPEL	GUAYACÁN	SIMPLE
APS6	APPEL	GUAYACÁN	SIMPLE

TABLA 3.28: CONTINUACIÓN

Nomenclatura	Tipo de conexión	Madera	Planos de corte
APD1	APPEL	CHANUL	DOBLE
APD2	APPEL	CHANUL	DOBLE
APD3	APPEL	MASCAREY	DOBLE
APD4	APPEL	MASCAREY	DOBLE
APD5	APPEL	GUAYACÁN	DOBLE
APD6	APPEL	GUAYACÁN	DOBLE

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.3.2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Las probetas fueron ensayadas a compresión en la maquina universal “SUZPECAR”, la misma que registra datos de carga y deformación. Éstos fueron ingresados en hojas de cálculo para realizar las gráficas mostradas en el anexo 1.

El modo de falla para las uniones con conectores tipo “Appel”, fue por flexión de los pernos y del conector, además de un desprendimiento del núcleo donde se aloja el mismo. Así mismo se presentaron rajaduras en los miembros de madera, como se muestra en la figura 3.7.

FIGURA 3.7: PROBETAS ENSAYADAS

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.3.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la tabla 3.29 se presenta un resumen de los resultados obtenidos experimentalmente.

En el numeral 3.2.1.5y en la curvas del anexo 1 se puede observar que se ensayaron dos probetas por cada tipo de unión. En el análisis de resultados se tomaron los valores de la probeta que soportó menor carga, con el criterio de incrementar el margen de seguridad. Cuando los resultados de un mismo tipo de unión son muy diferentes se deberá tomar los valores promedio de ambas probetas.

La carga admisible que se consideró es la carga en el límite elástico dividida para cuatro, debido a la incertidumbre que se genera al no fabricar el conector con los materiales especificados en la norma. Además se tomo el criterio de carga cuando la deformación se haya restringido a 1.5 mm.

TABLA 3.29: RESULTADOS EXPERIMENTALES

PROBETA	CARGA ADMISIBLE EN (ton)		LIMITE ELÁSTICO		CARGA MÁXIMA	
	$\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4	PL.E. (ton)	δ L.E. (mm)	P MÁX.(ton)	δ MÁX (mm)
APS 1 - 2	2.16	1.15	4.6	2.96	9	23.4
APS 3 - 4	2.46	0.55	2.2	1.27	4.5	20.98
APS 5 - 6	2.75	1.3	5.2	3	10	14.56
APD 1 - 2	6.91	2.125	8.5	2.03	16.6	18.45
APD 3 - 4	2.58	1.25	5	2.74	6.9	6.92
APD 5 - 6	6.16	3	12	2.88	26	18.11

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijja

Donde:

δ = Deformación

L.E.=Límite elástico

P.L.E= carga en el límite elástico

δ L.E= Deformación en el límite elástico

$P_{MÁX}$ = Carga máxima

$\delta_{MÁX}$ = Deformación máxima

3.3.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS

La rigidez de la conexión (pendiente de la curva carga vs deformación para el tramo recto) se presenta en la tabla 3.30.

TABLA 3.30: RIGIDECES

Nomenclatura	RIGIDECES (ton/mm)
APS 1 - 2	1.55
APS 3 - 4	1.73
APS 5 - 6	1.73
APD 1 - 2	4.19
APD 3 - 4	1.82
APD 5 - 6	4.17

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

En las curvas del anexo 1, se observa que estas son iguales, salvo pequeñas diferencias atribuibles a las características anisotrópicas de la madera.

De la tabla 3.29 se obtiene las siguientes tablas comparativas.

TABLA 3.31: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE ($P_{ADM}=P_{L.E}/4$)

PROBETA	CARGA ADMISIBLE	CARGA EN EL L.E.	CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO
APS 1 - 2	100	400	783
APS 3 - 4	100	400	818
APS 5 - 6	100	400	769
APD 1 - 2	100	400	781
APD 3 - 4	100	400	552
APD 5 - 6	100	400	867

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

TABLA 3.32: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE (PADM=P CUANDO LA DEFORMACIÓN ES IGUAL A 1.5 MM)

PROBETA	CARGA ADMISIBLE	CARGA EN EL L.E.	CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO
APS 1 - 2	100	213	417
APS 3 - 4	100	89	183
APS 5 - 6	100	189	364
APD 1 - 2	100	123	240
APD 3 - 4	100	194	267
APD 5 - 6	100	195	422

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

TABLA 3.33: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO

PROBETA	DEFORMACIÓN EN EL L.E.	DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO
APS 1 - 2	100	791
APS 3 - 4	100	1652
APS 5 - 6	100	485
APD 1 - 2	100	909
APD 3 - 4	100	253
APD 5 - 6	100	629

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

3.4 ENSAYO DE CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”

3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LA PROBETA

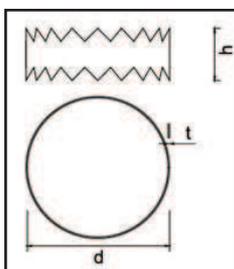
La descripción de las probetas con el conector tipo “Alligator” se realizará de acuerdo a los componentes de la unión, es decir, el conector, los elementos de madera y el perno.

3.4.1.1 Conector

Las características del conector tipo “Alligator” están consideradas de acuerdo a lo

descrito en la tabla 2.22, como se indica a continuación.

FIGURA 3.8: CONECTOR TIPO “ALLIGATOR”



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

TABLA 3.34: CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR

	En la norma	Fabricado
Diámetro d en (mm)	70	70
Altura h en (mm)	19	29
Espesor t en (mm)	1.45	2
Material	Acero de alta resistencia	Acero bajo en carbono
Diámetro del agujero del perno en (mm)	12	12
Numero de dientes n	15	15

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.4.1.1.1 Descripción constructiva del conector

TABLA 3.35: DESCRIPCIÓN CONSTRUCTIVA DEL CONECTOR

Dibujar el conector en el plano para imprimir en papel adhesivo y colocarlo en las placas de acero.	
Se procede a cortar la placa metálica siguiendo las líneas antes dibujadas. Al final se obtendrá una figura similar a la mostrada.	
Se procede a doblar la placa para darle forma cilíndrica y finalmente se debe soldar la unión	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

Consideraciones constructivas: El material del conector difiere del especificado en la norma (acero de alta resistencia), debido a que en el mercado nacional es escaso. Por este motivo se utilizó acero de bajo contenido de carbono.

Con el propósito de compensar las características que le brinda el acero de alta resistencia, se incrementó las dimensiones del conector. Hay que tomar en cuenta que no se pudo realizar las ondulaciones que se indica en las recomendaciones de la norma, puesto que éstas son propias de un proceso de construcción industrial.

3.4.1.2 Madera

Las dimensiones mínimas requeridas para el ancho de las probetas cumplen con las recomendaciones indicadas en el numeral 2.1.2.3, y en el caso del conector tipo “Alligator” se tienen los siguientes valores.

TABLA 3.36: DISTANCIA AL BORDE Y A LA TESTA

	Valores Mínimos	Valores de la probeta
Distancia al borde L_b en (mm)	42	70
Distancia a la testa L_t en (mm)	84	150

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

Ver figura 3.4

3.4.1.2.1 Espesor mínimo de los elementos de madera

El espesor mínimo considerado para las piezas de madera se encuentra de acuerdo a lo descrito en el numeral 2.1.3.2, de donde se tienen los siguientes valores:

TABLA 3.37: ESPESORES DE LA PROBETA

	Valor mínimo	Valor de la probeta		
		Chanul	Mascarey	Guayacán
Esesor pieza exterior t1 en (mm)	32.6	60	60	40
Esesor pieza interior t2 en (mm)	54.4	60	60	60

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

Ver figura 3.5

3.4.1.3 Perno

Los pernos a utilizarse están descritos en el numeral 3.1.1.3.

3.4.1.4 ENSAMBLAJE DE LA PROBETA

TABLA 3.38: ENSAMBLAJE DE LA PROBETA

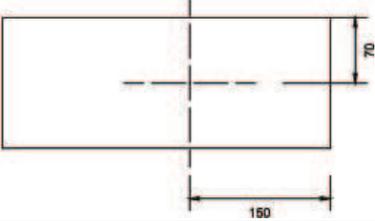
<p>Trazar el eje del conector y del perno</p>	
<p>Mediante una cortadora circular ajustable se procede a fabricar el canal donde se alojará el conector. La perforación deberá ser de una profundidad igual a 1/3 de la altura del conector</p>	
<p>Se procede a perforar el agujero para el perno.</p>	

TABLA 3.38: CONTINUACIÓN

Ubicar el conector en el canal y proceder a ensamblar con los pernos y las arandelas	
Con la ayuda de un gato hidráulico o mordaza se procede a juntar completamente las probetas y finalmente se ajusta el perno	

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.4.1.5 Simbología de las probetas

Las probetas unidas mediante el conector tipo “Alligator” tienen la siguiente nomenclatura, de acuerdo con el tipo de madera y los planos de corte.

TABLA 3.39: SIMBOLOGÍA DE PROBETAS

Nomenclatura	Tipo de conexión	Madera	Planos de corte
ALS1	ALLIGATOR	CHANUL	SIMPLE
ALS2	ALLIGATOR	CHANUL	SIMPLE
ALS3	ALLIGATOR	MASCAREY	SIMPLE
ALS4	ALLIGATOR	MASCAREY	SIMPLE
ALS5	ALLIGATOR	GUAYACÁN	SIMPLE
ALS6	ALLIGATOR	GUAYACÁN	SIMPLE
ALD1	ALLIGATOR	CHANUL	DOBLE
ALD2	ALLIGATOR	CHANUL	DOBLE
ALD3	ALLIGATOR	MASCAREY	DOBLE
ALD4	ALLIGATOR	MASCAREY	DOBLE
ALD5	ALLIGATOR	GUAYACÁN	DOBLE
ALD6	ALLIGATOR	GUAYACÁN	DOBLE

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

3.4.2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

Los datos fueron obtenidos de la máquina universal de ensayos “SUZPECAR”, misma que registra los datos de carga y deformación. Éstos fueron ingresados en una hoja de cálculo para realizar las gráficas mostradas en el anexo 1.

El modo de falla para las uniones tipo “Alligator” fue por flexión de los pernos y del conector, además se presentaron rajaduras de los miembros de madera, como se indica en la figura 3.9.

FIGURA 3.9: PROBETAS ENSAYADAS



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

3.4.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES

En la tabla 3.40 se presenta un resumen de los resultados obtenidos experimentalmente.

En el numeral 3.3.1.5 y en las curvas del anexo 1 se observa que se ensayaron dos probetas por cada tipo de unión. En el análisis de los resultados se consideró los valores de la probeta que soportó una menor carga, con el criterio de incrementar el margen de seguridad. Cuando los resultados de un mismo tipo de unión son muy diferentes se deberá tomar los valores promedio de ambas probetas.

Se consideró como carga admisible a la carga en el límite elástico dividido para cuatro, debido a la incertidumbre que genera el no fabricar el conector con los

materiales establecidos en la norma. Además se tomó también el criterio de carga cuando la deformación este restringida a 1.5 mm.

TABLA 3.40: RESULTADOS EXPERIMENTALES

PROBETA	CARGA ADMISIBLE EN (ton)		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA MÁXIMA	
	$\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4	PL.E. (ton)	δ L.E. (mm)	P MÁX.(ton)	δ MÁX(mm)
ALS 1 - 2	2.02	1	4	3.9	6.2	11
ALS 3 - 4	1.02	0.675	2.7	6.49	3.9	19.17
ALS 5 - 6	3.15	1.75	7	4.1	8.8	10.56
ALD 1 - 2	3.71	1.75	7	3.42	13.1	12.67
ALD 3 - 4	1.91	1.25	5	3.97	7.9	10.46
ALD 5 - 6	2.85	2.25	9	4.04	15.5	12.58

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

3.4.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS

La rigidez de la conexión (pendiente de la curva carga vs deformación para el tramo recto) se presenta en la tabla 3.41.

TABLA 3.41: RIGIDECES

Nomenclatura	RIGIDECES (ton/mm)
ALS 1 - 2	1.03
ALS 3 - 4	0.42
ALS 5 - 6	1.71
ALD 1 - 2	2.05
ALD 3 - 4	1.26
ALD 5 - 6	2.23

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

De manera general las curvas presentadas en el Anexo 1 para un mismo tipo de probeta son iguales, salvo pequeñas diferencias atribuibles a las características anisotrópicas de la madera

De la tabla 3.4 se obtienen las siguientes comparaciones.

TABLA 3.42: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE (PADM=P L.E/4)

PROBETA	CARGA ADMISIBLE	CARGA EN EL L.E.	CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO
ALS 1 - 2	100	400	620
ALS 3 - 4	100	400	578
ALS 5 - 6	100	400	503
ALD 1 - 2	100	400	749
ALD 3 - 4	100	400	632
ALD 5 - 6	100	400	689

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

TABLA 3.43: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE (PADM=P CUANDO LA DEFORMACIÓN ES IGUAL A 1.5 MM)

PROBETA	CARGA ADMISIBLE	CARGA EN EL L.E.	CARGA EN EL PUNTO MÁXIMO
ALS 1 - 2	100	198	307
ALS 3 - 4	100	265	382
ALS 5 - 6	100	190	279
ALD 1 - 2	100	189	353
ALD 3 - 4	100	262	414
ALD 5 - 6	100	316	544

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

TABLA 3.44: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO

PROBETA	DEFORMACIÓN EN EL L.E.	DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO
ALS 1 - 2	100	260
ALS 3 - 4	100	433
ALS 5 - 6	100	273
ALD 1 - 2	100	228
ALD 3 - 4	100	265
ALD 5 - 6	100	269

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL

4.1 CONEXIONES CON PERNOS

Con el objetivo de realizar una comparación entre resultados experimentales y valores teóricos, así como la comprobación del incremento de la capacidad de la unión al colocar un conector especial, se consideró también el estudio de las conexiones con pernos.

De los valores teóricos presentados en los cuadros 2.12, 2.13 y los resultados experimentales mostrados en el cuadro 3.6, se desprende la tabla 4.1. En esta se presentan los valores obtenidos de acuerdo a las recomendaciones de los códigos de diseño: "JUNAC", "NDS for Wood Construction", "Eurocódigo 5" y la norma "DIN 1052".

La tabla 4.1 presenta tanto los resultados experimentales en el límite elástico, como las cargas admisibles. En este caso se consideró el criterio de dividir la carga en el límite elástico para cuatro, así como también restringir la deformación a 1.5 mm.

TABLA 4.1: RESULTADOS TEÓRICOS Y RESULTADOS EXPERIMENTALES

PROBETAS	CÁLCULOS TEÓRICOS (ton)			EXPERIMENTAL (ton)		
	JUNAC	NDS	EUROCÓDIGO	CARGA EN L.E.	CARGA EN EL L.E./4	CARGA CUANDO $\delta=1.5$ mm
PS 1 – 2	0.37	0.44	1.55	1.8	0.45	1.18
PS 3 – 4	0.24	0.34	1.21	0.9	0.225	0.44
PS 5 – 6	0.47	0.50	1.79	2.2	0.55	0.76
PD 1 – 2	0.74	0.87	3.11	3.8	0.95	1.68

TABLA 4.1: CONTINUACIÓN

PROBETAS	CÁLCULOS TEÓRICOS (ton)			EXPERIMENTAL (ton)		
	JUNAC	NDS	EUROCÓDIGO	CARGA EN L.E.	CARGA EN EL L.E./4	CARGA CUANDO $\delta=1.5$ mm
PD 3 – 4	0.47	0.68	2.40	2	0.5	0.85
PD 5 – 6	0.94	1.00	3.58	3.9	0.975	1.51

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

Donde:

L.E = Limite elástico

δ = Deformación

De la tabla 4.1 se desprenden los siguientes cuadros comparativos

TABLA 4.2: DIFERENCIA EN PORCENTAJE ENTRE LOS VALORES DE CARGAS ADMISIBLES OBTENIDAS MEDIANTE LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION” Y LA “JUNAC”, RESPECTO A LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

PROBETAS	CÁLCULOS TEÓRICOS (ton)		EXPERIMENTAL (ton)	
	JUNAC	NDS	CARGA EN EL L.E./4	CARGA CUANDO $\delta=1.5$ mm.
PS 1 – 2	100	118	122	319
PS 3 – 4	100	141	94	183
PS 5 – 6	100	107	118	163
PD 1 – 2	100	118	128	227
PD 3 – 4	100	144	106	181
PD 5 – 6	100	106	104	161

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

Los valores obtenidos a través de las recomendaciones del “Eurocódigo 5” deben compararse con las cargas experimentales en el límite elástico, ya que este considera cargas nominales (es decir que no están afectadas por ningún factor de seguridad).

TABLA 4.3: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LAS CARGAS EXPERIMENTALES RESPECTO A LAS CARGAS CALCULADAS CON EL “EUROCODIGO 5”

PROBETAS	RESULTADOS TEÓRICOS	EXPERIMENTAL
	EUROCODIGO	EN EL L.E.
PS 1 - 2	100.00	116
PS 3 - 4	100.00	74
PS 5 - 6	100.00	123
PD 1 - 2	100.00	122
PD 3 - 4	100.00	83
PD 5 - 6	100.00	109

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

En la tabla 4.4 se presentan los factores de seguridad que resultan al dividir la carga experimental en el límite elástico para las cargas admisibles (tanto las obtenidas a través de las recomendaciones de los códigos de diseño, así como los valores experimentales).

TABLA 4.4: FACTORES DE SEGURIDAD RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO

PROBETAS	CÁLCULOS TEÓRICOS (ton)		EXPERIMENTAL (ton)		
	JUNAC	NDS	CARGA EN L.E./4	CARGA CUANDO $\delta=1.5$ mm	CARGA EN L.E.
PS 1 – 2	4.9	4.1	4	1.5	1
PS 3 – 4	3.8	2.7	4	2.0	1
PS 5 – 6	4.7	4.4	4	2.9	1
PD 1 – 2	5.1	4.4	4	2.3	1
PD 3 – 4	4.3	3.0	4	2.4	1
PD 5 – 6	4.1	3.9	4	2.6	1

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

En la tabla 4.2 se puede observar que los valores de cargas admisibles obtenidas experimentalmente son, en general, superiores a los calculados teóricamente.

En la comparación entre los resultados obtenidos a través de las recomendaciones del “Eurocódigo 5” y los valores experimentales, se observa que estos son mayores para las probetas 1-2 (madera Chanul) y 5-6 (madera Guayacán). En contraposición, los resultados obtenidos para las probetas 3-

4(madera Mascarey) a través del “Eurocódigo 5”, son inferiores a los valores experimentales, lo que sugiere una investigación más profunda con este tipo de madera.

En la tabla 4.4 al hacer una comparación de las cargas obtenidas mediante las recomendaciones de los códigos de diseño, respecto a la carga en el límite elástico (valor experimental), se observa que los factores de seguridad son bastante altos, siendo el menor de ellos 3.7, llegando hasta un valor de 5.4.

4.2 CONEXIONES TIPO “BULLDOG”

De los valores obtenidos teóricamente (cuadros 2.16 y 2.17), y los resultados experimentales mostrados en el cuadro 3.18, se desprende la tabla 4.5.

En esta se presentan los resultados obtenidos a través de las recomendaciones del “Eurocódigo 5”, y los valores experimentales.

TABLA 4.5: RESULTADOS EXPERIMENTALES Y TEÓRICOS

Nomenclatura	Cálculos teóricos	Cálculos Experimentales
	Eurocódigo (ton)	L.E. (ton)
BS 1 - 2	2.84	2.2
BS 3 - 4	2.27	1.5
BS 5 - 6	2.93	3.1
BD 1 - 2	5.68	4.3
BD 3 - 4	4.50	2.8
BD 5 - 6	6.15	4.5

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

Los resultados obtenidos en las tablas 2.16 y 2.17 son valores nominales (sin considerar ningún factor de seguridad).

En la tabla 4.6 se muestra, en porcentaje, los resultados obtenidos en base a los criterios del “Eurocódigo 5”, en relación con los valores experimentales en el límite

elástico.

TABLA 4.6: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LOS VALORES EXPERIMENTALES EN RELACIÓN A LOS TEÓRICOS

Nomenclatura	Cálculos teóricos	Cálculos Experimentales
	Eurocódigo (ton)	L.E. (ton)
BS 1 – 2	100	77
BS 3 – 4	100	66
BS 5 – 6	100	106
BD 1 – 2	100	76
BD 3 – 4	100	62
BD 5 - 6	100	73

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

La tabla 4.6 evidencia que los valores obtenidos a través de los criterios del “Eurocódigo 5” son en general más altos que los observados experimentalmente. Esto puede atribuirse a que el conector fabricado no cumple estrictamente con las características que indica la norma, tanto en material como en dimensiones.

De la tabla 4.5 se desprenden los siguientes cuadros comparativos

TABLA 4.7: FACTORES DE SEGURIDAD DE LA CARGA ADMISIBLE EXPERIMENTAL RESPECTO A LA CARGA NOMINAL CALCULADO CON EL “EUROCÓDIGO 5”

Nomenclatura	Cálculos teóricos	Cálculos Experimentales	
	Eurocódigo (ton)	Carga cuando $\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4 (ton)
BS 1 - 2	1	4.8	5.2
BS 3 - 4	1	2.7	6.0
BS 5 - 6	1	3.4	3.8
BD 1 - 2	1	2.6	5.3
BD 3 - 4	1	4.8	6.4
BD 5 - 6	1	2.5	5.5

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

TABLA 4.8: FACTORES DE SEGURIDAD DE LA CARGA ADMISIBLE EXPERIMENTAL RESPECTO A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO EXPERIMENTAL

Nomenclatura	Resultados Experimentales		
	L.E.	L.E./4 (ton)	Carga cuando $\delta=1.5\text{mm}$
BS 1 - 2	1	4.0	3.7
BS 3 - 4	1	4.0	1.8
BS 5 - 6	1	4.0	3.6
BD 1 - 2	1	4.0	2.0
BD 3 - 4	1	4.0	3.0
BD 5 - 6	1	4.0	1.8

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

4.3 CONEXIONES TIPO “APPEL”

De acuerdo a los resultados teóricos mostrados en los cuadros 2.19 y 2.20 y los valores experimentales del cuadro 3.29, se presenta la tabla 4.9.

TABLA 4.9: CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO EXPERIMENTAL Y CARGA NOMINAL CALCULADO DE ACUERDO AL “EUROCÓDIGO 5”

Nomenclatura	Resultados Teóricos	Resultados Experimental
	Eurocódigo (ton)	L.E. (ton)
APS 1 - 2	4.67	4.6
APS 3 - 4	3.41	2.2
APS 5 - 6	3.87	5.2
APD 1 - 2	9.35	8.5
APD 3 - 4	6.78	5
APD 5 - 6	9.81	12

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

De la tabla 4.9 resultan los siguientes cuadros comparativos:

TABLA 4.10: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA NOMINAL CALCULADA SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5” CON RESPECTO A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO EXPERIMENTAL

PROBETAS	Teóricos	Experimental
----------	----------	--------------

	Eurocódigo	L.E.
APS 1 – 2	100	98

TABLA 4.10: CONTINUACIÓN

PROBETAS	Teóricos	Experimental
	Eurocódigo	L.E.
APS 3 – 4	100	65
APS 5 – 6	100	134
APD 1 – 2	100	91
APD 3 – 4	100	74
APD 5 – 6	100	122

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

TABLA 4.11: FACTORES DE SEGURIDAD RESPECTO A LA CARGA NOMINAL DEL “EUROCÓDIGO 5”

PROBETAS	Cálculos teóricos	Resultados Experimentales	
	Eurocódigo	Carga cuando $\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4
APS 1 - 2	1	2.2	4.1
APS 3 - 4	1	1.4	6.2
APS 5 - 6	1	1.4	3.0
APD 1 - 2	1	1.4	4.4
APD 3 - 4	1	2.6	5.4
APD 5 - 6	1	1.6	3.3

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

TABLA 4.12: FACTORES DE SEGURIDAD RESPECTO A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO

PROBETA	Resultados Experimentales		
	L.E.	L.E./4 (ton)	Carga cuando $\delta=1.5\text{mm}$
BS 1 - 2	1	4.0	2.1
BS 3 - 4	1	4.0	0.9
BS 5 - 6	1	4.0	1.9
BD 1 - 2	1	4.0	1.2
BD 3 - 4	1	4.0	1.9
BD 5 - 6	1	4.0	1.9

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

4.4 CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”

De los resultados teóricos presentados en el cuadro 2.22, y los valores

experimentales del cuadro 3.40, se desprende la tabla 4.13.

TABLA 4.13: CARGAS ADMISIBLES TEÓRICAS Y EXPERIMENTALES

PROBETA	DIN	Cuando $\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4(ton)
ALS 1 – 2	2.36	2.02	1
ALS 3 – 4	2.25	1.02	0.675
ALS 5 – 6	2.29	3.15	1.75
ALD 1 – 2	1.14	3.71	1.75
ALD 3 – 4	1.09	1.91	1.25
ALD 5 – 6	1.07	2.85	2.25

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

De la tabla 4.13 se desprenden los siguientes cuadros comparativos:

TABLA 4.14: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LAS CARGAS ADMISIBLES, EN RELACIÓN A LAS CARGAS TEÓRICAS

Nomenclatura	DIN	Cuando $\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4(ton)
ALS 1 – 2	100	177	88
ALS 3 – 4	100	94	62
ALS 5 – 6	100	294	164
ALD 1 – 2	100	157	74
ALD 3 – 4	100	85	56
ALD 5 – 6	100	124	98

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

TABLA 4.15: FACTOR DE SEGURIDAD DE LAS CARGAS ADMISIBLES EXPERIMENTALES Y CARGA ADMISIBLE SEGÚN LA NORMA “DIN 1052”, CON RESPECTO A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO

PROBETA	L.E	Cuando $\delta=1.5\text{mm}$	L.E./4(ton)	DIN
ALS 1 - 2	1	2.0	4.0	3.5
ALS 3 - 4	1	2.6	4.0	2.5
ALS 5 - 6	1	2.2	4.0	6.5
ALD 1 - 2	1	1.9	4.0	3.0
ALD 3 - 4	1	2.6	4.0	2.2
ALD 5 - 6	1	3.2	4.0	3.9

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

4.5 ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CONEXIONES CONSIDERADAS

De las tablas 3.7; 3.19; 3.30 y 3.41 resultan los siguientes cuadros comparativos:

TABLA 4.16: COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DEL INCREMENTO DE LA RIGIDEZ DEL CONECTOR TIPO “BULLDOG”, “APPEL”, “ALLIGATOR”, RESPECTO A LA UNIÓN CON PERNO

TIPO DE CORTE	TIPO DE MADERA	PERNO	BULLDOG	APPEL	ALLIGATOR
SIMPLE	Chanul	100	80	243	161
	Mascarey	100	175	718	172
	Guayacán	100	121	325	321
DOBLE	Chanul	100	115	352	172
	Mascarey	100	144	366	253
	Guayacán	100	136	344	184

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

De las tablas 3.6; 3.18; 3.29; y 3.40 se obtienen los siguientes cuadros comparativos, de acuerdo al tipo de conector, tipo de madera y los planos de corte.

TABLA 4.17: CHANUL CORTE SIMPLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE

PROBETAS	LÍMITE ELÁSTICO				CARGA MÁXIMA			
	P. L.E.		δ. L.E.		P MÁX.		δmáx	
	ton	%	mm	%	ton	%	Mm	%
PS 1 – 2	1.8	100	2.82	100	4	100	34.5	100
BS 1 – 2	2.2	122	4.31	153	6.9	173	45.6	132
APS 1 – 2	4.6	256	2.96	105	9	225	23.4	68
ALS 1 – 2	4	222	3.9	138	6.2	155	11	32

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

Donde:

P.L.E = carga en el límite elástico

δ.LE = Deformación en el límite elástico

P.MÁX = Carga máxima

δ .MÁX = Deformación máxima

En la tabla 4.17 se puede observar que, mediante la colocación del conector especial, para un mismo tipo de corte (simple) y un mismo tipo de madera (Chanul), el valor de la carga en el límite elástico aumenta hasta en un 222%, respecto a la que puede soportar la unión en la cual únicamente se colocó un perno.

También se observa que la deformación en el límite elástico, para las uniones con conectores especiales, en términos generales se incrementa hasta en un 53%, respecto a la conexión con perno.

La carga en el punto máximo para las conexiones especiales se incrementó hasta en un 225%, respecto a la conexión con perno.

Desde el punto de vista de la deformación en el punto máximo para las uniones con conectores especiales, se puede observar que esta disminuye en relación a las conexiones con pernos, con excepción del conector tipo "Bulldog", la cual se incrementa.

TABLA 4.18: CHANUL CORTE DOBLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE

PROBETAS	LÍMITE ELÁSTICO				CARGA MÁXIMA			
	P L.E.		δ L.E.		P MÁX.		δ máx	
	ton	%	mm	%	ton	%	Mm	%
PD 1 - 2	3.8	100	3.19	100	8.6	100	26.9	100
BD 1 - 2	4.3	113	3.13	98	11	128	33.8	126
APD 1 - 2	8.5	224	2.03	64	16.6	193	18.45	69
ALD 1 - 2	7	184	3.42	107	13.1	152	12.67	47

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijía

En la tabla 4.18 se puede observar que, mediante la colocación del conector especial, el valor la carga en el límite elástico se incrementó hasta en un 224%,

respecto a la que puede soportar la unión en la cual únicamente se colocó un perno.

Se observa que la deformación en el límite elástico para las uniones con conectores especiales disminuye en comparación a la que se presenta en las probetas con pernos, excepto para la unión con conector tipo “Alligator”.

En lo referente a la carga en el punto máximo, se puede observar que para las uniones con conectores especiales ésta aumenta hasta en un 193%, respecto a las probetas que solo utilizan pernos.

En cuanto a la deformación en el punto máximo, para las conexiones especiales se observa que ésta disminuye respecto a las probetas con pernos, a excepción de la unión con conector tipo “Bulldog”.

TABLA 4.19: MASCAREY CORTE SIMPLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE

PROBETAS	LÍMITE ELÁSTICO				CARGA MÁXIMA			
	P L.E.		δ L.E.		P MÁX.		δ máx	
	ton	%	mm	%	ton	%	Mm	%
PS 3 - 4	0.9	100	3.73	100	3.3	100	48	100
BS 3 - 4	1.5	167	3.56	95	3.4	103	45.8	95
APS 3 - 4	2.2	244	1.27	34	4.5	136	20.98	44
ALS 3 - 4	2.7	300	6.49	174	3.9	118	19.17	40

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

En la tabla 4.19 se puede observar que, mediante la colocación del conector especial, la carga en el límite elástico se incrementó hasta un 300 %, respecto a la que puede soportar la unión en la cual únicamente se colocó un perno.

La deformación en el punto máximo para las conexiones especiales disminuyó hasta en un 60 %, respecto a las probetas con pernos.

TABLA 4.20: MASCAREY CORTE DOBLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE

PROBETAS	LÍMITE ELÁSTICO				CARGA MÁXIMA			
	P L.E.		δ L.E.		P MÁX.		δ máx	
	ton	%	mm	%	ton	%	Mm	%
PD 3 - 4	2	100	4.01	100	3.3	100	27	100
BD 3 - 4	2.8	140	3.9	97	5.8	176	24.7	91
APD 3 - 4	5	250	2.74	68	6.9	209	6.92	26
ALD 3 - 4	5	250	3.97	99	7.9	239	10.46	39

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

TABLA 4.21: GUAYACÁN CORTE SIMPLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE

PROBETAS	LÍMITE ELÁSTICO				CARGA MÁXIMA			
	P L.E.		δ L.E.		P MÁX.		δ máx	
	ton	%	mm	%	ton	%	Mm	%
PS 5 - 6	2.2	100	4.13	100	4.5	100	25.97	100
BS 5 - 6	3.1	141	4.8	116	6.5	144	36.9	142
APS 5 - 6	5.2	236	3	73	10	222	14.56	56
ALS 5 - 6	7	318	4.1	99	8.8	196	12.67	49

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

TABLA 4.22: GUAYACÁN CORTE DOBLE. COMPARACIÓN DE LA CARGA Y LA DEFORMACIÓN EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO TANTO EN VALOR COMO EN PORCENTAJE

PROBETAS	LÍMITE ELÁSTICO				CARGA MÁXIMA			
	P L.E.		δ L.E.		P MÁX.		δ máx	
	ton	%	mm	%	ton	%	Mm	%
PD 5 - 6	3.9	100	3.22	100	11.8	100	26.21	100
BD 5 - 6	4.5	115	2.74	85	9.8	83	24.5	93
APD 5 - 6	12	308	2.88	89	26	220	18.11	69
ALD 5 - 6	9	231	4.04	125	15.5	131	12.58	48

Elaborado por: Criollo Esteban y Sebastián Quijia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 COMENTARIOS GENERALES

- La madera a utilizarse en la fabricación y construcción de las probetas debe seleccionarse adecuadamente, ya que por su naturaleza tiene muchas variaciones en sus propiedades. Éstas vienen dadas por el medio y las circunstancias en las que se desarrolla, y también por el proceso de aserrado al que estuvo sujeta. Todo esto debe considerarse con el fin de aprovechar las bondades de la madera, tomando en cuenta que estas características deben ser muy similares a las que se han supuesto como hipótesis.
- Es necesario considerar todas las recomendaciones y exigencias presentadas en los códigos de diseño que se han utilizado, puesto que solo de esta forma se puede garantizar que los resultados obtenidos estén acorde a la realidad.
- Si bien la fabricación de los conectores no es un proceso complejo, es recomendable que en el futuro sean parte de un proceso industrial, como lo es en Europa y en los Estados Unidos, con el fin de garantizar y estandarizar las características de los mismos.
- Como se observa en el capítulo 1, los conectores utilizados en este estudio no son los únicos que existen. Es recomendable que para la utilización de un nuevo tipo de conector especial se realicen los estudios necesarios, de tal forma que se conozca su funcionamiento y características.
- Se utilizaron dos probetas por cada tipo de conector con el objetivo de sustentar los resultados experimentales. Pese a que el número de probetas realizadas fue reducido, se pudieron obtener datos satisfactorios para

realizar comparaciones con los valores obtenidos al aplicar las recomendaciones de los códigos de diseño. Por ello se puede decir que las conexiones fueron fabricadas adecuadamente.

- Las cargas admisibles fueron consideradas bajo dos criterios: el primero fue restringir la deformación de la probeta a 1.5 mm, debido a que ésta es considerada como la máxima permisible para cargas aplicadas perpendicularmente a la fibra, aunque es también aplicable al caso de cargas paralelas al grano. El segundo fue adoptar un factor de seguridad de cuatro. En términos generales las cargas admisibles calculadas en los códigos son menores a las experimentales, lo cual evidencia que se debería tomar un factor mayor, pero debido a que se cuenta con el sustento experimental del estudio realizado, es posible disminuir dicho factor hasta el valor antes mencionado.

5.2 CONCLUSIONES

5.2.1 CONEXIONES EMPERNADAS

- En la tabla 3.7 se observa que la rigidez de las probetas PS1-2 (Chanul corte simple) son mayores en un 62% respecto a las probetas PS3-4 (Mascarey corte simple), y en un 17% con relación a las probetas PS5-6 (Guayacán corte simple).
- Para el caso de las uniones con doble plano de corte, las probetas PD5-6 (Guayacán) son mayores en un 2% respecto a las probetas PD1-2 (Chanul), y en un 59% en relación a las probetas PD3-4 (Mascarey). Esto indica que, como era de esperarse, la rigidez es proporcional a la densidad de la madera, es decir, a mayor densidad mayor rigidez.
- En el caso de las probetas a corte simple, la rigidez del chanul fue mayor que la del guayacán, debido a que sus secciones son menores.

- En lo referente al factor de seguridad, se consideró como lo más adecuado utilizar un valor igual a 4. Esto se debe a que si se toma el criterio de restringir la deformación a 1.5 mm, se obtiene un factor medio de 2.3 (ver tabla 4.4), lo cual por razones de seguridad debido a los resultados obtenidos teóricamente, y además considerando que la madera es un material heterogéneo, no sería adecuado.
- De los resultados experimentales para la carga en el límite elástico y en el punto máximo (ver tabla 3.6), se concluye que estos valores dependen del espesor de los elementos y del tipo de madera utilizada.
- Los factores de seguridad medios para la “JUNAC” y para la “NDS for Wood Construction” son 4.5 y 3.7 respectivamente, lo cual indica que en este caso la primera tiene un criterio más conservador.
- Para el caso del “Eurocódigo 5” no se puede hacer el mismo análisis ya que éste trabaja con cargas nominales (que no están afectadas por un factor de seguridad), pero como se observa en la tabla 4.1, los resultados experimentales en el límite elástico son similares a los obtenidos mediante las recomendaciones de este código.

5.2.2 CONEXIONES TIPO “BULLDOG”

- De la tabla 3.19 rigidez de las probetas tipo “bulldog”, y de la tabla 3.7 rigidez de las uniones con pernos, se observa que en general ésta se incrementa para las primeras con respecto a las que solo utilizan perno, a excepción de la probeta BS1-2 la cual disminuye con respecto a la conexión empernada. Esto es atribuible a las características heterogéneas de la madera.
- Se consideró como lo más adecuado utilizar un factor de seguridad de 4, puesto que con el criterio de restringir la deformación a 1.5 mm se obtiene un factor medio de 2.7 (ver tabla 4.8), lo cual, debido a las razones mencionadas anteriormente no sería correcto.

- En la tabla 4.6 se puede observar que los resultados experimentales en el límite elástico en términos generales son menores a los valores nominales (sin factor de seguridad) obtenidos en base a los criterios del “Eurocódigo 5”. Esto se justifica debido a que los materiales y las dimensiones del conector difieren de los presentados en las recomendaciones de esta norma.
- En la tablas 4.17 a la 4.22 se puede verificar que la carga en el límite elástico para las probetas BS1-2, BS3-4 y BS5-6 se incrementaron en un 22%, 67% y 41% respectivamente, en relación a las uniones en las que solo se utilizó el perno.
- Para el caso de corte doble, en las probetas BD1-2, BD3-4 y BD 5-6 se registró un incremento del 13%, 40% y 15% respectivamente, en relación a las conexiones empernadas. Esto es atribuible en su totalidad al uso del conector especial.

5.2.3 CONEXIONES TIPO “APPEL”

- De la tabla 3.30 rigidez de las probetas tipo “Appel” y de la tabla 3.7 rigidez de las conexiones con pernos, se observa que en general ésta se incrementa en las uniones con el conector especial, respecto a las conexiones empernadas.
- Se consideró como criterio más adecuado utilizar un factor de seguridad de 4, por las razones mencionadas anteriormente.
- En la tabla 4.10 se puede observar que los valores experimentales de carga en el límite elástico son, en términos generales, menores a los valores nominales (sin factor de seguridad) obtenidos en base a los criterios del “Eurocódigo 5”. Esto se justifica debido a que los materiales y las dimensiones de los conectores difieren de los presentados en las recomendaciones de esta norma.
- En las tablas 4.17 a la 4.22 se puede verificar que la carga en el límite elástico para las probetas APS1-2, APS3-4 y APS5-6 se incrementaron en

156 %, 144% y 136% respectivamente, en relación a las uniones en las que solo se utilizó el perno.

- Para el caso de corte doble, en las probetas APD1-2, APD3-4 y APD5-6 se registró un incremento del 124%, 150% y 208% respectivamente, en relación a las conexiones empernadas. Esto es atribuible en su totalidad al uso del conector especial.

5.2.4 CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”

- De la tabla 3.41 rigidez de las probetas tipo “Alligator” y de la tabla 3.7 rigidez de las conexiones con pernos, se observa que en general ésta se incrementa para las primeras, con respecto a las probetas que solo utilizan pernos.
- En lo referente al factor de seguridad que se consideró como lo más adecuado utilizar un valor igual a 4. Esto se debe a que con el criterio de restringir la deformación a 1.5 mm se obtiene un factor medio de 2.4 (ver tabla 4.15), el cual por razones de seguridad, en base a los resultados obtenidos teóricamente por la norma DIN, y al tratarse de un material heterogéneo como la madera, no sería correcto.
- En las tablas 4.17 a la 4.22 se puede verificar que la carga en el límite elástico para las probetas ALS1-2, ALS3-4 y ALS5-6, se incrementaron en 122%, 200% y 218% respectivamente, en relación a las conexiones empernadas.
- Para el caso de corte doble, en las probetas ALD1-2, ALD3-4 y ALD5-6 se registraron incrementos del 84%, 150% y 131% respectivamente. Esto es atribuible en su totalidad al uso del conector.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION.(2001). National Design Specification for Wood Construction. Estados Unidos.

DÍAZ, P. (2005). Tesis, Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera proveniente de la zona de Cauquenes. Talca: Universidad de Talca.

NORMA ESPAÑOLA. (2006). Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1. Madrid: AENOR.
SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera. Madrid: MADERIA.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1983). Norma Técnica Ecuatoriana 1 160 Maderas Determinación del contenido de humedad. Quito.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (1983). Norma Técnica Ecuatoriana 1 162 Maderas Determinación de la densidad básica. Quito.

DEUTSCHE NORMEN. (1969). DIN Code 1052. Alemania.

OBANDO, L., TINOCO, L. (1993). Tesis, Estudio experimental de conexiones de madera estructural sujeta a carga axial. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

PADT REFORT. (1984). Manual de diseño para maderas del Grupo Andino. Lima: Junta del Acuerdo de Cartagena.

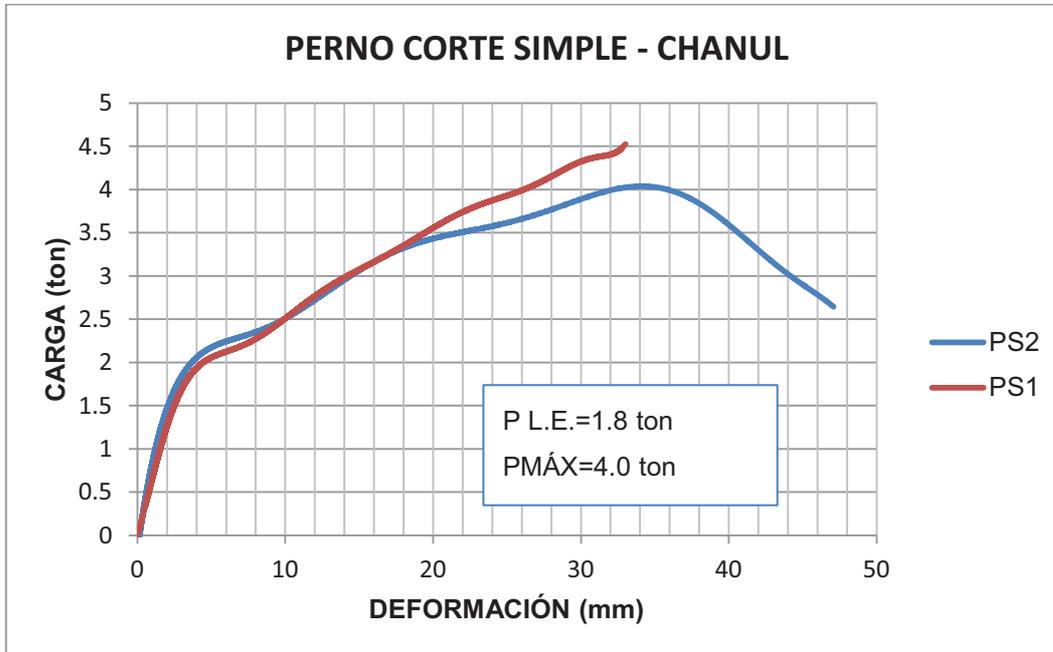
VINTIMILLA, J. Curso, Ingeniería de las construcciones de madera. Quito.

ANEXOS

ANEXO No 1

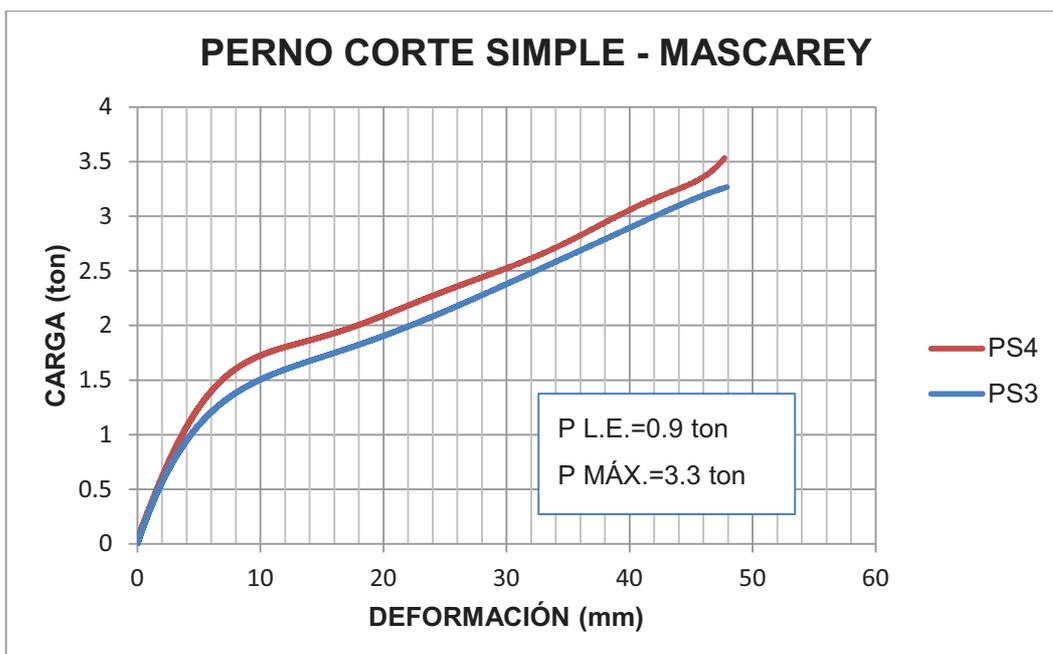
**GRÁFICAS DE CARGA VS DEFORMACIÓN PARA LAS
PROBETAS A COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA**

GRÁFICO 1



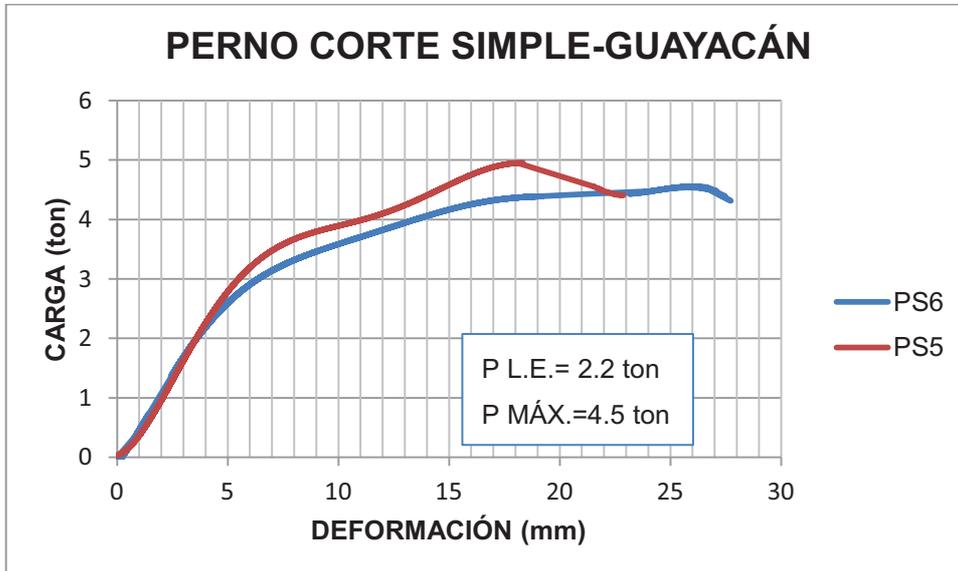
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

GRÁFICO 2



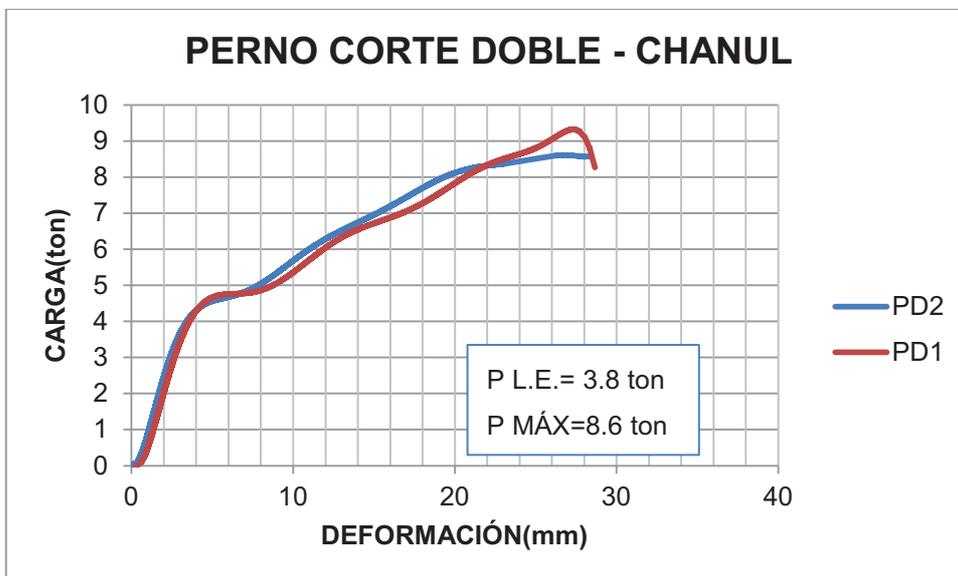
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

GRÁFICO 3



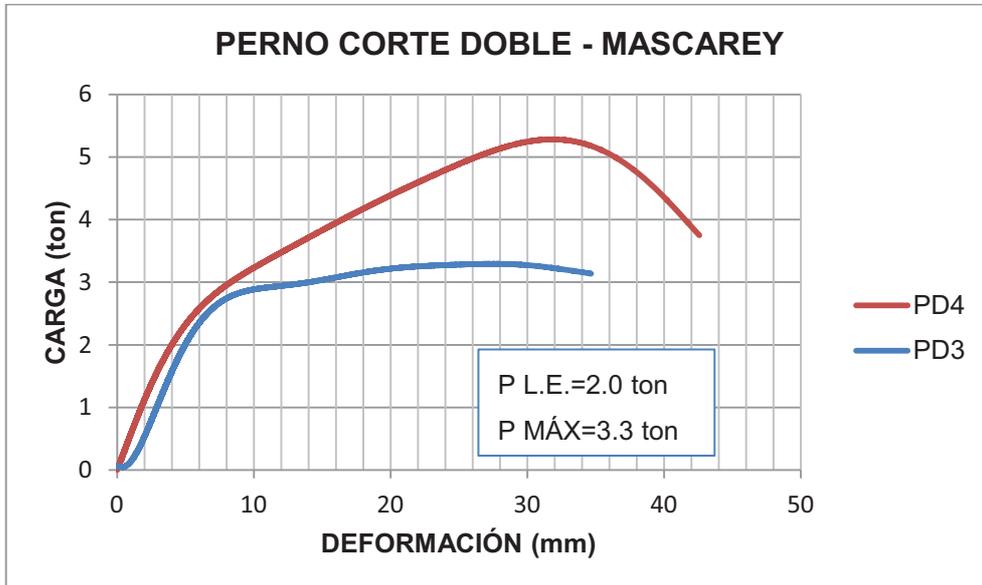
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 4



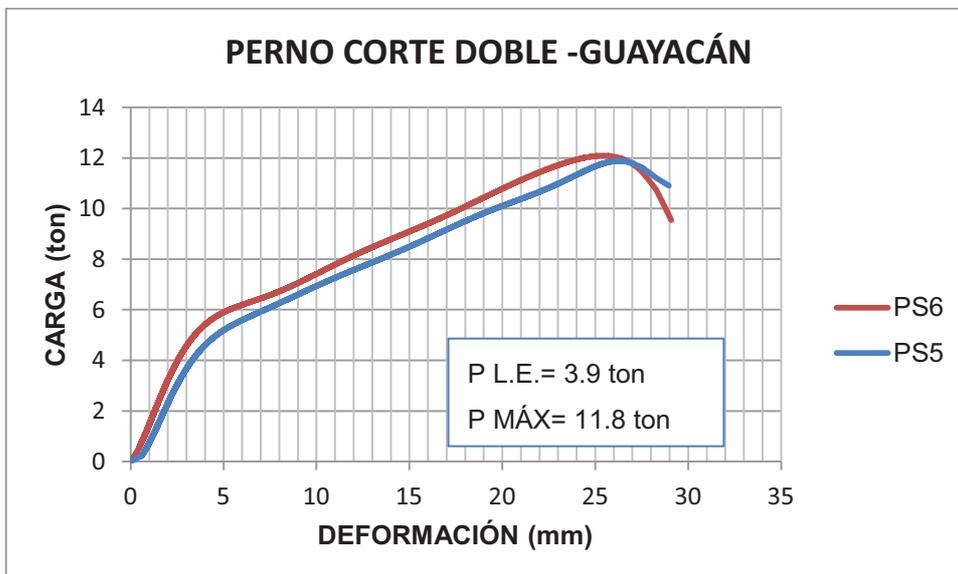
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 5



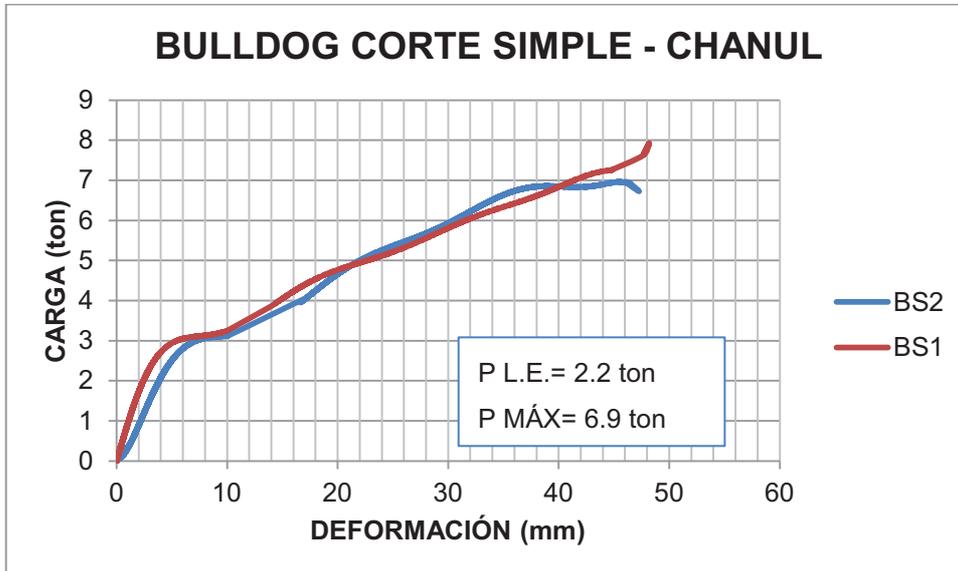
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 6



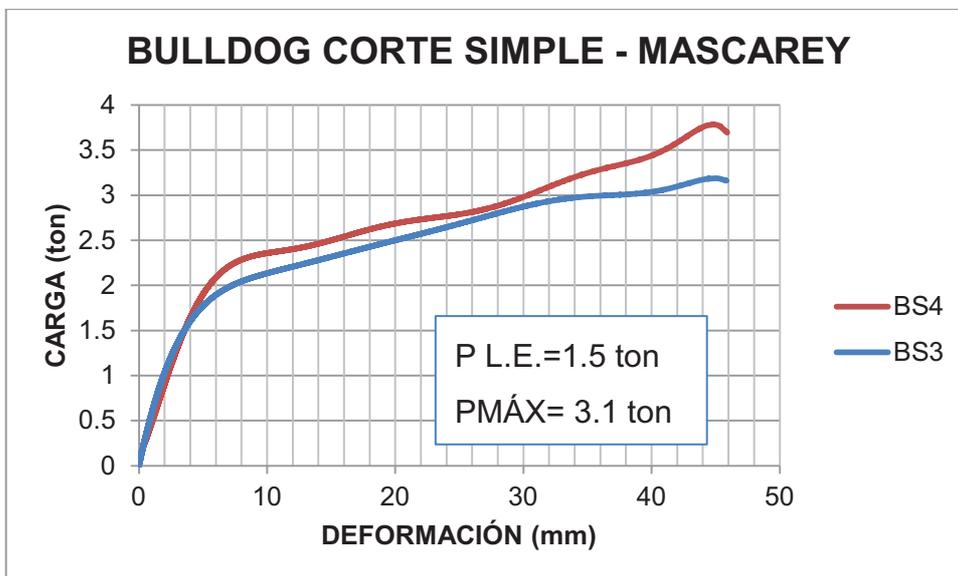
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 7



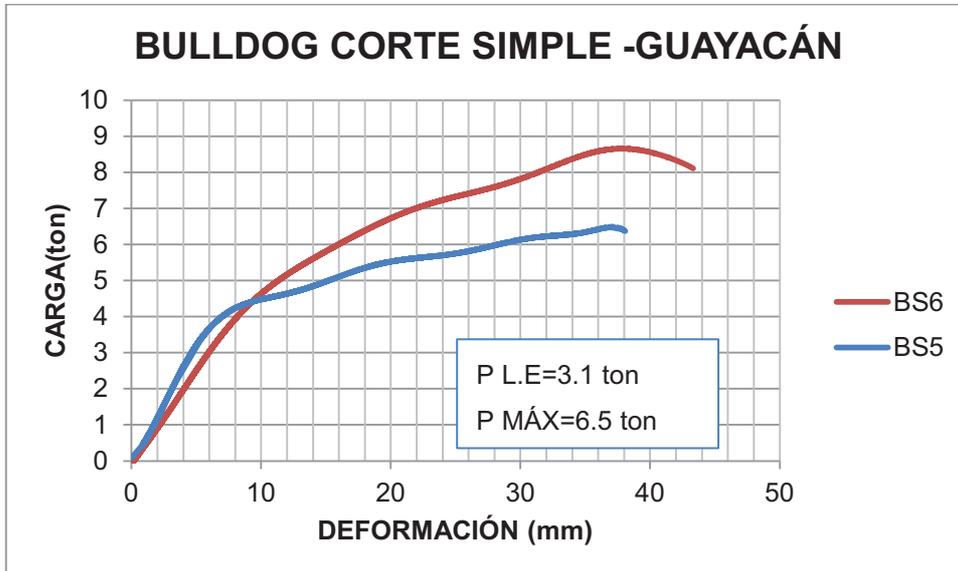
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 8



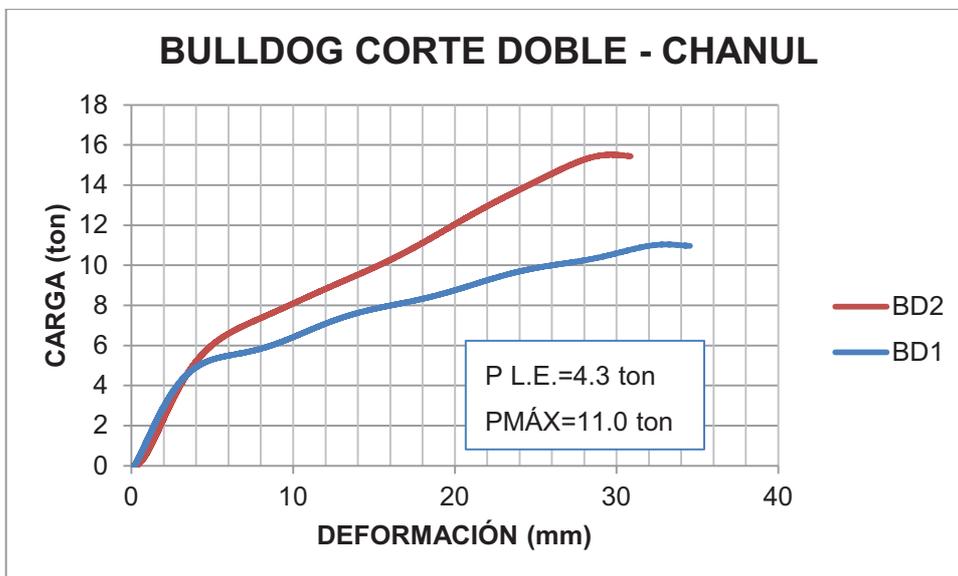
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 9



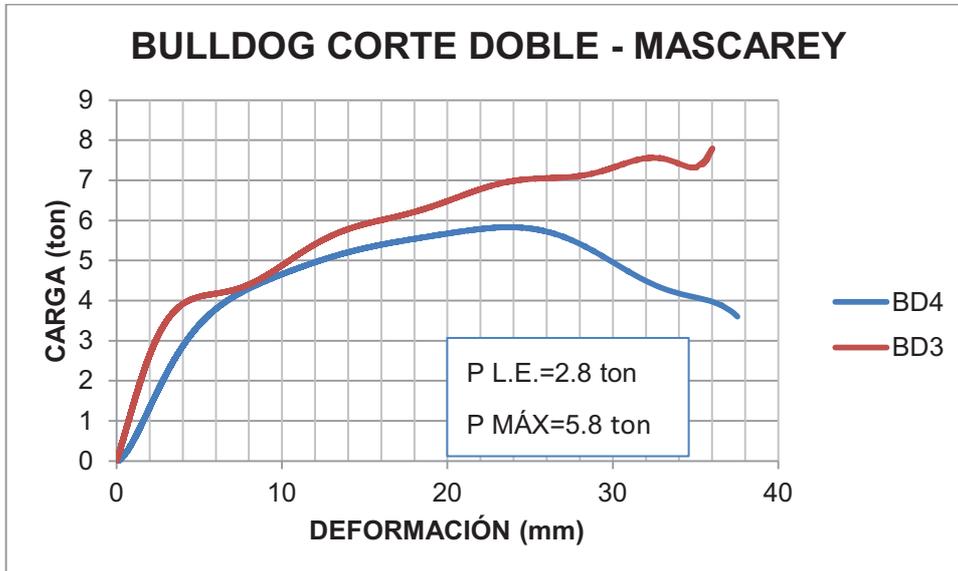
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 10



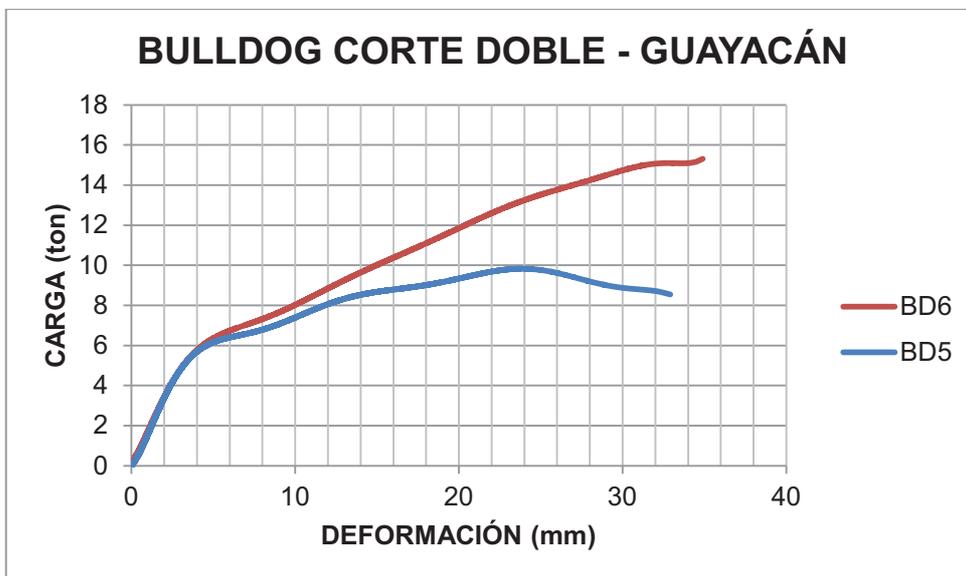
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 11



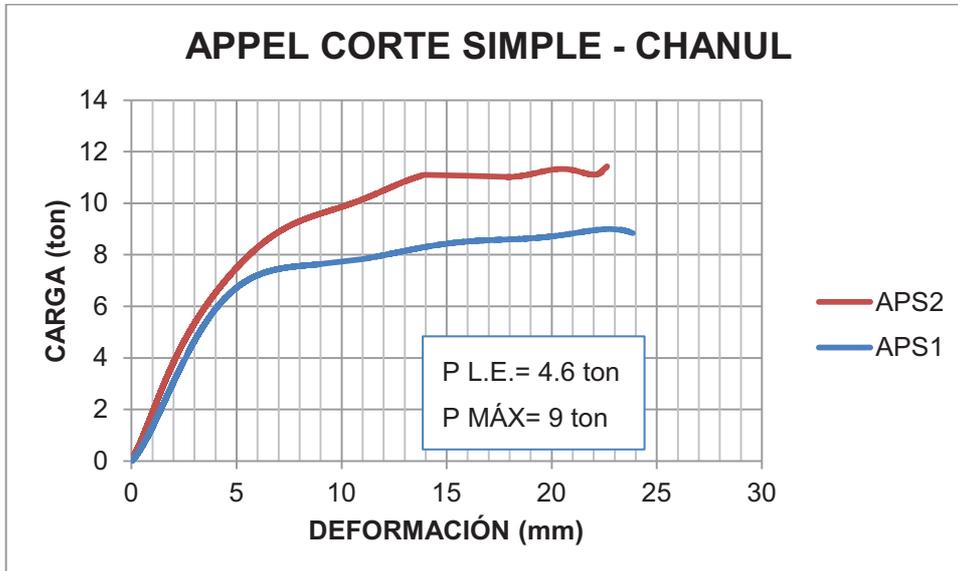
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 12



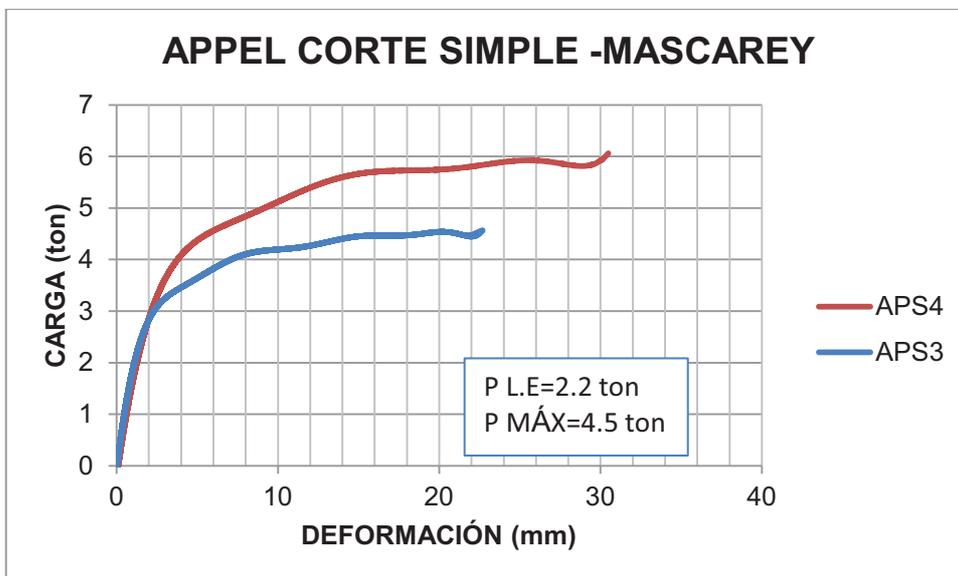
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 13



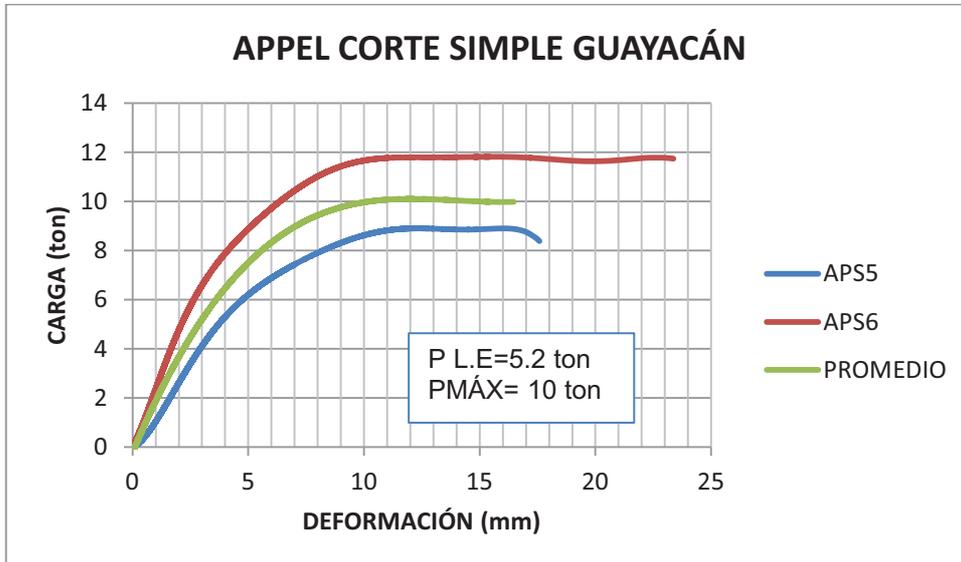
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 14



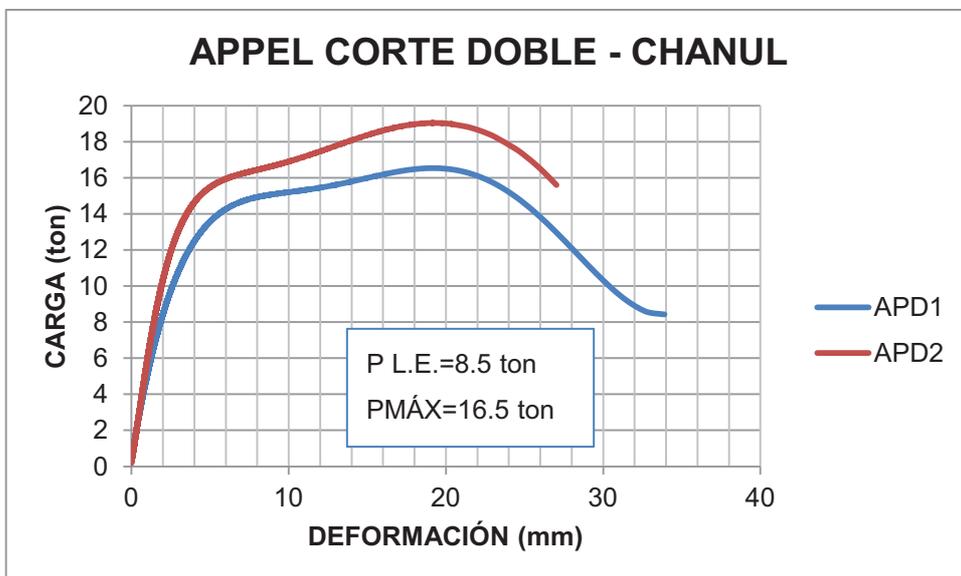
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 15



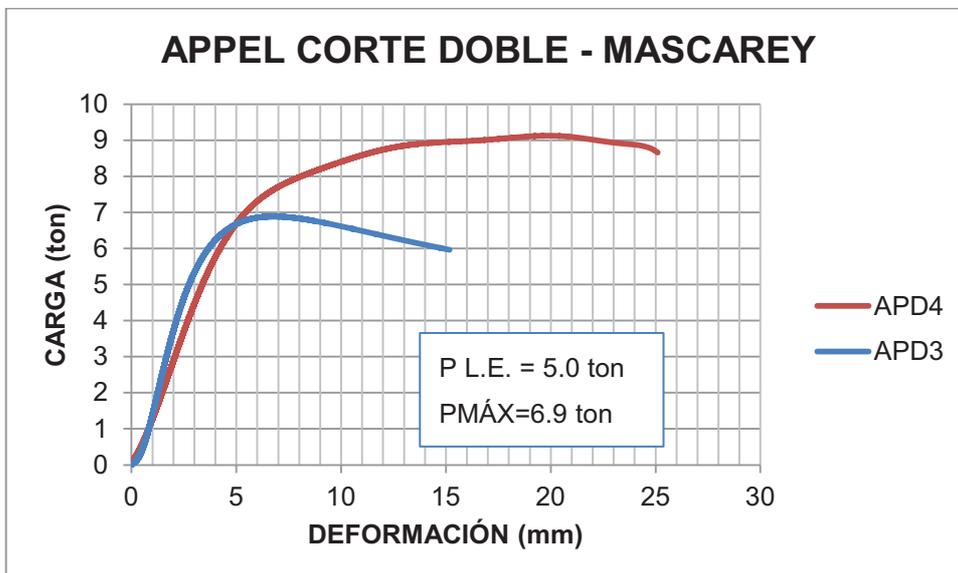
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 16



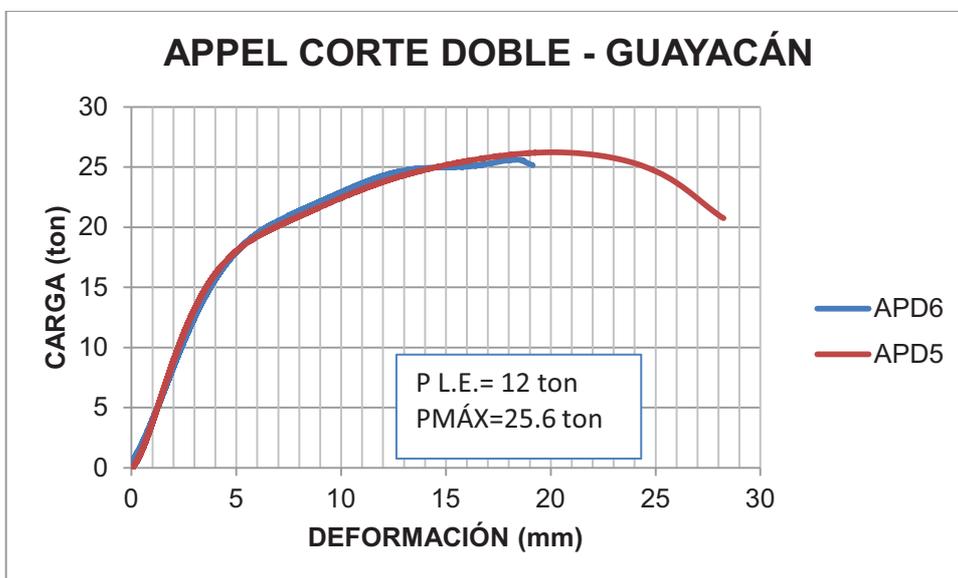
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 17



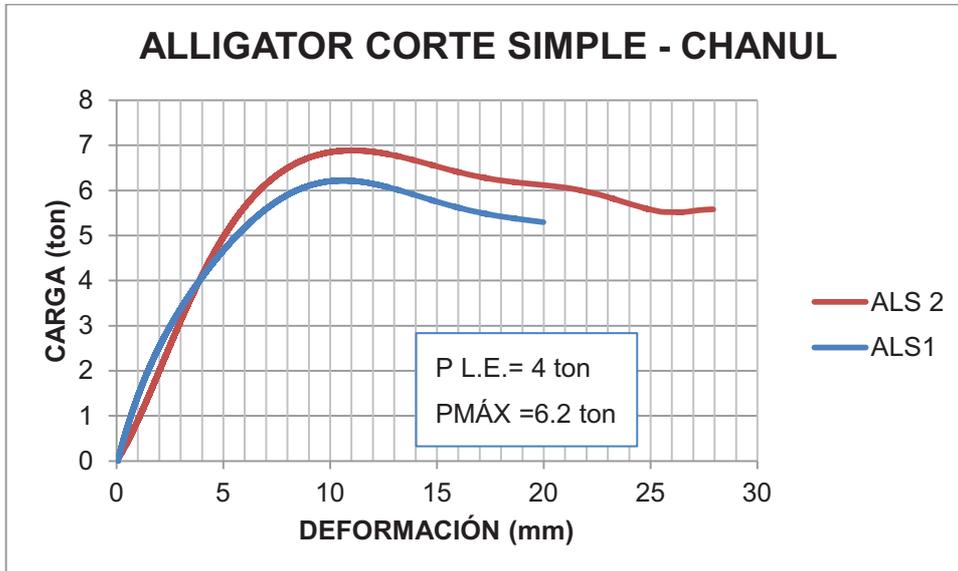
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 18



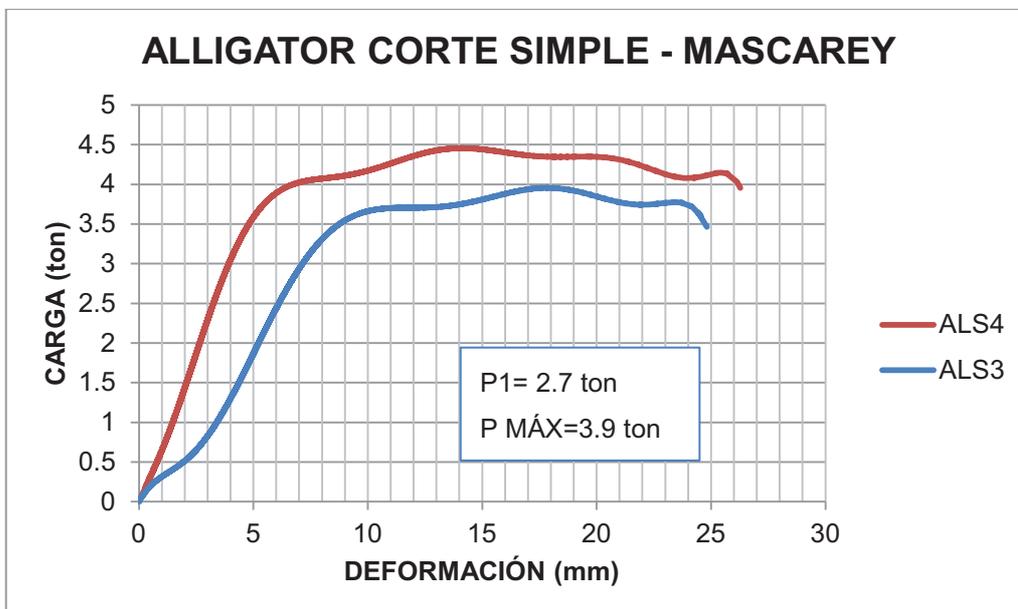
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 19



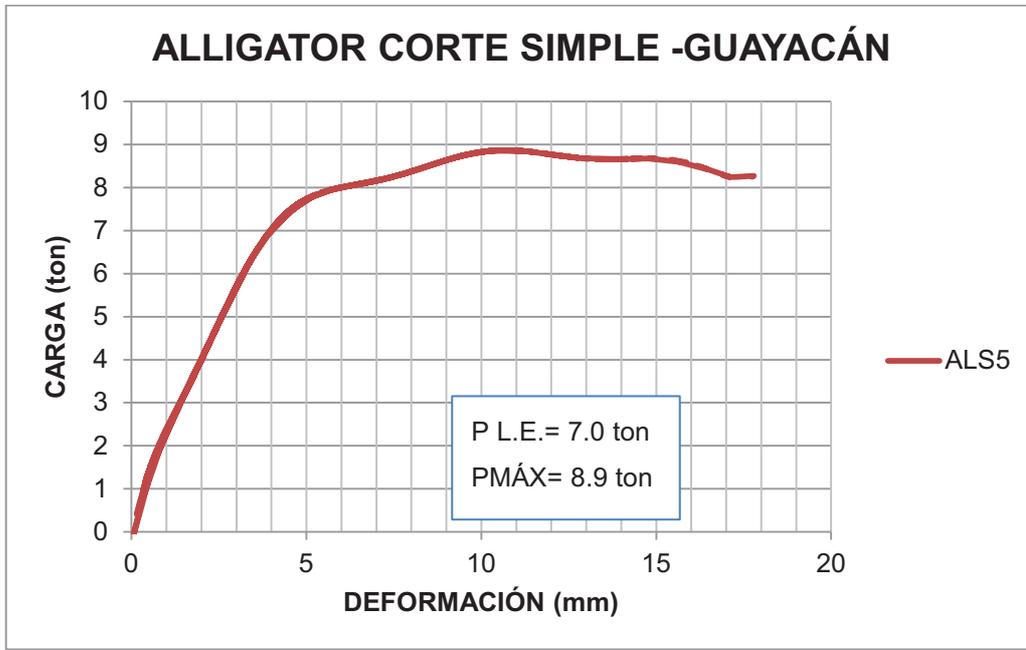
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 20



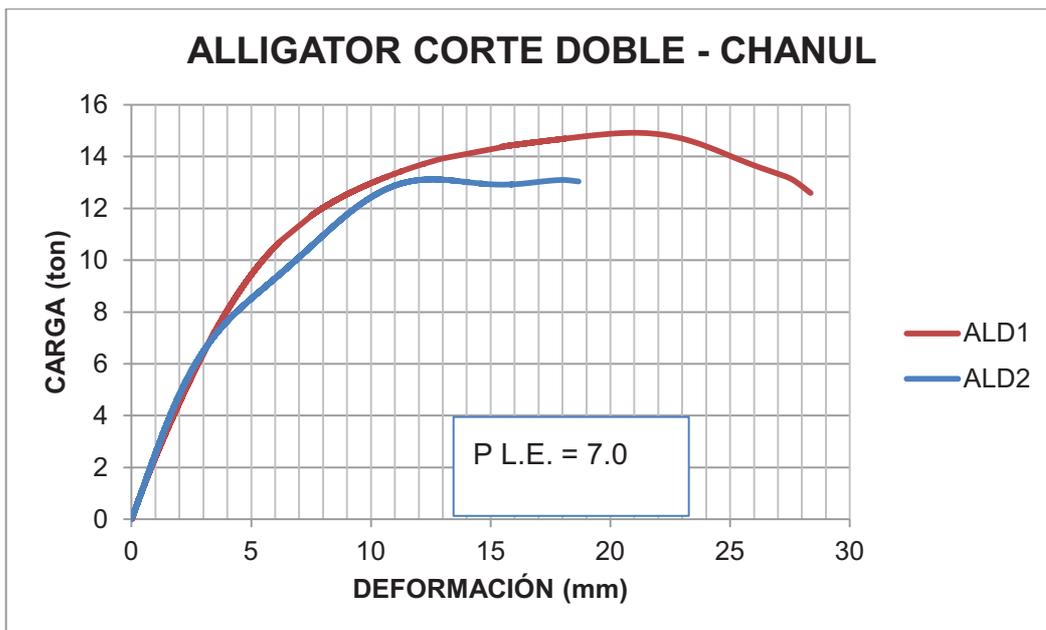
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 21



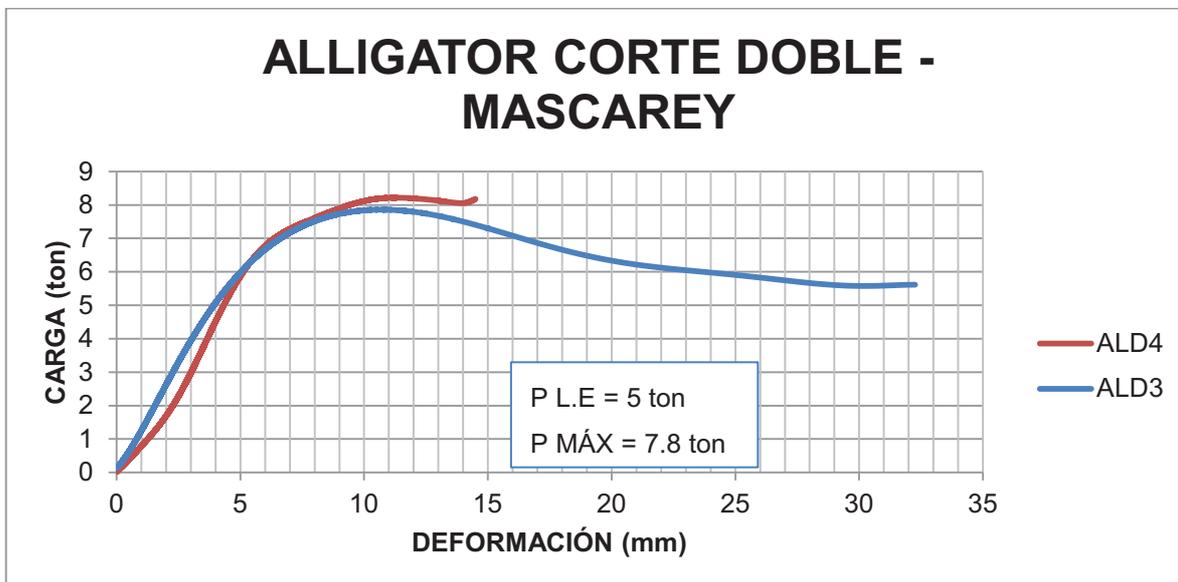
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 22



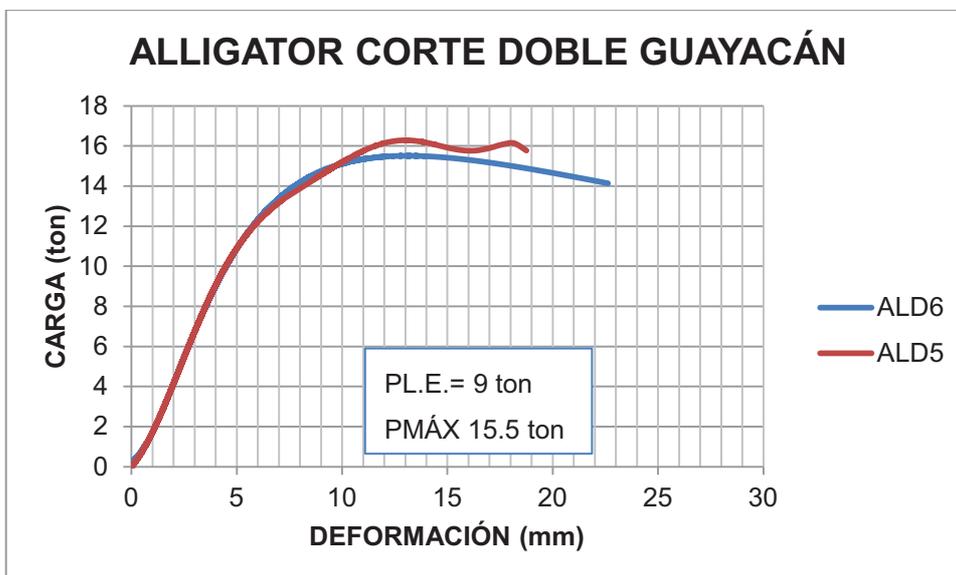
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 23



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

GRÁFICO 24



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

ANEXO No 2
VALORES DE DISEÑO Z PARA CORTE SIMPLE Y
CORTE DOBLE SEGÚN LA “NDS FOR WOOD
CONSTRUCTION”

CUADRO 1: VALORES DE DISEÑO Z, PARA CORTE SIMPLE

ESPESOR	MIEMBRO DEL PERNO		D in.	G=0.67			G=0.55			G=0.50			G=0.49			G=0.46					
	MIEMBRO PRINCIPAL t _m in.	MIEMBRO SECUNDARIO t _s in.		Z lbs.	Z _s lbs.	Z _m lbs.															
			1/2	650	420	420	330	330	250	480	300	300	220	470	290	290	210	440	270	270	190
			5/8	810	500	500	400	400	280	600	360	360	240	590	350	350	240	560	320	320	220
	1 1/2	1 1/2	3/4	970	580	580	460	460	310	720	420	420	270	710	400	400	260	670	380	380	240
			7/8	1130	660	660	520	520	330	850	470	470	290	830	460	460	280	780	420	420	250
			1	1290	740	740	580	580	350	970	530	530	310	950	510	510	300	890	480	480	280
			1/2	760	490	490	390	390	290	560	350	350	250	550	340	340	250	520	320	320	230
			5/8	940	590	590	430	430	330	700	420	420	280	690	410	410	280	650	380	380	250
	1 3/4	1 3/4	3/4	1130	680	680	540	540	360	850	480	480	310	830	470	470	300	780	440	440	280
			7/8	1320	770	770	610	610	390	990	550	550	340	970	530	530	320	910	500	500	300
			1	1510	860	860	680	680	410	1130	610	610	360	1110	600	600	350	1040	560	560	320
			1/2	770	480	480	440	440	350	660	400	420	310	610	370	370	300	580	340	330	270
			5/8	1070	660	630	520	520	390	850	520	430	340	830	520	420	330	780	470	390	300
	1 1/2	1 1/2	3/4	1360	890	720	570	570	430	1020	590	500	380	1000	560	480	360	940	520	450	330
			7/8	1590	960	800	620	620	470	1190	630	550	410	1170	600	540	390	1090	550	500	360
			1	1820	1020	870	660	660	490	1360	680	610	440	1330	650	590	420	1250	600	550	390

CUADRO 1: CONTINUACIÓN

ESPOSOR		G=0.67			G=0.55			G=0.50			G=0.49			G=0.46				
MIEMBRO PRINCIPAL	MIEMBRO SECUNDARIO	DIAMETRO DEL PERNO																
t _m in.	t _s in.	Z lbs.	Z ⊥ lbs.	Z _s ⊥ lbs.	Z _m ⊥ lbs.	Z lbs.	Z ⊥ lbs.	Z _s ⊥ lbs.	Z _m ⊥ lbs.	Z lbs.	Z ⊥ lbs.	Z _s ⊥ lbs.	Z _m ⊥ lbs.	Z lbs.	Z ⊥ lbs.	Z _s ⊥ lbs.	Z _m ⊥ lbs.	
		1/2	770	480	560	440	660	400	470	360	610	370	430	330	610	360	420	320
		5/8	1070	660	760	590	940	560	620	500	880	520	540	460	870	520	530	450
	1 1/2	3/4	1450	890	900	770	1270	660	690	580	1200	590	610	510	1190	560	590	490
		7/8	1890	960	990	830	1680	720	770	630	1590	630	680	550	1570	600	650	530
		1	2410	1020	1080	890	2010	770	830	670	1830	680	740	590	1790	650	710	560
		1/2	830	510	590	480	720	420	510	390	670	380	470	350	660	380	460	340
		5/8	1160	680	820	620	1000	580	640	520	930	530	560	460	920	530	550	450
	1 3/4	3/4	1530	900	940	780	1330	770	720	580	1250	680	640	520	1240	660	620	500
		7/8	1970	1120	1040	840	1730	840	810	640	1620	740	710	550	1590	700	690	530
		1	2480	1190	1130	900	2030	890	880	670	1850	790	780	590	1820	750	760	570
		1/2	830	590	590	530	750	520	520	460	720	490	490	430	710	480	480	420
		5/8	1290	880	880	780	1170	780	780	650	1120	700	700	560	1110	690	690	550
	3 1/2	3/4	1860	1190	1190	950	1690	960	960	710	1610	870	870	630	1600	850	850	600
		7/8	2540	1410	1410	1030	2170	1160	1160	780	1970	1060	1060	680	1940	1040	1040	650
		1	3020	1670	1670	1100	2480	1360	1360	820	2260	1230	1230	720	2210	1190	1190	690

CUADRO 1: CONTINUACIÓN

ESPOSOR		G=0.67					G=0.55					G=0.50					G=0.49					G=0.46				
MIEMBRO PRINCIPAL	MIEMBRO SECUNDARIO	DIAMETRO DEL PERNO		Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m		
		t _m	t _s																						in.	lbs.
5 1/4	1 1/2	5/8	1070	660	760	590	940	560	640	500	880	520	590	460	870	520	590	450	830	470	560	430	830	470	560	430
		3/4	1450	890	990	780	1270	660	850	660	1200	590	790	590	1190	560	780	560	1140	520	740	520	1140	520	740	520
		7/8	1890	960	1260	960	1680	720	1060	720	1590	630	940	630	1570	600	900	600	1520	550	830	550	1520	550	830	550
		1	2410	1020	1500	1020	2150	770	1140	770	2050	680	1010	680	2030	650	970	650	1930	600	910	600	1930	600	910	600
3 1/2	1 3/4	5/8	1290	880	880	780	1170	780	780	680	1120	700	730	630	1110	690	720	620	1070	650	690	580	1070	650	690	580
		3/4	1860	1190	1240	1080	1690	960	1090	850	1610	870	1030	780	1600	850	1010	750	1540	800	970	710	1540	800	970	710
		7/8	2540	1410	1640	1260	2300	1160	1380	1000	2190	1060	1230	870	2170	1040	1190	840	2060	980	1100	770	2060	980	1100	770
		1	3310	1670	1940	1420	2870	1390	1520	1060	2660	1290	1360	940	2630	1260	1320	900	2500	1210	1230	830	2500	1210	1230	830

CUADRO 1: CONTINUACIÓN

ESPOSOR		G=0.67			G=0.55			G=0.50			G=0.49			G=0.46				
MIEMBRO PRINCIPAL	MIEMBRO SECUNDARIO	DIAMETRO DEL PERNO			Z	Z _s	Z _m											
t _m	t _s	D	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	
in.	in.	in.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	
		5/8	1070	660	760	590	940	560	640	500	880	520	590	460	870	520	590	450
	1 1/2	3/4	1450	890	990	780	1270	660	850	660	1200	590	790	590	1190	560	780	560
		7/8	1890	960	1260	960	1680	720	1090	720	1590	630	980	630	1570	600	940	600
5 1/2		1	2410	1020	1560	1020	2150	770	1190	770	2050	680	1060	680	2030	650	1010	650
		5/8	1290	880	880	780	1170	780	780	680	1120	700	730	630	1110	690	720	620
	3 1/2	3/4	1860	1190	1240	1080	1690	960	1090	850	1610	870	1030	780	1600	850	1010	750
		7/8	2540	1410	1640	1260	2300	1160	1410	1020	2190	1060	1260	910	2170	1040	1220	870
		1	3310	1670	1980	1470	2870	1390	1550	1100	2660	1290	1390	970	2630	1260	1340	930
		5/8	1070	660	760	590	940	560	640	500	880	520	590	460	870	520	590	450
	1 1/2	3/4	1450	890	990	780	1270	660	850	660	1200	590	790	590	1190	560	780	560
		7/8	1890	960	1260	960	1680	720	1090	720	1590	630	1010	630	1570	600	990	600
7 1/2		1	2410	1020	1560	1020	2150	770	1350	770	2050	680	1270	680	2030	650	1240	650
		5/8	1290	880	880	780	1170	780	780	680	1120	700	730	630	1110	690	720	620
	3 1/2	3/4	1860	1190	1240	1080	1690	960	1090	850	1610	870	1030	780	1600	850	1010	750
		7/8	2540	1410	1640	1260	2300	1160	1450	1020	2190	1060	1360	930	2170	1040	1340	900
		1	3310	1670	2090	1470	2870	1390	1830	1210	2660	1290	1630	1110	2630	1260	1570	1080

Fuente: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction, (2001)

CUADRO 2: VALORES DE DISEÑO Z PARA CORTE DOBLE

ESPOSOR		MIEMBRO PRINCIPAL		MIEMBRO SECUNDARIO		DIAMETRO DEL PERNO		G=0.67			G=0.55			G=0.50			G=0.49			G=0.46		
t _m	t _s	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	Z	Z _⊥	
in.	in.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.
		1/2	1410	960	730	1150	800	550	1050	730	470	1030	720	460	970	680	420					
		5/8	1760	1310	810	1440	1130	610	1310	1040	530	1290	1030	520	1210	940	470					
1 1/2	1 1/2	3/4	2110	1690	890	1730	1330	660	1580	1170	590	1550	1130	560	1450	1040	520					
		7/8	2460	1920	960	2020	1440	720	1840	1260	630	1800	1210	600	1690	1100	550					
		1	2810	2040	1020	2310	1530	770	2100	1350	680	2060	1290	650	1930	1200	600					
		1/2	1640	1030	850	1350	850	640	1230	770	550	1200	750	530	1130	710	490					
		5/8	2050	1370	940	1680	1160	710	1530	1070	610	1500	1060	600	1410	1000	550					
1 3/4	1 3/4	3/4	2460	1810	1040	2020	1550	770	1840	1370	680	1800	1310	660	1690	1210	600					
		7/8	2870	2240	1120	2350	1680	840	2140	1470	740	2110	1410	700	1970	1290	640					
		1	3280	2380	1190	2690	1790	890	2450	1580	790	2410	1510	750	2250	1400	700					
		1/2	1530	960	1120	1320	800	910	1230	730	790	1210	720	760	1160	680	700					
		5/8	2150	1310	1340	1870	1130	1020	1760	1040	880	1740	1030	860	1660	940	780					
2 1/2	1 1/2	3/4	2890	1770	1480	2550	1330	1110	2400	1170	980	2380	1130	940	2280	1040	860					
		7/8	3780	1920	1600	3360	1440	1200	3060	1260	1050	3010	1210	1010	2820	1100	920					
		1	4690	2040	1700	3840	1530	1280	3500	1350	1130	3440	1290	1080	3220	1200	1000					

CUADRO 2: CONTINUACIÓN

ESPOSOR		G = 0.67			G = 0.55			G = 0.50			G = 0.49			G = 0.46			
MIEMBRO PRINCIPAL	MIEMBRO SECUNDARIO	DIAMETRO DEL PERNO			Z	Z _s	Z _m										
t _m	t _s	D	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m
in.	in.	in.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.
		1/2	1530	960	1120	1320	800	940	1230	730	860	1230	730	860	1160	680	810
		5/8	2150	1310	1510	1870	1130	1290	1760	1040	1190	1740	1030	1170	1660	940	1090
1	1/2	3/4	2890	1770	1980	2550	1330	1550	2400	1170	1370	2380	1130	1310	2280	1040	1210
		7/8	3780	1920	2240	3360	1440	1680	3180	1260	1470	3150	1210	1410	3030	1100	1290
		1	4820	2040	2380	4310	1530	1790	4090	1350	1580	4050	1290	1510	3860	1200	1400
		1/2	1660	1030	1180	1430	850	1030	1330	770	940	1310	750	920	1250	710	870
		5/8	2310	1370	1630	1990	1160	1380	1860	1070	1230	1840	1060	1200	1760	1000	1090
1	3/4	3/4	3060	1810	2070	2670	1550	1550	2510	1370	1370	2480	1310	1310	2370	1210	1210
		7/8	3940	2240	2240	3470	1680	1680	3270	1470	1470	3240	1410	1410	3110	1290	1290
		1	4960	2380	2380	4400	1790	1790	4170	1580	1580	4120	1510	1510	3970	1400	1400
		1/2	1660	1180	1180	1500	1040	1040	1430	970	970	1420	960	960	1370	920	920
		5/8	2590	1770	1770	2340	1560	1420	2240	1410	1230	2220	1390	1200	2150	1290	1090
3	1/2	3/4	3730	2380	2070	3380	1910	1550	3220	1750	1370	3190	1700	1310	3090	1610	1210
		7/8	5080	2820	2240	4600	2330	1680	4290	2130	1470	4210	2070	1410	3940	1960	1290
		1	6560	3340	2380	5380	2780	1790	4900	2580	1580	4810	2520	1510	4510	2410	1400

CUADRO 2: CONTINUACIÓN

ESPOSOR		MIEMBRO SECUNDARIO		MIEMBRO PRINCIPAL		DIAMETRO DEL PERNO			G=0.67			G=0.55			G=0.50			G=0.49			G=0.46		
t _m	t _s	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	
in.	in.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	
		5/8	2150	1310	1510	1870	1130	1290	1760	1040	1190	1740	1030	1170	1660	940	1110						
1 1/2		3/4	2890	1770	1980	2550	1330	1690	2400	1170	1580	2380	1130	1550	2280	1040	1480						
		7/8	3780	1920	2520	3360	1440	2170	3180	1260	2030	3150	1210	1990	3030	1100	1900						
		1	4820	2040	3120	4310	1530	2680	4090	1350	2360	4050	1290	2260	3860	1200	2100						
		5/8	2310	1370	1630	1990	1160	1380	1860	1070	1270	1840	1060	1250	1760	1000	1180						
5 1/4	1 3/4	3/4	3060	1810	2110	2670	1550	1790	2510	1370	1660	2480	1310	1630	2370	1210	1550						
		7/8	3940	2240	2640	3470	1680	2260	3270	1470	2100	3240	1410	2060	3110	1290	1930						
		1	4960	2380	3240	4400	1790	2680	4170	1580	2360	4120	1510	2260	3970	1400	2100						
		5/8	2590	1770	1770	2340	1560	1560	2240	1410	1460	2220	1390	1450	2150	1290	1390						
	3 1/2	3/4	3730	2380	2480	3380	1910	2180	3220	1750	2050	3190	1700	1970	3090	1610	1810						
		7/8	5080	2820	3290	4600	2330	2530	4390	2130	2210	4350	2070	2110	4130	1960	1930						
		1	6630	3340	3570	5740	2780	2680	5330	2580	2360	5250	2520	2260	4990	2410	2100						

CUADRO 2: CONTINUACIÓN

ESPOSOR		DIAMETRO DEL PERNO	G=0.67			G=0.55			G=0.50			G=0.49			G=0.46		
MIEMBRO PRINCIPAL	MIEMBRO SECUNDARIO		Z	Z _s	Z _m												
t _m	t _s	D	lbs.	lbs.	lbs.												
5 1/2	1 1/2	5/8	2150	1310	1510	1870	1130	1290	1760	1040	1190	1740	1030	1170	1660	940	1110
		3/4	2890	1770	1980	2550	1330	1690	2400	1170	1580	2380	1130	1550	2280	1040	1480
5 1/2	3 1/2	7/8	3780	1920	2520	3360	1440	2170	3180	1260	2030	3150	1210	1990	3030	1100	1900
		1	4820	2040	3120	4310	1530	2700	4090	1350	2480	4050	1290	2370	3860	1200	2200
7 1/2	1 1/2	5/8	2590	1770	1770	2340	1560	1560	2240	1410	1460	2220	1390	1450	2150	1290	1390
		3/4	3730	2380	2480	3380	1910	2180	3220	1750	2050	3190	1700	2020	3090	1610	1900
7 1/2	3 1/2	7/8	5080	2820	3290	4600	2330	2650	4390	2130	2310	4350	2070	2210	4130	1960	2020
		1	6630	3340	3740	5740	2780	2810	5330	2580	2480	5250	2520	2370	4990	2410	2200
7 1/2	1 1/2	5/8	2150	1310	1510	1870	1130	1290	1760	1040	1190	1740	1030	1170	1660	940	1110
		3/4	2890	1770	1980	2550	1330	1690	2400	1170	1580	2380	1130	1550	2280	1040	1480
7 1/2	3 1/2	7/8	3780	1920	2520	3360	1440	2170	3180	1260	2030	3150	1210	1990	3030	1100	1900
		1	4820	2040	3120	4310	1530	2700	4090	1350	2530	4050	1290	2480	3860	1200	2390
7 1/2	1 1/2	5/8	2590	1770	1770	2340	1560	1560	2240	1410	1460	2220	1390	1450	2150	1290	1390
		3/4	3730	2380	2480	3380	1910	2180	3220	1750	2050	3190	1700	2020	3090	1610	1940
7 1/2	3 1/2	7/8	5080	2820	3290	4600	2330	2890	4390	2130	2720	4350	2070	2670	4130	1960	2560
		1	6630	3340	4190	5740	2780	3680	5330	2580	3380	5250	2520	3230	4990	2410	3000

CUADRO 2: CONTINUACIÓN

ESPESOR		G= 0.43			G=0.42			G=0.37			G=0.36			G=0.35			
MIEMBRO PRINCIPAL	MIEMBRO SECUNDARIO	DIAMETRO DEL PERNO			Z lbs.	Z _s lbs.	Z _m lbs.										
		D	t _s	t _m													
		1/2	900	650	380	880	640	370	780	580	310	760	560	290	730	550	290
		5/8	1130	840	420	1100	830	410	970	690	350	950	660	330	910	640	320
1 1/2	1 1/2	3/4	1350	920	460	1320	900	450	1170	740	370	1140	720	360	1100	700	350
		7/8	1580	1000	500	1540	970	490	1360	810	410	1330	790	390	1280	740	370
		1	1800	1080	540	1760	1050	530	1560	870	440	1520	840	420	1460	810	410
		1/2	1050	670	450	1030	660	430	910	590	360	890	580	340	850	570	330
		5/8	1310	950	490	1290	940	480	1130	810	400	1110	770	380	1070	740	370
1 3/4	1 3/4	3/4	1580	1080	540	1540	1050	530	1360	870	430	1330	840	420	1280	810	410
		7/8	1840	1160	580	1800	1130	570	1590	950	470	1550	920	460	1490	860	430
		1	2100	1260	630	2060	1230	610	1820	1020	510	1770	980	490	1710	950	470
		1/2	1100	650	640	1080	640	610	990	580	510	980	560	490	950	550	480
		5/8	1590	840	700	1570	830	690	1450	690	580	1430	660	550	1390	640	530
2 1/2	1 1/2	3/4	2190	920	770	2160	900	750	1950	740	620	1900	720	600	1830	700	580
		7/8	2630	1000	830	2570	970	810	2270	810	680	2210	790	660	2130	740	610
		1	3000	1080	900	2940	1050	880	2590	870	730	2530	840	700	2440	810	680

CUADRO 2: CONTINUACIÓN

ESPOSOR		G= 0.43			G=0.42			G=0.37			G=0.36			G=0.35			
MIEMBRO PRINCIPAL	MIEMBRO SECUNDARIO	DIAMETRO DEL PERNO			Z	Z _s	Z _m										
t _m	t _s	D	lbs.	in.	lbs.	lbs.	lbs.										
3 1/2	1 1/2	1/2	1100	650	760	1080	640	740	990	580	670	980	560	660	950	550	640
		5/8	1590	840	980	1570	830	960	1450	690	810	1430	660	770	1390	640	740
		3/4	2190	920	1080	2160	900	1050	2010	740	870	1990	720	840	1940	700	810
		7/8	2920	1000	1160	2880	970	1130	2690	810	950	2660	790	920	2560	740	860
		1	3600	1080	1260	3530	1050	1230	3110	870	1020	3040	840	980	2930	810	950
3 1/2	1	1/2	1180	670	820	1160	660	800	1060	590	720	1040	580	680	1010	570	670
		5/8	1670	950	980	1650	940	960	1510	810	810	1490	770	770	1450	740	740
		3/4	2270	1080	1080	2240	1050	1050	2070	870	870	2040	840	840	1990	810	810
		7/8	2980	1160	1160	2950	1130	1130	2740	950	950	2700	920	920	2640	860	860
		1	3820	1260	1260	3770	1230	1230	3520	1020	1020	3480	980	980	3410	950	950
3 1/2	1	1/2	1330	880	880	1310	870	860	1230	800	720	1220	780	680	1200	760	670
		5/8	2070	1190	980	2050	1170	960	1930	1030	810	1900	1000	770	1870	970	740
		3/4	2980	1490	1080	2950	1460	1050	2720	1290	870	2660	1270	840	2560	1240	810
		7/8	3680	1840	1160	3600	1810	1130	3180	1640	950	3100	1610	920	2990	1550	860
		1	4200	2280	1260	4110	2240	1230	3630	2030	1020	3540	1960	980	3410	1890	950

CUADRO 2: CONTINUACIÓN

ESPOSOR		MIEMBRO SECUNDARIO		DIAMETRO DEL PERNO		G=0.43			G=0.42			G=0.37			G=0.36			G=0.35		
t _m	t _s	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	
in.	in.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.
5 1/4	1 1/2	5/8	1590	840	1050	1570	830	1040	1450	690	940	1430	660	920	1390	640	900	1990	720	1230
		3/4	2190	920	1400	2160	900	1380	2010	740	1250	1990	720	1230	1940	700	1210	2660	790	1380
		7/8	2920	1000	1750	2880	970	1700	2690	810	1420	2660	790	1380	2560	740	1290	3040	840	1470
		1	3600	1080	1890	3530	1050	1840	3110	870	1520	3040	840	1470	2930	810	1420	1490	770	970
3 1/2	1 3/4	5/8	2070	1190	1320	2050	1170	1310	1930	1030	1210	1900	1000	1150	1870	970	1120	2740	1270	1260
		3/4	2980	1490	1610	2950	1460	1580	2770	1290	1300	2740	1270	1260	2660	1240	1220	3480	980	1470
		7/8	3900	1840	1750	3840	1810	1700	3480	1640	1420	3410	1610	1380	3320	1550	1290	4240	2030	1520
		1	4730	2280	1890	4660	2240	1840	4240	2030	1520	4170	1960	1470	4050	1890	1420	1930	1030	1210

CUADRO 2: CONTINUACIÓN

ESESOR		MIEMBRO PRINCIPAL		MIEMBRO SECUNDARIO		DIAMETRO DEL PERNO		G=0.43		G=0.42		G=0.37		G=0.36		G=0.35				
t _m	t _s	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	Z	Z _s	Z _m	
in.	in.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.	lbs.
		5/8	1590	840	1050	1570	830	1040	1450	690	940	1430	660	920	1390	640	900			
	1 1/2	3/4	2190	920	1400	2160	900	1380	2010	740	1250	1990	720	1230	1940	700	1210			
		7/8	2920	1000	1800	2880	970	1780	2690	810	1490	2660	790	1440	2560	740	1350			
5 1/2		1	3600	1080	1980	3530	1050	1930	3110	870	1600	3040	840	1540	2930	810	1490			
		5/8	2070	1190	1320	2050	1170	1310	1930	1030	1210	1900	1000	1180	1870	970	1160			
	3 1/2	3/4	2980	1490	1690	2950	1460	1650	2770	1290	1360	2740	1270	1320	2660	1240	1280			
		7/8	3900	1840	1830	3840	1810	1780	3480	1640	1490	3410	1610	1440	3320	1550	1350			
		1	4730	2280	1980	4660	2240	1930	4240	2030	1600	4170	1960	1540	4050	1890	1490			
		5/8	1590	840	1050	1570	830	1040	1450	690	940	1430	660	920	1390	640	900			
	1 1/2	3/4	2190	920	1400	2160	900	1380	2010	740	1250	1990	720	1230	1940	700	1210			
		7/8	2920	1000	1800	2880	970	1780	2690	810	1630	2660	790	1600	2560	740	1550			
7 1/2		1	3600	1080	2270	3530	1050	2240	3110	870	2040	3040	840	2010	2930	810	1970			
		5/8	2070	1190	1320	2050	1170	1310	1930	1030	1210	1900	1000	1180	1870	970	1160			
	3 1/2	3/4	2980	1490	1850	2950	1460	1820	2770	1290	1670	2740	1270	1650	2660	1240	1620			
		7/8	3900	1840	2450	3840	1810	2420	3480	1640	2030	3410	1610	1970	3320	1550	1840			
		1	4730	2280	2700	4660	2240	2630	4240	2030	2180	4170	1960	2100	4050	1890	2030			

Fuente: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction. (2001)

ANEXO No 3

**GRUPOS DE ESPECIES ESTUDIADAS EN EL PADT-
REFORT PARA MADERA ESTRUCTURAL Y
CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DE ACUERDO A SU
DENSIDAD BÁSICA**

CUADRO 3: GRUPOS DE MADERA ESTRUCTURAL

PAÍS	GRUPO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
BOLIVIA	A	Almendrillo Curupau	Taraleaoppositifolia Piptadenia grata
	B	Coquino Mururé Verdolago	Ardisia cubana Clarisiaracemosa Terminalia amazonia
	C	Palo maría Yesquero	Calophyllum brasiliense Carinianaestrellensis
COLOMBIA	A	Chanul Chaquiro Oloroso	Humiristrumprocerum Goupia glabra Humiriabalsaminifera
	B	Machare Nato Pantano	Symphoniaglobulifera Mora megistosperma Hieronymachocoensis
	C	Aceite mario Carrá Dormilón Mora Sande Tangare	Calophyllummariae Huberodendronpatinoi Pentaclethramacroloba Clarisiaracemosa Brosimumutile Carapa guianensis
ECUADOR	A	Caimitillo Guayacán pechiche	Chrysophyllumcainito Minquartiaguianensis
	B	Chanul Moral fino Pituca	Humiristrumprocerum Chlorophoratinctoria Clarisiaracemosa
	C	Fernansánchez Mascarey Sande	Triplarisguayaquilensis Hieronymachocoensis Brosimumutile
PERÚ	A	Estoraque Palo sangre negro Pumaquiro	Myroxylonperuiferum Pterocarpussp. Aspidospermamacrocarpon
	B	Huayruro Manchinga	Ormosiacoccinea Brosimumuleanum
	C	Catahua amarilla Copaiba Diablo fuerte Tornillo	Hura crepitans Copaiferaofficinalis Podocarpussp. Cadrelingacatenaeformis
VENEZUELA	A	Algarrobo Mora Perhuétamo Zapatero	Hymenaeacourbaril Mora gonggrijpii Mouribarinensis Peltogyneporphyrecardia
VENEZUELA	B	Aceite cabimo Apamate Charo amarillo Chupón rosado Guayabón Pardillo amarillo	Copaiferapubiflora Tabebuia rosea Brosimumalicastrum Pouteriaanibifolia Terminaliaguianensis Terminalia amazonia

CUADRO 3: CONTINUACIÓN

PAÍS	GRUPO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
VENEZUELA	C	Carne asada	Hieronymalaxiflora
		Mureillo	Erismauncinatum
		Samán	Pithecellobiumsaman
		Saquisaqui	Bombacopsisquinata

Fuente: PADT REFORT. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, (1984)

CUADRO 4: CLASIFICACIÓN DE LA MADERA ESTRUCTURAL DE ACUERDO A SU DENSIDAD BÁSICA, SEGÚN LA "JUNAC"

MADERA		DENSIDAD BÁSICA (g/cm ³)
GRUPO	TIPO	
A	DURA	0.71 a 0.90
B	INTERMEDIA	0.56 a 0.70
C	SUAVE	0.40 a 0.55

Fuente: PADT REFORT. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, (1984)

ANEXO No 4
COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN

CUADRO 5: COEFICIENTES DE CONTRACCIÓN DE LA MADERA

Especie	País	Radial %	Tangencial %	Volumétrica %
1. Aceite cabimo	VE	3.8	6.9	10.2
2. Aceite mario	CO	6.6	10.9	16.8
3. Ajo ajo	BO	6.3	9.9	15.6
4. Algarrobo	VE	3.1	6.5	8.4
5. Almendrillo	BO	5.4	8.3	13.2
6. Almendro	PE	4.4	9.6	13.6
7. Apamate	VE	4.6	6.9	11.1
3. Bálsamo	CO	5.6	7.2	12.4
9. Baramán	VE	5	11.6	16.2
10. Bibcai	BO	3.6	7.5	10.8
11. Blanquillo	BO	5.1	10.3	14.8
12. Bonga	CO	2.3	4.1	6.2
13. Cachimbo	PE	4.9	7.5	12
14. Caimitillo	EC	7.9	11.1	18.2
16. Caimito colorado	CO	6.3	9.2	14.9
16. Canime	CO	3.7	5.1	8.6
17. Caracol	CO	2.7	4.4	7,0
18. Carapa	VE	4.9	8.2	12.1
13. Carbonero	CO	6.1	9.5	15
20. Carne asada	VE	6.2	11.3	16.9
21. Carrá	CO	5.7	8.7	13.9
22. Cashomoena	PE	3.7	8.7	12.1
23. Catahua	PE	3.5	5.8	9.1
24. Chanul	CO	7.4	11.1	17.7
25. Chanul	EC	7.1	10	16.5
26. Chaquiro	CO	5.4	8.5	13.5
27. Charo amarillo	VE	5	8.2	13
28. Chimi	EC	5.5	11.4	16.2
29. Chimicua	PE	4.8	10.3	14.6
-30. Chupón rosado	VE	5.2	9.5	15.1
31. Cocuelo	CO	3.6	4.9	8.4
32. Copaiba	PE	3.4	7	10.2
33. Coquino	BO	4.6	10.4	14.5
34. Cuangará	BO	4.3	9.7	13.6
35. Curupaú	BO	3.8	8.3	11.8
36. Diablo fuerte	PE	3.2	6.1	9.1
37. Dormilón	CO	3.9	9.8	13.3
38. Estoraque	PE	4.2	6.5	10.4
39. Eucalipto	EC	6.7	14.2	19.9

CUADRO 5: CONTINUACIÓN

Especie	País	Radial X	Tangencial %	Volumétrica %
40. Fernansánchez	EC	4.3	8	12
41. Guayabochi	BO	5	9.2	13.7
42. Guayabón	VE	4.4	7.8	12.3
43. Guayacán pechiche	EC	4.2	8.2	12.1
44. Hobo colorado	CO	3.1	5.1	8
45. Huayruro	PE	2.2	6.4	9.3
46. Huimba	PE	4.1	7,5	11.3
47. Jíbaro	EC	4.1	7.2	11
48. Kaqui	BO	5.3	11.6	16.3
49. Laguno	EC	4.6	10.2	14.3
50. Machare	CO	5.3	11.3	16
51. Manchinga	PE	5	8.1	12.7
52. Mapajo	BO	4.5	8.2	12.4
53. Maquizapañagcha	PE	2.3	6.3	8.4
54. Marupa	PE	2.9	6.7	9.4
55. Mascarey	EC	6.4	13.6	19.1
56. Mijao	VE	3.2	5.3	9.5
57. Moena negra	PE	2.7	5.9	8.4
58. Mora	CO	2.6	4.9	7.4
59. Mora	VE	7.5	10.5	18.8
60. Moral fino	EC	2.3	3.9	6.1
61. Mureillo	VE	4.4	9.1	14.2
62. Muñiré	BO	2.6	4.9	7.4
63. Nato	CO	5	9.3	13.8
64. Negrillo	BO	3.9	6.6	10.3
65. Ochó	BO	3.6	5.4	8.8
66. Oloroso	CO	8	13.1	20.2
67. Pacay	BO	3.6	8.2	11.7
68. Pacora	EC	7.3	14	20.3
69. Palo maría	BO	5	8.4	13
70. Palo sangre amarillo	PE	5.6	10.1	15.1
71. Palo sangre negro	PE	2.7	4.8	7.4
72. Panguana	PE	3.7	6.9	10.4
73. Pantano	CO	5.6	10.8	15.9
74. Pardillo amarillo	VE	4.6	8.3	12.6
75. Perhuétamo	VE	6	10.4	16.6
76. Piaste	EC	4.1	8	11.8
77. Pino insigne	EC	4.6	7.7	11.9
78. Pituca	EC	2.8	5.8	8.4

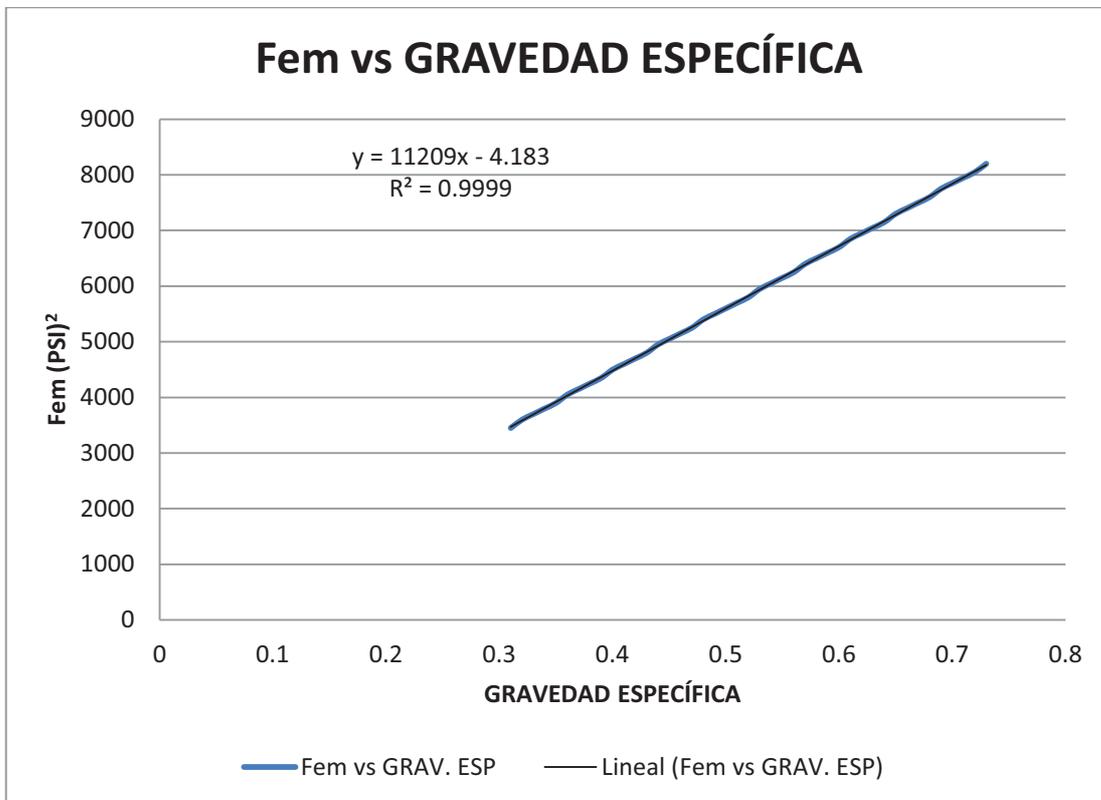
CUADRO 5: CONTINUACIÓN

Especie	País	Radial %	Tangencial %	Volumétrica %
79. Plumero	BO	4	10.6	14.1
80. Pumaquiro	PE	4.1	8	11.8
81. Púnuia	CO	3.9	7.1	10.7
82. Romerillo azuceno	EC	4.9	8	12.5
83. Romerillo fino	EC	3.2	5.7	8.7
84. Sajo	CO	5.6	8.8	13.9
85. Samán	VE	4,4	8.3	12.7
86. Sande	CO	4.1	7.3	11.1
87. Sande	EC	3.8	8.3	11.8
88. Sangre de drago	VE	3.7	6.9	10.3
89. Sangre de toro	DO	4.9	9.5	13.9
90. Saquisaqui	VE	3.6	5.9	8.8
91. Sebo	CO	5.6	10.5	15.5
92. Seique	EC	4.1	8.3	12
93. Serebo	BO	3.7	7	10.4
94. Soroga	CO	4	10.3	13.9
95. Sunsun	VE	5.9	9.2	14.8
96. Tachore	BO	4	7.3	11
97. Tangama	EC	3.7	7.9	11.4
98. Tangaré	CO	4.7	8.6	12.9
99. Tornillo	PE	3.2	6.9	9.9
100. Ucshsquiro	PE	3.4	6.6	5.8
101. Verdolago	BO	5.5	9.2	14.1
102. Virola	VE	4.6	8.8	13.7
103. Yesquero	BO	4.4	7.4	11.5
104. Yumbingue	EC	5.1	8.6	13.3
105. Zapatero	VE	5	7.7	11.8

Fuente: PADT REFORT. Manual de diseño para maderas del Grupo Andino, (1984)

ANEXO No 5
CÁLCULO DEL VALOR DE Fem PARA UNA
GRAVEDAD ESPECÍFICA DE 0.93

GRÁFICO 25



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

DESCRIPCIÓN

De la ecuación de regresión para una gravedad específica de 0.93 se obtiene Fem = 10420 PSI²

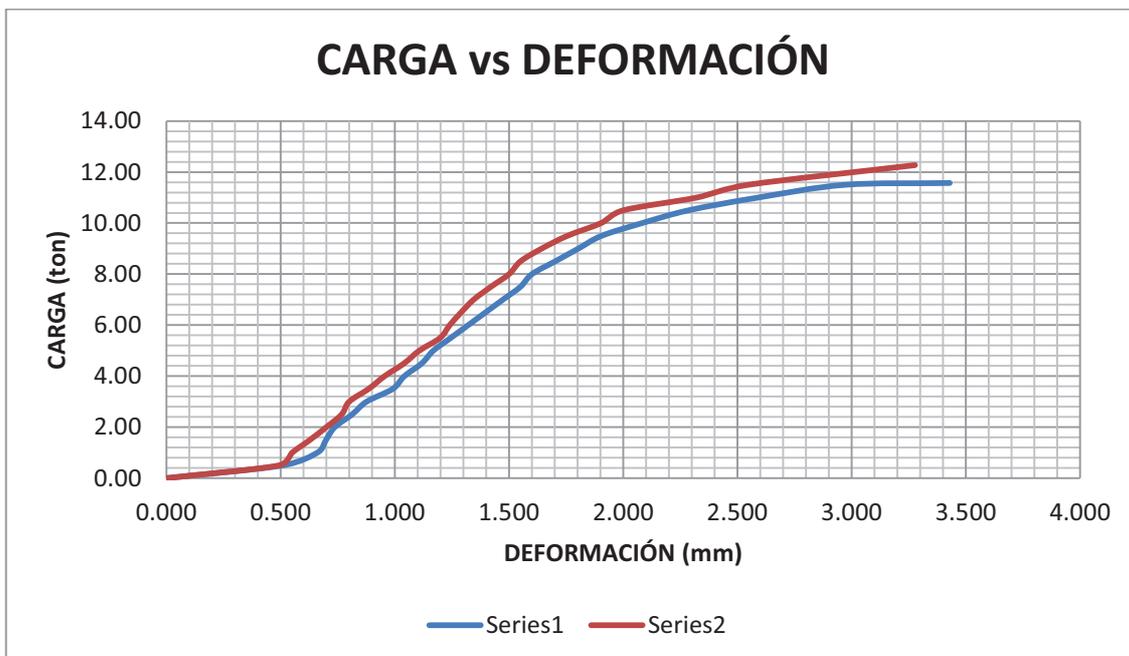
ANEXO No 6
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LA MADERA,
PARALELA Y PERPENDICULAR A LA FIBRA

GRÁFICO 26: CURVAS CARGA VS DEFORMACIÓN PARA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA PARA EL CHANUL



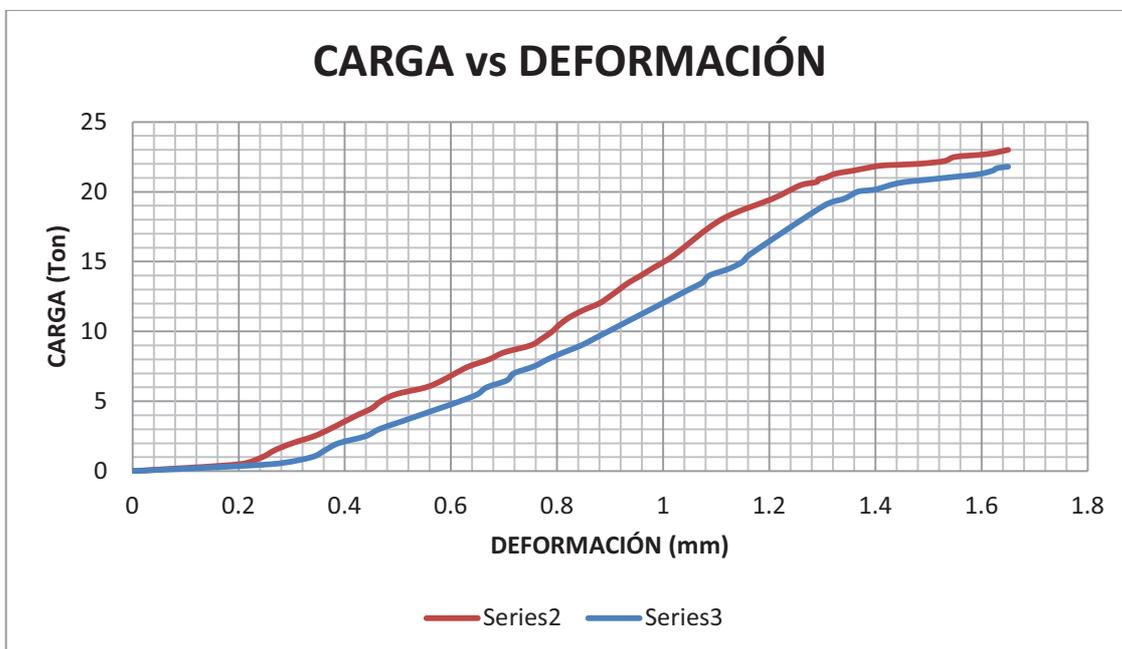
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 27: CURVAS CARGA VS DEFORMACIÓN PARA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA PARA ELMASCAREY



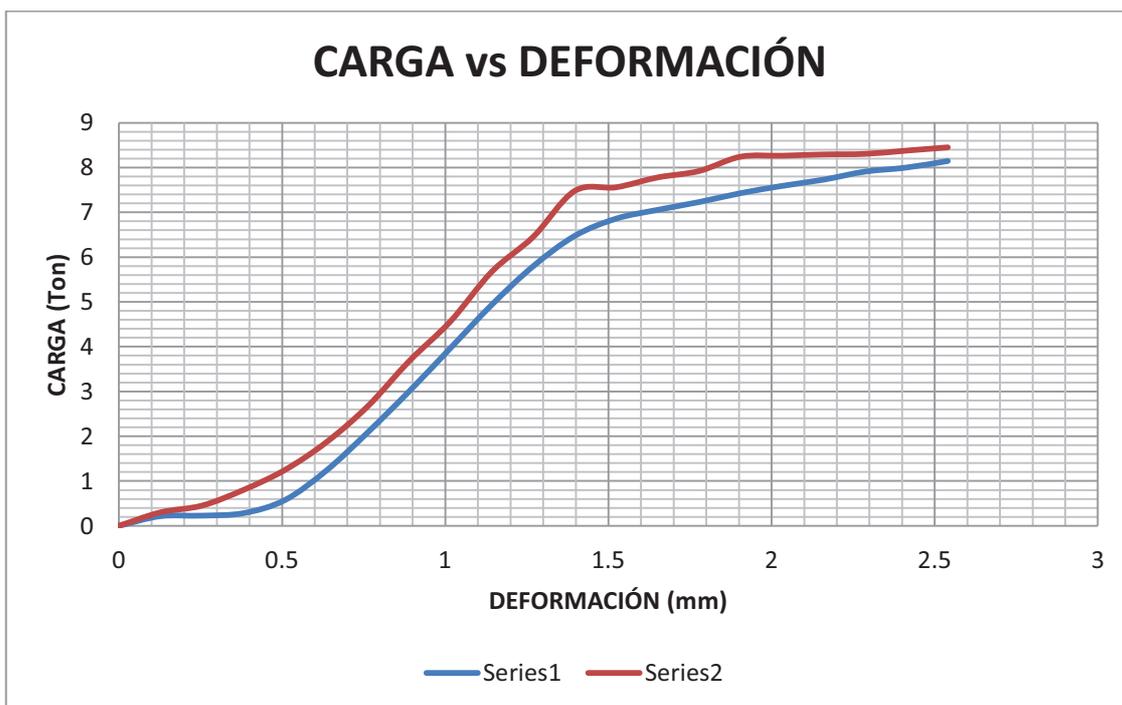
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 28: CURVAS CARGA VS DEFORMACIÓN PARA COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA PARA EL GUAYACÁN



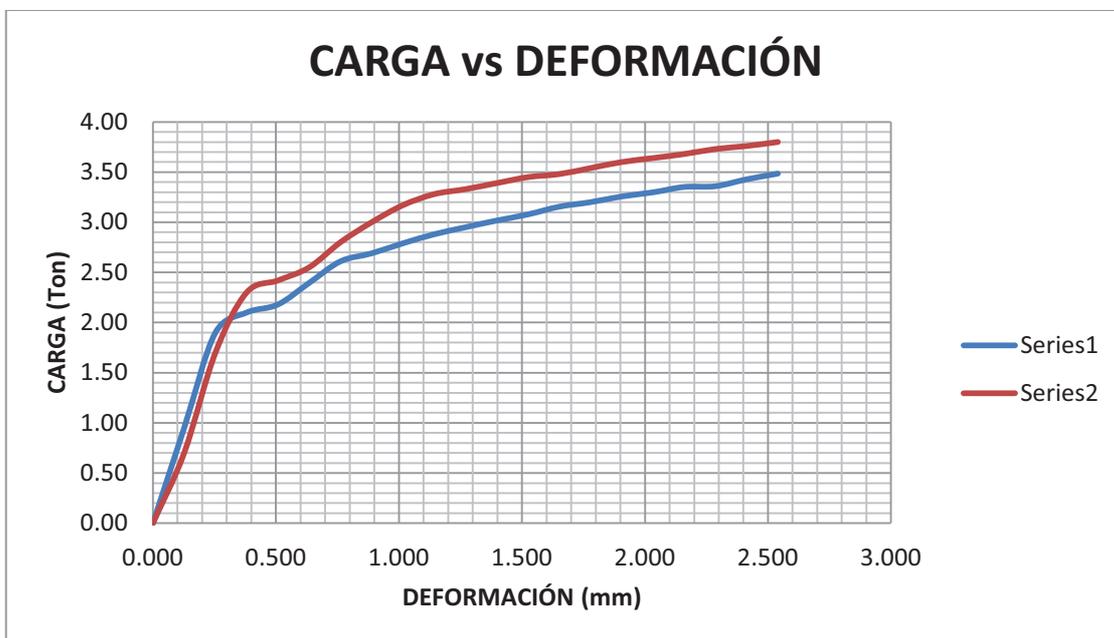
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 29: CURVAS CARGA VS DEFORMACIÓN PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA PARA EL CHANUL



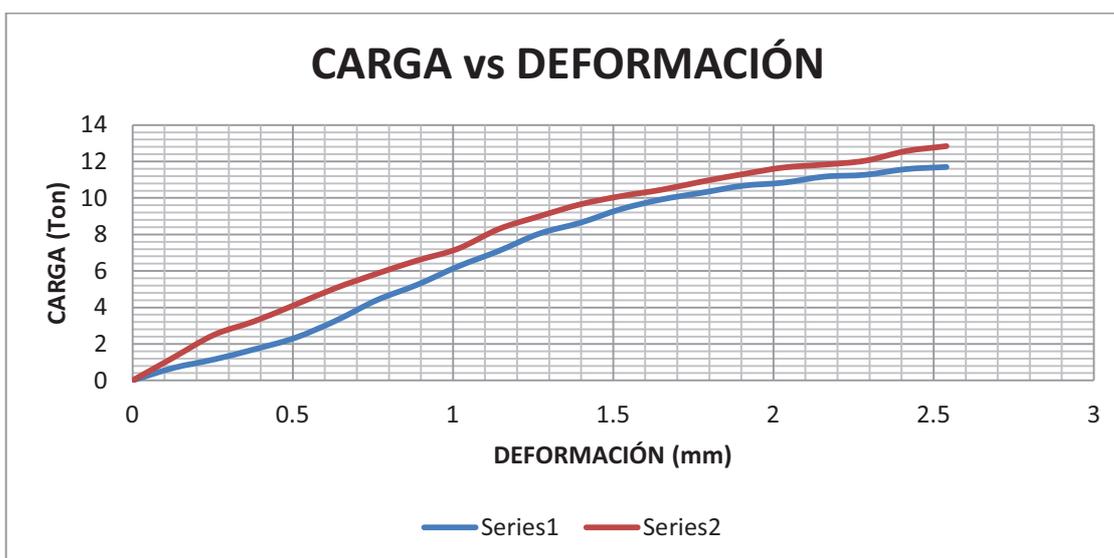
Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

GRÁFICO 30: CURVAS CARGA VS DEFORMACIÓN PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA PARA EL MASCAREY



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

GRÁFICO 31: CURVAS CARGA VS DEFORMACIÓN PARA COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA PARA EL GUAYACÁN



Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijía

CUADRO 6: RESUMEN COMPRESIÓN PARALELA A LA FIBRA

PROBETA	MADERA	CARGA LIMITE ELÁSTICO (T)	CARGA LIMITE ELÁSTICO (kg)	a (cm)	e (cm)	a prom (cm)	e prom (cm)	Fc,lp (kg/cm ²)
M1	Mascarey	8	8000	5.02	5.00	5.01	5.01	319.36
M2	Mascarey			4.99	5.01			
CH1	Chanul	10	10000	4.98	5.00	4.99	5.00	401.20
CH2	Chanul			4.99	5.00			
GU1	Guayacan	15	15000	5.02	5.00	5.01	4.99	600.60
GU2	Guayacan			5.00	4.97			

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia

CUADRO 7: RESUMEN COMPRESIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA

PROBETA	MADERA	CARGA LIMITE ELÁSTICO (T)	CARGA LIMITE ELÁSTICO (kg)	a (cm)	z (cm)	a prom (cm)	e prom (cm)	Fn,lp (kg/cm ²)
MP1	Mascarey	2	2000	5.00	5.00	4.99	5.00	80.24
MP2	Mascarey			4.97	5.00			
CHP1	Chanul	5	5000	5.03	5.00	5.01	5.00	199.80
CHP2	Chanul			4.98	5.00			
GUP1	Guayacan	8	8000	5.00	5.00	5.00	5.00	320.00
GUP2	Guayacan			5.00	5.00			

Elaborado por: Esteban Criollo y Sebastián Quijia