

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

**ESTUDIO TEÓRICO – EXPERIMENTAL DE CONEXIONES
ESPECIALES DE MADERA TIPO BULLDOG, APPEL Y
ALLIGATOR; SOMETIDA A CARGA AXIAL EN SENTIDO
PERPENDICULAR A LA FIBRA**

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

CUEVA ENCARNACIÓN GRACIELA ELIZABETH
ciela_ce@yahoo.es

PANOLUISA GANCHALA IVETH CAROLINA
iveth_panoluisa@hotmail.com

DIRECTOR: ING. JORGE VINTIMILLA JARAMILLO
vintimilla.j@gmail.com

Quito, Julio 2015

DECLARACIÓN

Nosotras, Graciela Elizabeth Cueva Encarnación e Iveth Carolina Panoluisa Ganchala, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentada 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 mis nuestros derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Graciela Elizabeth Cueva Encarnación

Iveth Carolina Panoluisa Ganchala

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Graciela Elizabeth Cueva Encarnación e Iveth Carolina Panoluisa Ganchala, bajo mi supervisión.

ING. JORGE VINTIMILLA
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Primeramente agradezco a Dios, por haberme dado inteligencia, salud y por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hizo realidad este sueño anhelado.

A la Escuela Politécnica Nacional y a la Facultad de Ingeniería Civil por permitirme ser parte de ellos y formarme como profesional.

A toda mi familia: padres, hermanos, abuelitos, tíos; a mi esposo y mi querido hijo por su constante apoyo.

A mi Director de Tesis, Ing. Jorge Vintimilla por su esfuerzo y dedicación, quien con sus conocimientos, su paciencia y motivación ha logrado en mí que pueda terminar mis estudios con éxito. También agradezco a mis profesores durante toda mi carrera profesional, por compartirme sus conocimientos.

Al Ing. Luis Carcelén, gran profesional y amigo quien con sus sabios consejos me ha ayudado en el transcurso de mi formación.

A mi compañera de tesis y gran amiga Iveth, por su confianza y perseverancia para culminar con éxito esta meta.

A los mejores vecinos que pude tener durante mi estadía en Quito, Abigail, Luz María e Israel.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida. Sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

Graciela

AGRADECIMIENTO

Dios, tu amor y bondad no tienen fin, una vez más te vez manifestado en mi vida, gracias a tu ayuda y bendición he podido culminar esta etapa en la cual nunca me has abandonado.

Llegar a esta meta no hubiese sido posible sin mis ángeles Mary y Marce, quienes han estado junto a mí siempre compartiendo mis alegrías y consolando mis penas, gracias padres por ser el mejor de los ejemplos de superación y perseverancia, gracias por su apoyo, por su paciencia, por las innumerables muestras de amor, pero especialmente por ser quienes me han dado la mejor de las enseñanzas, la fe en el Padre Celestial. No me alcanzaría la vida para devolver todo lo que han hecho por mí.

A mi amado esposo, Javy por su amor, apoyo y paciencia.

Gracias a las angelitas que me regaló Dios como hermanas Dany, Karlita y Mely, quienes han estado conmigo a lo largo de esta carrera y de mi vida, ayudándome sin ningún interés, y con su preocupación constante, las adoro.

Agradezco de todo corazón a la gloriosa Institución que me abrió sus puertas, la Escuela Politécnica Nacional, de la cual muy orgullosamente fui parte, gracias a mis maestros, y compañera de tesis, gracias por todas las vivencias y valiosas enseñanzas.

Iveth

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis queridos padres: María Elsa y Guismar Eladio, por ser el mejor ejemplo, quienes por ellos soy lo que soy.

A mi amado esposo Jimmy, por su paciencia y amor incondicional.

Al motor de mi vida, lo que más amo, mi hijo Germán David.

A mis valiosos hermanos, Jessica, Guismar y Ángeles quienes con sus risas y locuras han estado siempre junto a mí.

A mi Tata Carlos y Mami María, mis queridos abuelitos, quienes con su esfuerzo me han apoyado incondicionalmente. A mis tíos Yoffre y Viviana.

A mis grandes amigos, que me han demostrado la verdadera amistad, Amalia, Betsabé, Diana, Iveth, Fanny, Paúl.

Graciela

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico esta etapa de mi vida a mi Padre Celestial, quien hizo posible cada uno de los pasos seguidos para llegar hasta aquí,

Dedico con infinito amor este trabajo a las razones por las cuales quiero ser una mejor persona, y gracias a quienes cada día es una nueva aventura. A mi compañero de vida mi amado Javy, mi sustento, apoyo y complemento perfecto, gracias por ser quien eres y llenar mi vida de alegrías y risas.

A los dos tesoros con los que Dios me bendijo Nico y Emma, por ser mi fuerza y mi vida entera. Por enseñarme lo maravilloso del amor, por darme cada día nuevas lecciones de vida, por ayudar a conocerme, porque gracias a ellos he ido más allá de mis límites.

A mis queridos padres y hermanas por depositar su confianza en mí, por el gran apoyo, paciencia y amor que siempre han demostrado. Porque sin ustedes no me hubiese sido posible llegar a culminar esta etapa.

A mis abuelitas, por su aliento y oraciones.

A Faby, a Cesar y Gonzalo, gracias por su apoyo e inmensa ayuda en el desarrollo experimental de este proyecto.

Iveth

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES.....	2
1.1.1 Medios de unión:	3
1.1.1.1 Conexiones Madera – Madera:	3
1.1.1.2 Uniones Encoladas	5
1.1.1.3 Uniones Clavija	6
1.1.1.4 Uniones con conectores.....	8
1.1.1.4.1 Conectores tipo Anillo (GRUPO A).....	8
1.1.1.4.2 Conectores de placa (GRUPO B).....	9
1.1.1.4.3 Conectores de placa dentada (GRUPO C).....	10
1.1.1.4.4 Conectores de madera (GRUPO D)	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.2.3 DESCRIPCIÓN.....	15
CAPÍTULO 2: ESTUDIO TEÓRICO.....	2
2.1 CONEXIONES CON PERNOS	2
2.1.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”	2
2.1.1.1 Cargas Admisibles para uniones sometidas a doble cizallamiento:.....	21
2.1.1.2 Cargas Admisibles para uniones sometidas a simple cizallamiento:.....	21
2.1.2 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”.....	22
2.1.2.1 Descripción de modos de falla:	24
2.1.2.2 Capacidad portante del perno sometido a simple y doble cizallamiento:.....	27
2.1.3 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	28
2.1.3.1 Capacidad de carga para pernos con carga lateral sometidos a doble cizallamiento:.....	28

2.1.3.2	Capacidad de carga para pernos con carga lateral sometidos a simple cizallamiento:	29
2.1.3.3	Resistencia al aplastamiento:	31
2.1.4	CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA	32
2.1.4.1	Contenido de Humedad:	32
2.1.4.2	Densidad Básica.	33
2.1.4.3	Resistencia a la compresión paralela a la fibra.	35
2.1.4.4	Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra.	35
2.1.4.5	Espesor de las piezas de madera que forman parte de la probeta.....	36
2.1.4.6	Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas.	37
2.1.5	CÁLCULO DE LAS CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA	39
2.1.5.1	Cálculo de cargas admisibles según la JUNAC	39
2.1.5.1.1	Uniones sometidas a doble cizallamiento:	39
2.1.5.1.2	Uniones sometidas a simple cizallamiento:	40
2.1.5.2	Cálculo de cargas admisibles según la “NDS for Wood Construction”	41
2.1.5.2.1	Uniones sometidas a doble cizallamiento:	41
2.1.5.2.2	Uniones sometidas a simple cizallamiento:	43
2.1.5.3	Cálculo de cargas admisibles según el EUROCÓDIGO 5 (Diseño de estructuras de madera)	44
2.1.5.3.1	Uniones sometidas a doble cizallamiento:	44
2.1.5.3.2	Uniones sometidas a simple cizallamiento:	46
2.2	CONEXIONES TIPO BULLDOG.....	47
2.2.1	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”	48
2.2.2	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	48
2.2.3	RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCODIGO 5”	48
2.2.3.1	Capacidad de carga	49

2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA.....	50
2.2.4.1 Espesor de las piezas de madera que forman parte de la probeta.....	51
2.2.4.2 Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas.	51
2.2.5 CÁLCULO DE LAS CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA.....	53
2.2.5.1 Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”	53
2.2.5.2 Cálculo de cargas admisibles según la “NDS for Wood Construction”	53
2.2.5.3 Cálculo de cargas admisibles según el “EUROCÓDIGO 5”	53
2.2.5.3.1 Uniones sometidas a doble cizallamiento:	53
2.2.5.3.2 Uniones sometidas a simple cizallamiento:	55
2.3 CONEXIONES TIPO “APPEL”	57
2.3.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”	57
2.3.2 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	57
2.3.3 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCÓDIGO 5”	57
2.3.3.1 Capacidad de carga para uniones sometidas a simple cizallamiento.....	58
2.3.3.2 Capacidad de carga para uniones sometidas a doble cizallamiento.....	59
2.3.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA.....	60
2.3.4.1 Espesor de las piezas de madera que forman parte de la probeta.....	60
2.3.4.2 Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas.	60
2.3.5 CÁLCULO DE LAS CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA.....	61
2.3.5.1 Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”	61

2.3.5.2	Cálculo de cargas admisibles según la “NDS for Wood Construction”	61
2.3.5.3	Cálculo de cargas admisibles según el “EUROCÓDIGO 5”	61
2.3.5.3.1	Uniones sometidas a simple cizallamiento:	61
2.3.5.3.2	Uniones sometidas a doble cizallamiento:	64
2.4	CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”	65
2.4.1	Resumen de Normas de Diseño según la “JUNAC”	66
2.4.2	Resumen de Normas de Diseño según la “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”	66
2.4.3	Resumen de Normas de Diseño según el “EUROCODIGO 5”	66
2.4.4	Resumen de Normas de Diseño según la “DIN 1052”	66
2.4.4.1	Capacidad resistente para uniones empernadas según la Norma “DIN 1052”	67
2.4.4.2	Capacidad resistente para uniones con conectores tipo “Alligator” según la Norma “DIN 1052”	69
2.4.5	CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA	71
2.4.5.1	Espesor de las piezas de madera que forman parte de la probeta	71
2.4.5.2	Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas.	71
2.4.6	CÁLCULO DE LAS CARGAS ADMISIBLES DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA	71
2.4.6.1	Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”	71
2.4.6.2	Cálculo de cargas admisibles según la “NDS for Wood Construction”	71
2.4.6.3	Cálculo de cargas admisibles según el “EUROCÓDIGO 5”	71
2.4.6.4	Cálculo de cargas admisibles según la Norma “DIN 1052”	72
2.4.6.4.1	Uniones sometidas a simple cizallamiento:	72
2.4.6.4.2	Uniones sometidas a doble cizallamiento:	75
CAPÍTULO 3: ESTUDIO Y ENSAYO DE CONEXIONES		78
3.1	ENSAYO DE CONEXIONES EMPERNADAS	80
3.1.1	Descripción de las probetas:	80

3.1.1.1	Características del perno:.....	80
3.1.1.1.1	Longitud de los pernos:	81
3.1.1.2	Características de las piezas de madera:	82
3.1.1.3	Ensamble de las probetas:.....	83
3.1.2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:.....	83
3.1.2.1	Ensayo de las probetas :.....	83
3.1.2.2	Modo de falla de las probetas:	85
3.1.2.2.1	Simple cizallamiento Probetas de Mascarey:	85
3.1.2.2.2	Simple Cizallamiento Probetas de Chanul:.....	86
3.1.2.2.3	Simple Cizallamiento Probetas de Guayacán:.....	86
3.1.2.2.4	Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán empernadas sometidas a Simple Cizallamiento:	87
3.1.2.2.5	Doble cizallamiento Probetas de Mascarey:.....	88
3.1.2.2.6	Doble Cizallamiento Probetas de Chanul:	89
3.1.2.2.7	Doble Cizallamiento Probetas de Guayacán:	90
3.1.2.2.8	Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán empernadas sometidas a Doble Cizallamiento:	91
3.1.3	RESULTADOS EXPERIMENTALES:.....	91
3.1.3.1	Probetas de Mascarey Simple Cizallamiento:	91
3.1.3.2	Probetas de Chanul Simple Cizallamiento:	93
3.1.3.3	Probetas de Guayacán Simple Cizallamiento:	94
3.1.3.4	Probetas de Mascarey Doble Cizallamiento:.....	95
3.1.3.5	Probetas de Chanul Doble Cizallamiento:.....	96
3.1.3.6	Probetas de Guayacán Doble Cizallamiento:.....	97
3.1.4	ANÁLISIS Y COMENTARIOS:	98
3.1.4.1	Rigideces de conexiones empernadas:.....	101
3.2	ENSAYO DE CONEXIONES TIPO BULLDOG	102
3.2.1	Descripción de las probetas:	102
3.2.1.1	Características del perno:.....	102
3.2.1.2	Características de las piezas de madera:	102
3.2.1.3	Características del conector:.....	103
3.2.1.3.1	Consideraciones constructivas:.....	104
3.2.1.4	Ensamble de las probetas:.....	104

3.2.2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:.....	106
3.2.2.1	Ensayo de las probetas :.....	106
3.2.2.2	Modo de falla de las probetas:	107
3.2.2.2.1	Simple cizallamiento Probetas de Mascarey:	107
3.2.2.2.2	Simple cizallamiento Probetas de Chanul:.....	108
3.2.2.2.3	Simple cizallamiento Probetas de Guayacán:.....	108
3.2.2.2.4	Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexiones tipo Bulldog sometidas a Simple Cizallamiento:	109
3.2.2.2.5	Doble cizallamiento Probetas de Mascarey:.....	110
3.2.2.2.6	Doble Cizallamiento Probetas de Chanul:	111
3.2.2.2.7	Doble Cizallamiento Probetas de Guayacán:	112
3.2.2.2.8	Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexión tipo Bulldog sometidas a Doble Cizallamiento:	113
3.2.3	RESULTADOS EXPERIMENTALES:.....	113
3.2.3.1	Probetas de Mascarey Simple Cizallamiento:	113
3.2.3.2	Probetas de Chanul Simple Cizallamiento:	115
3.2.3.3	Probetas de Guayacán Simple Cizallamiento:	116
3.2.3.4	Probetas de Mascarey Doble Cizallamiento:.....	117
3.2.3.5	Probetas de Chanul Doble Cizallamiento:.....	118
3.2.3.6	Probetas de Guayacán Doble Cizallamiento:.....	119
3.2.4	ANÁLISIS Y COMENTARIOS:	120
3.2.4.1	Rigideces de conexiones Tipo Bulldog:.....	122
3.3	ENSAYO DE CONEXIONES TIPO APPEL.....	123
3.3.1	Descripción de las probetas:	123
3.3.1.1	Características del perno:.....	123
3.3.1.2	Características de las piezas de madera:	123
3.3.1.3	Características del conector:	124
3.3.1.3.1	Consideraciones constructivas:	124
3.3.1.4	Ensamble de las probetas:.....	124
3.3.2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:.....	126
3.3.2.1	Ensayo de las probetas:.....	126

3.3.2.2	Modo de falla de las probetas:	127
3.3.2.2.1	Simple cizallamiento Probetas de Mascarey:	127
3.3.2.2.2	Simple Cizallamiento Probetas de Chanul:	128
3.3.2.2.3	Simple Cizallamiento Probetas de Guayacán:	129
3.3.2.2.4	Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexiones tipo Appel sometidas a Simple Cizallamiento:	129
3.3.2.2.5	Doble cizallamiento Probetas de Mascarey:	130
3.3.2.2.6	Doble Cizallamiento Probetas de Chanul:	131
3.3.2.2.7	Doble Cizallamiento Probetas de Guayacán:	132
3.3.2.2.8	Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conectores Tipo Appel sometidas a Doble Cizallamiento:	133
3.3.3	RESULTADOS EXPERIMENTALES:	133
3.3.3.1	Probetas de Mascarey Simple Cizallamiento:	133
3.3.3.2	Probetas de Chanul Simple Cizallamiento:	134
3.3.3.3	Probetas de Guayacán Simple Cizallamiento:	135
3.3.3.4	Probetas de Mascarey Doble Cizallamiento:	137
3.3.3.5	Probetas de Chanul Doble Cizallamiento:	138
3.3.3.6	Probetas de Guayacán Doble Cizallamiento:	139
3.3.4	ANÁLISIS Y COMENTARIOS:	140
3.3.4.1	Rigideces de conexiones Tipo Appel:	142
3.4	ENSAYO DE CONEXIONES TIPO ALLIGATOR	143
3.4.1	Descripción de las probetas:	143
3.4.1.1	Características del perno:	143
3.4.1.2	Características de las piezas de madera:	143
3.4.1.3	Características del conector:	144
3.4.1.3.1	Consideraciones constructivas:	144
3.4.1.4	Ensamble de las probetas:	145
3.4.1.5	Ensayo de las probetas:	146
3.4.2	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:	146
3.4.2.1	Modo de falla de las probetas:	146
3.4.2.1.1	Simple cizallamiento Probetas de Mascarey:	147

3.4.2.1.2 Simple Cizallamiento Probetas de Chanul:.....	148
3.4.2.1.3 Simple Cizallamiento Probetas de Guayacán:.....	149
3.4.2.1.4 Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexiones tipo Alligator sometidas a Simple Cizallamiento:	149
3.4.2.1.5 Doble cizallamiento Probetas de Mascarey:.....	150
3.4.2.1.6 Doble Cizallamiento Probetas de Chanul:	151
3.4.2.1.7 Doble Cizallamiento Probetas de Guayacán:	152
3.4.2.1.8 Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexiones tipo Alligator sometidas a Doble Cizallamiento:	153
3.4.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES:.....	153
3.4.3.1 Probetas de Mascarey Simple Cizallamiento:	153
3.4.3.2 Probetas de Chanul Simple Cizallamiento:	155
3.4.3.3 Probetas de Guayacán Simple Cizallamiento:	156
3.4.3.4 Probetas de Mascarey Doble Cizallamiento:.....	157
3.4.3.5 Probetas de Chanul Doble Cizallamiento:.....	158
3.4.3.6 Probetas de Guayacán Doble Cizallamiento:.....	159
3.4.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS:	160
3.4.4.1 Rigideces de conexiones Tipo Alligator:.....	162
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL.....	163
4.1 CONEXIONES CON PERNOS.....	164
4.2 CONEXIONES TIPO BULLDOG.....	167
4.3 CONEXIONES TIPO APPEL	168
4.4 CONEXIONES TIPO ALLIGATOR.....	170
4.5 ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CONEXIONES CONSIDERADAS	171
4.5.1 PROBETAS DE MASCAREY	172
4.5.2 PROBETAS DE CHANUL	173
4.5.3 PROBETAS DE GUAYACÁN	175

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE CONEXIONES SOMETIDAS A CARGA AXIAL EN SENTIDO PERPENDICULAR Y PARALELO A LA FIBRA	177
5.1 CONEXIONES EMPERNADAS	177
5.2 CONEXIONES TIPO BULLDOG.....	179
5.3 CONEXIONES TIPO APPEL	180
5.4 CONEXIONES TIPO ALLIGATOR.....	181
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	183
6.1 COMENTARIOS GENERALES	183
6.2 CONCLUSIONES	185
6.2.1 CONEXIONES EMPERNADAS.....	185
6.2.2 CONEXIONES TIPO BULLDOG	186
6.2.3 CONEXIONES TIPO APPEL.....	188
6.2.4 CONEXIONES TIPO ALLIGATOR	189
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	192

LISTADO DE TABLAS

TABLA 2.1 CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS	
DOBLE CIZALLAMIENTO	19
TABLA 2.2 ECUACIONES LÍMITE DE FALLA PARA LA	
DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE	
LAS UNIONES EMPERNADAS.	25
TABLA 2.3 ECUACIONES PARA DETERMINAR EL TÉRMINO DE	
REDUCCIÓN R_b	26
TABLA 2.4 CAPACIDAD PORTANTE DEL PERNO SEGÚN LA NDS.....	27
TABLA 2.5 CONTENIDOS DE HUMEDAD Y DENSIDADES BÁSICAS.	35
TABLA 2.6 ESPESORES DE LAS PIEZAS DE MADERA DE PROBETAS	36
TABLA 2.7 VALORES MÍNIMOS DE SEPARACIONES Y DISTANCIAS	
A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES EMPERNADAS.	37
TABLA 2.8 DISTANCIAS MÍNIMAS Y ASUMIDAS A LOS BORDES Y	
TESTAS PARA CONEXIONES EMPERNADAS.	39
TABLA 2.9 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS	
SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (JUNAC).....	40
TABLA 2.10 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS	
SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (JUNAC).....	40
TABLA 2.11 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS	
SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (NDS).	42
TABLA 2.12 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS	
SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (NDS).	43
TABLA 2.13 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS	
SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).	45
TABLA 2.14 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS	
SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).	47
TABLA 2.15 ESPESORES DE LAS PIEZAS DE MADERA DE	
PROBETAS CON CONEXIONES BULLDOG.	51
TABLA 2.16 VALORES MÍNIMOS DE SEPARACIONES Y DISTANCIAS	
A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES TIPO BULLDOG.	52

TABLA 2.17 DISTANCIAS MÍNIMAS Y ASUMIDAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES TIPO BULLDOG.....	52
TABLA 2.18 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO BULLDOG SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).....	55
TABLA 2.19 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO BULLDOG SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).....	56
TABLA 2.20 VALORES MÍNIMOS DE SEPARACIONES Y DISTANCIAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES TIPO APPEL.	60
TABLA 2.21 DISTANCIAS MÍNIMAS Y ASUMIDAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES TIPO APPEL.....	61
TABLA 2.22 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO APPEL SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).....	63
TABLA 2.23 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO APPEL SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).....	65
TABLA 2.24 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	69
TABLA 2.25 CARGAS ADMISIBLES PARA CONEXIONES TIPO ALLIGATOR SEGÚN LA NOMA “DIN 1052”	70
TABLA 2.26 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO ALLIGATOR SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (DIN).	74
TABLA 2.27 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO ALLIGATOR SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (DIN).	77
TABLA 3.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES DE MADERA	78
TABLA 3.2 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO MASCAREY-PERNO	92
TABLA 3.3 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO CHANUL-PERNO	94
TABLA 3.4 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO GUAYACÁN-PERNO	95
TABLA 3.5 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO MASCAREY-PERNO	96

TABLA 3.6 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO CHANUL-PERNO	97
TABLA 3.7 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO GUAYACÁN-PERNO	98
TABLA 3.8 RESUMEN DE PROBETAS EMPERNADAS	98
TABLA 3.9 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.L.E./2.8$	99
TABLA 3.10 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM.....	99
TABLA 3.11 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA ADMISIBLE CUANDO ES IGUAL A $P.L.E./2.8$ EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM.....	100
TABLA 3.12 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO.	100
TABLA 3.13 RIGIDECES CONEXIONES EMPERNADAS.....	101
TABLA 3.14 CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR TIPO BULLDOG	103
TABLA 3.15 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- BULLDOG	114
TABLA 3.16 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- BULLDOG	115
TABLA 3.17 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- BULLDOG	116
TABLA 3.18 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- BULLDOG	117
TABLA 3.19 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- BULLDOG	118
TABLA 3.20 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- BULLDOG	119

TABLA 3.21 RESUMEN DE PROBETAS CONEXIONES TIPO BULLDOG	120
TABLA 3.22 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.L.E./2.2$	120
TABLA 3.23 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM	121
TABLA 3.24 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA ADMISIBLE CUANDO ES IGUAL A $P.L.E./2.2$ EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM	121
TABLA 3.25 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO.	121
TABLA 3.26 RIGIDECES CONEXIONES TIPO BULLDOG.....	122
TABLA 3.27 CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR TIPO APPEL.....	124
TABLA 3.28 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- APPEL.....	134
TABLA 3.29 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- APPEL.....	135
TABLA 3.30 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- APPEL.....	136
TABLA 3.31 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- APPEL.....	137
TABLA 3.32 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- APPEL.....	138
TABLA 3.33 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- APPEL.....	139
TABLA 3.34 RESUMEN DE PROBETAS CONEXIONES TIPO APPEL.....	140

TABLA 3.35 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM.= P.L.E./2.6$	140
TABLA 3.36 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM.= P.$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM.....	141
TABLA 3.37 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA ADMISIBLE CUANDO ES IGUAL A $P.L.E./2.6$ EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM.= P.$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM.....	141
TABLA 3.38 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO.	141
TABLA 3.39 RIGIDECES CONEXIONES TIPO APPEL.....	142
TABLA 3.40 CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR TIPO ALLIGATOR.....	144
TABLA 3.41 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-ALLIGATOR.....	154
TABLA 3.42 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL-ALLIGATOR.....	155
TABLA 3.43 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-ALLIGATOR.....	156
TABLA 3.44 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-ALLIGATOR.....	157
TABLA 3.45 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL-ALLIGATOR.....	158
TABLA 3.46 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-ALLIGATOR.....	159
TABLA 3.47 RESUMEN DE PROBETAS CONEXIONES TIPO ALLIGATOR....	160
TABLA 3.48 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM.= P.L.E./2.9$	160

TABLA 3.49 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM.....	161
TABLA 3.50 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA ADMISIBLE CUANDO ES IGUAL A $P.L.E./2.9$ EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.$ CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM.....	161
TABLA 3.51 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO.	161
TABLA 3.52 RIGIDECES CONEXIONES TIPO ALLIGATOR.	162
TABLA 4.1 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES	164
TABLA 4.2 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (JUNAC, NDS) EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.L.E./2.8$	164
TABLA 4.3 FACTORES DE RELACIÓN JUNAC Y NDS	165
TABLA 4.4 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (EUROCÓDIGO) EN RELACIÓN A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y FACTOR DE RELACIÓN	166
TABLA 4.5 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES.....	167
TABLA 4.6 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (EUROCÓDIGO) EN RELACIÓN A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO, Y FACTORES DE RELACIÓN	167
TABLA 4.7 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES.....	168
TABLA 4.8 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (EUROCÓDIGO) EN RELACIÓN A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO, Y FACTORES DE RELACIÓN	169
TABLA 4.9 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES.....	170
TABLA 4.10 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (DIN) EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON $P.ADM. = P.L.E./2.9$, Y FACTORES DE RELACIÓN.	170

TABLA 4.11 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LAS RIGIDECES DE LAS CONEXIONES ESPECIALES, RESPECTO A LAS EMPERNADAS	171
TABLA 4.12 MASCAREY SIMPLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.	172
TABLA 4.13 MASCAREY DOBLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.	172
TABLA 4.14 CHANUL SIMPLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.	173
TABLA 4.15 CHANUL DOBLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.	174
TABLA 4.16 GUAYACÁN SIMPLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.	175
TABLA 4.17 GUAYACÁN DOBLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.	175
TABLA 5.1 COMPARACIÓN DE RIGIDECES PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR.....	178
TABLA 5.2 CONEXIONES EMPERNADAS, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR.....	178
TABLA 5.3 CONEXIONES BULLDOG, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR.....	179

TABLA 5.4 CONEXIONES APPEL, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR.....	180
TABLA 5.5 CONEXIONES ALLIGATOR, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR.....	181

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 1.1 ENSAMBLES DE CAJA Y ESPIGA EN UNIONES A COMPRESIÓN.....	4
FIGURA 1.2 TIPOS DE EMPALMES EN PIEZAS COMPRIMIDAS.	5
FIGURA 1.3 CLASES DE COLAS Y SUS USOS.	6
FIGURA 1.4 TIPOS DE UNIONES CLAVIJAS	7
FIGURA 1.5 PARTES DE UN TORNILLO.....	7
FIGURA 1.6 CONECTORES DE ANILLO (TIPO A).....	8
FIGURA 1.7 CONECTORES DE PLACA (TIPO B).....	9
FIGURA 1.8 CONECTORES DE PLACA CON DIENTES TRIANGULARES	10
FIGURA 1.9 CONECTORES DE PLACA CON DIENTES TRONCOCÓNICOS.....	11
FIGURA 1.10 CLASIFICACIÓN CONECTORES DE PLACA DENTADA (TIPO C).....	11
FIGURA 1.11 CONECTORES DE MADERA (TIPO D)	14
FIGURA 2.1 UNIÓN EMPERNADA SOMETIDA A CIZALLAMIENTO SIMPLE, CARGA PERPENDICULAR A LA FIBRA EN UN ELEMENTO Y PARALELA A LA FIBRA EN EL OTRO.....	21
FIGURA 2.2 UNIÓN EMPERNADA SOMETIDA A CIZALLAMIENTO SIMPLE, CARGA PERPENDICULAR A LA FIBRA EN UN ELEMENTO Y PARALELA A LA FIBRA EN EL OTRO.....	22
FIGURA 2.3 UNIÓN EMPERNADA SOMETIDA A CIZALLAMIENTO SIMPLE Y DOBLE.....	23
FIGURA 2.4 MODOS DE FLUENCIA EN UNIONES EMPERNADAS DE MADERA CON CIZALLAMIENTO SIMPLE Y DOBLE.	23
FIGURA 2.5 MODOS DE FALLA PARA CORTE DOBLE.....	29
FIGURA 2.6 MODOS DE FALLA PARA CORTE SIMPLE.....	31
FIGURA 2.7 ESPESORES MÍNIMOS DE LAS PIEZAS DE MADERA DE PROBETAS EMPERNADAS SOMETIDAS A DOBLE Y SIMPLE CIZALLAMIENTO.....	37

FIGURA 2.8 A) SEPARACIONES ENTRE CONECTORES, B) DISTANCIAS AL BORDE Y A LA TESTA.....	38
FIGURA 2.9 DIMENSIONES DE PROBETA SOMETIDA A DOBLE CIZALLAMIENTO.....	41
FIGURA 2.10 DIMENSIONES DE PROBETA SOMETIDA A SIMPLE CIZALLAMIENTO.....	43
FIGURA 2.11 CONECTOR DE PLACA DENTADA SIMPLE (TIPO C2)	48
FIGURA 2.12 DIMENSIONES PARA LAS UNIONES CON CONECTORES DE ANILLO Y DE PLACA	51
FIGURA 2.13 CONECTORES DE ANILLO (TIPO A)	57
FIGURA 2.14 CONECTOR TIPO ALLIGATOR.....	66
FIGURA 3.1 ESPECIFICACIONES SAE PARA PERNOS DE ACERO	81
FIGURA 3.2 DIMENSIONES DE UN PERNO DE ½”	81
FIGURA 3.3 LONGITUDES AL BORDE Y TESTA DE LAS PROBETAS.....	82
FIGURA 3.4 ENSAMBLE DE PROBETAS EMPERNADAS.....	83
FIGURA 3.5 MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS	84
FIGURA 3.6 ENSAYOS A DOBLE Y SIMPLE CIZALLAMIENTO	84
FIGURA 3.7 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE SIMPLE	85
FIGURA 3.8 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE SIMPLE	86
FIGURA 3.9 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE SIMPLE	86
FIGURA 3.10 CONEXIÓN EMPERNADA PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA.....	87
FIGURA 3.11 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE DOBLE	88
FIGURA 3.12 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE DOBLE	89
FIGURA 3.13 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE DOBLE	90
FIGURA 3.14 CONEXIÓN EMPERNADA PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA.....	91
FIGURA 3.15 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO MASCAREY-PERNO	92
FIGURA 3.16 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO CHANUL-PERNO	93
FIGURA 3.17 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO GUAYACÁN-PERNO	94

FIGURA 3.18 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO MASCAREY-PERNO	95
FIGURA 3.19 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO CHANUL-PERNO	96
FIGURA 3.20 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO GUAYACÁN-PERNO	97
FIGURA 3.21 LONGITUDES AL BORDE Y TESTA DE LAS PROBETAS CON CONEXIONES TIPO BULLDOG.....	103
FIGURA 3.22 MODO DE FALLA MASCAREY BULLDOG CORTE SIMPLE	107
FIGURA 3.23 MODO DE FALLA CHANUL BULLDOG CORTE SIMPLE	108
FIGURA 3.24 MODO DE FALLA GUAYACÁN BULLDOG CORTE SIMPLE	108
FIGURA 3.25 CONEXIÓN BULLDOG PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA.....	109
FIGURA 3.26 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE DOBLE	110
FIGURA 3.27 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE DOBLE	111
FIGURA 3.28 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE DOBLE	112
FIGURA 3.29 CONEXIÓN TIPO BULLDOG PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA.....	113
FIGURA 3.30 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- BULLDOG.....	114
FIGURA 3.31 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- BULLDOG.....	115
FIGURA 3.32 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- BULLDOG.....	116
FIGURA 3.33 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- BULLDOG.....	117
FIGURA 3.34 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- BULLDOG.....	118
FIGURA 3.35 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- BULLDOG.....	119

FIGURA 3.36 LONGITUDES AL BORDE Y TESTA DE LAS PROBETAS CON CONEXIONES TIPO APPEL	123
FIGURA 3.37 MODO DE FALLA MASCAREY APPEL CORTE SIMPLE	127
FIGURA 3.38 MODO DE FALLA CHANUL APPEL CORTE SIMPLE.....	128
FIGURA 3.39 MODO DE FALLA GUAYCÁN APPEL CORTE SIMPLE.....	129
FIGURA 3.40 CONEXIÓN APPEL PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA	130
FIGURA 3.41 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE DOBLE	130
FIGURA 3.42 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE DOBLE	131
FIGURA 3.43 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE DOBLE	132
FIGURA 3.44 CONEXIÓN APPEL PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA	133
FIGURA 3.45 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- APPEL.....	134
FIGURA 3.46 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- APPEL.....	135
FIGURA 3.47 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- APPEL.....	136
FIGURA 3.48 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- APPEL.....	137
FIGURA 3.49 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- APPEL.....	138
FIGURA 3.50 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- APPEL.....	139
FIGURA 3.51 LONGITUDES AL BORDE Y TESTA DE LAS PROBETAS CON CONEXIONES TIPO ALLIGATOR.....	143
FIGURA 3.52 MODO DE FALLA MASCAREY ALLIGATOR CORTE SIMPLE	147
FIGURA 3.53 MODO DE FALLA CHANUL ALLIGATOR CORTE SIMPLE	148
FIGURA 3.54 MODO DE FALLA GUAYCÁN ALLIGATOR CORTE SIMPLE	149
FIGURA 3.55 CONEXIÓN ALLIGATOR PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA.....	150
FIGURA 3.56 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE DOBLE	150

FIGURA 3.57 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE DOBLE.....	151
FIGURA 3.58 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE DOBLE	152
FIGURA 3.59 CONEXIÓN ALLIGATOR PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA.....	153
FIGURA 3.60 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- ALLIGATOR.....	154
FIGURA 3.61 CURVA CARGA VS POSICIÓN PROBETAS CHANUL- ALLIGATOR.....	155
FIGURA 3.62 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- ALLIGATOR.....	156
FIGURA 3.63 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- ALLIGATOR.....	157
FIGURA 3.64 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- ALLIGATOR.....	158
FIGURA 3.65 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- ALLIGATOR.....	159
FIGURA 4.1 DEFORMACIÓN DE CONECTORES EN MASCAREY	173
FIGURA 4.2 DEFORMACIÓN DE CONECTORES EN CHANUL.....	174
FIGURA 4.3 DEFORMACIÓN DE CONECTORES EN GUAYACÁN	176

RESUMEN

En construcciones con madera, uno de los aspectos más importantes y al mismo tiempo más vulnerables, son las uniones entre los diferentes elementos que conformarán la estructura.

En países desarrollados, la información técnica existente es amplia, por tanto lo que se pretende lograr con esta investigación es tomar dicha información y adaptarla a las condiciones del país.

Inicialmente se define las clases de maderas y tipos de conectores que se utilizarán.

A continuación se realiza un resumen de las normas que serán analizadas. En base a esto se determinan las características de las probetas y se obtiene los valores teóricos de la capacidad de carga de los diferentes tipos de uniones.

Seguido se procede a la fabricación de los conectores y posteriormente se arma las probetas que serán ensayadas.

Se ensaya las probetas a compresión en sentido perpendicular a la fibra, en donde se obtiene las curvas de carga vs deformación.

Se realiza un análisis de las curvas obtenidas y se define la carga admisible experimental, para con ello poder realizar un estudio comparativo entre los valores teóricos y los experimentales.

Procedemos a realizar una comparación entre los valores obtenidos en el ensayo perpendicular a la fibra con los que se obtuvieron en un estudio de una Tesis antes realizada en sentido paralela a la fibra.

Para finalizar se realiza un análisis comparativo entre las uniones con conexiones empernadas, respecto a las que utilizan conectores especiales, en cada tipo de madera.

PRESENTACIÓN

La presente investigación consta de 7 capítulos, los cuales están distribuidos como se indica a continuación:

Capítulo 1, presenta una introducción de los tipos de uniones y conectores existentes.

Capítulo 2, presenta un resumen de las normas existentes para el estudio de conexiones especiales, así como las características de las probetas a ser ensayadas y los valores de cargas admisibles teóricas, basadas en los tipos de conectores y maderas utilizadas.

Capítulo 3, detalla la construcción de los conectores y el armado de las probetas, además se describe el ensayo realizado a las mismas, y se presenta los resultados obtenidos experimentalmente.

Capítulo 4, presenta un análisis comparativo de los valores teóricos obtenidos con los diferentes códigos de diseño, y los valores experimentados obtenidos en los ensayos. Además se presenta una comparación entre los tipos de conectores utilizados.

Capítulo 5, presenta un análisis comparativo entre los valores que se obtuvieron al realizar el ensayo de las probetas en sentido perpendicular a la fibra con la presente investigación, con los que se obtuvieron en una investigación anterior realizada en sentido paralela a la fibra.

Capítulo 6, presenta las conclusiones y recomendaciones obtenidas en la presente investigación.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN

La madera como elemento estructural, presenta grandes ventajas como su bajo costo, poco peso, admite mayores deformaciones que otros materiales de construcción, además es un elemento estéticamente muy agradable. En el aspecto medioambiental, podemos mencionar que por ser un material biodegradable, los residuos generados no son perjudiciales. Además, al ser un material renovable, la madera proporciona otras ventajas para el sector de la construcción, como la versatilidad, que permite adaptarse a las necesidades de diseño proyectando diferentes formas y tamaños.

En el Ecuador, la construcción con madera se ha restringido a pequeñas edificaciones, y no ha tenido gran desarrollo debido a la incertidumbre que existe respecto a su comportamiento, esto ocasiona, entre otros, el uso inadecuado de factores de seguridad, que puede dar como resultado una estructura sobredimensionada y costosa, o por el contrario, una altamente vulnerable. El código ecuatoriano de la construcción, está basado en la Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), la cual tuvo la última modificación en 1986.

En construcciones con madera, uno de los aspectos más importantes, son las uniones o conexiones que sean capaces de transmitir los esfuerzos entre los diferentes elementos que conformarán la estructura.

La fuerza y estabilidad de cualquier estructura de madera depende en gran medida de los sistemas de fijación y sus partes conjuntas. Una de las ventajas de la madera como elemento de construcción es la facilidad con que las piezas estructurales se pueden unir con una amplia gama de clavos, tornillos, pernos, tirafondos, grapas, conectores, entre otros.

El diseño y el cálculo de las uniones son un punto clave en la materialización de las estructuras, y que define la calidad de la edificación, ya que estos nudos

deben ser capaces de transmitir los esfuerzos entre elementos sin comprometer la rigidez y geometría del sistema.

El progreso en la construcción con madera está fuertemente ligado al estudio y desarrollo tecnológico de los medios de unión. Existe un estudio de las cargas que soportan conexiones especiales sometidas a carga axial en sentido paralelo a las fibras que establece factores de relación entre las cargas experimentales y las obtenidas al obedecer las normas JUNAC, y otras Europeas y Americanas, pero debido al comportamiento anisótropo de la madera, no se pueden utilizar los mismos factores para el diseño cuando la carga se aplica perpendicularmente a la fibra, ya que se presentan propiedades resistentes muy diferentes según la dirección de los esfuerzos con respecto a la orientación de las fibras. Es por esto que si no se realiza esta investigación no se podrán tener factores de diseño para conexiones que unan elementos de madera sometidos a carga perpendicular a la fibra.

En países desarrollados, la información técnica existente es amplia, y existen códigos para específicamente el diseño en madera, en Estados Unidos el "National Design Specification for Wood Construction", en Europa el "DIN 1052", o el "EUROCÓDIGO 5", entre otros. Además existen varios tipos de conexiones patentadas y en consecuencia costosas para nuestro medio. Por tanto lo que se pretende lograr con esta investigación es tomar dicha información y adaptarla a las condiciones de nuestro entorno, contribuyendo al desarrollo de un campo poco estudiado en el país y aportando a que la construcción con madera se diversifique, ya que con el conocimiento de la capacidad que brindan las conexiones, la construcción será más segura y económica, utilizando los coeficientes de seguridad necesarios.

1.1 ANTECEDENTES

La evolución en el diseño y ejecución de las estructuras de madera está fuertemente ligada al desarrollo tecnológico de los medios de unión.

Las estructuras en madera se materializan uniendo dos o más elementos independientes que convergen en un punto, conformando la estructura soportante.

Las intersecciones de elementos estructurales dan origen a nudos o uniones (sectores más vulnerables de las construcciones de madera), los cuales deben ser resueltos en el diseño considerando aspectos estructurales (resistencia y transmisión de las cargas), arquitectónicos (si quedará a la vista o no el nudo) y constructivos (procedimientos y consideraciones para la materialización de la unión).

Por este motivo, las uniones constituyen los puntos débiles de una estructura de madera, que en caso de fallo puede llevar al colapso total o parcial de la estructura, suponiendo además un elevado costo debido a la utilización de elementos de conexión y a su montaje.

1.1.1 MEDIOS DE UNIÓN:

- Madera – Madera
- Colas
- Clavijas: Pernos, Pasadores, Tornillos, Clavos y Agujas
- Conectores o Llaves, entre otros.

1.1.1.1 Conexiones Madera – Madera:

Se efectúa conectando madera con madera sin utilizar piezas metálicas salvo como enlace o refuerzo.

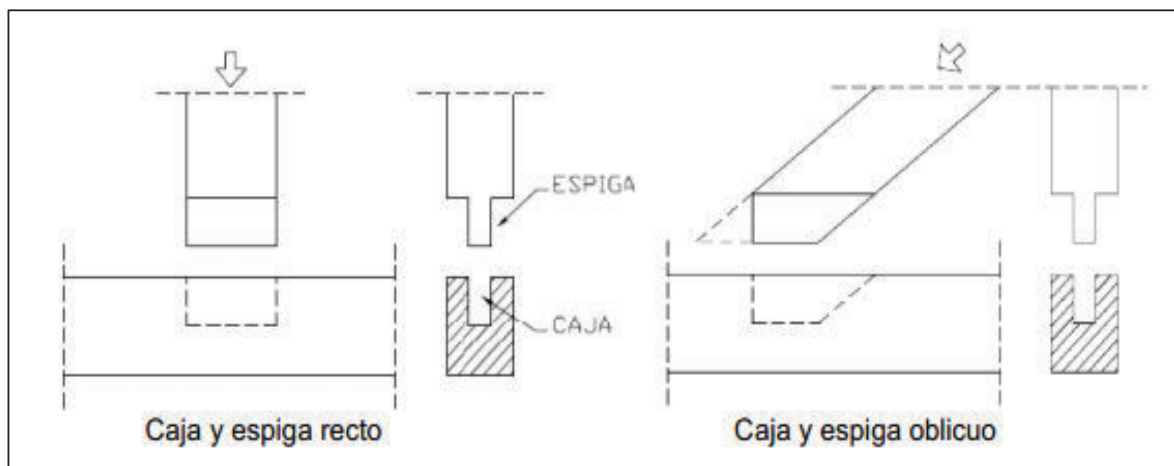
Se clasifican en:

- a) *Ensamblés.*

En este tipo de uniones tradicionales las piezas de madera se encuentran formando un ángulo determinado.

- A caja y espiga
- Con espera: oblicuo a media madera o sin caja y espiga
- A media madera
- Por encepado

FIGURA 1.1 ENSAMBLES DE CAJA Y ESPIGA EN UNIONES A COMPRESIÓN

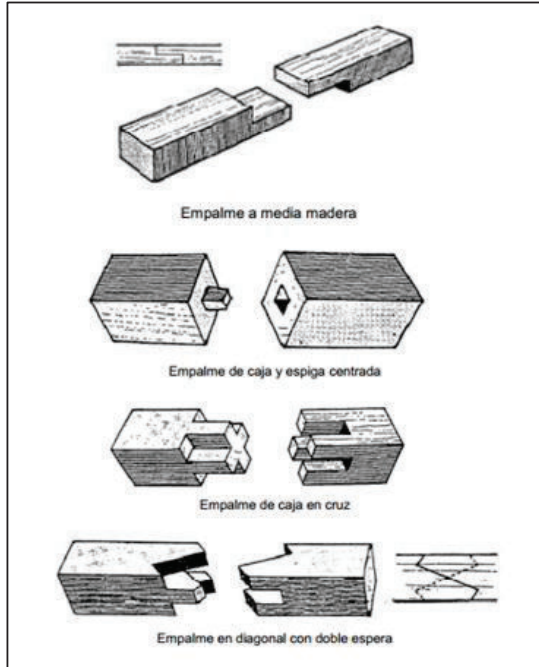


FUENTE: Uniones en estructuras de madera - Confemadera.

b) Empalmes.

El empalme consiste en la unión de las piezas por sus testas.

FIGURA 1.2 TIPOS DE EMPALMES EN PIEZAS COMPRIMIDAS.



FUENTE: Tesis Madera Estructural, Tipología y Cálculo de uniones, 2011, pág 156.

ELABORACIÓN: Arq. Bárbara Gálvez Gabarda.

1.1.1.2 Uniones Encoladas

Consiste en unir las piezas mediante adhesivos o colas extendidos entre las superficies en contacto.

Colas naturales, de origen natural o animal: celulósicas, a la caseína, de albúmina de sangre.

Adhesivos sintéticos: urea formaldehído (ureicas) o resorcinolformaldehído (fenólicas).

FIGURA 1.3 CLASES DE COLAS Y SUS USOS.

Tipo de cola	Maderas	Cortante admisible MPa	Usos
Caseína	Blanda y húmeda	4	Ebanistería
	Blanda y seca	1	Carpintería
	Dura y húmeda	7	
	Dura y seca	1,5	
Urea formaldehído	Blanda y húmeda	3	Carpintería estructural
	Blanda y seca	6	Tableros
	Dura y húmeda	4	Contrachapados
	Dura y seca	8	
Fenol - formol	Blanda y húmeda	2,5	Carpintería estructural
	Blanda y seca	3	Tableros
	Dura y húmeda	4	Contrachapados
	Dura y seca	5	

FUENTE: Conexiones de las piezas de madera, 2004, pág. 156.

ELABORACIÓN: Ing. Daniel A. García.

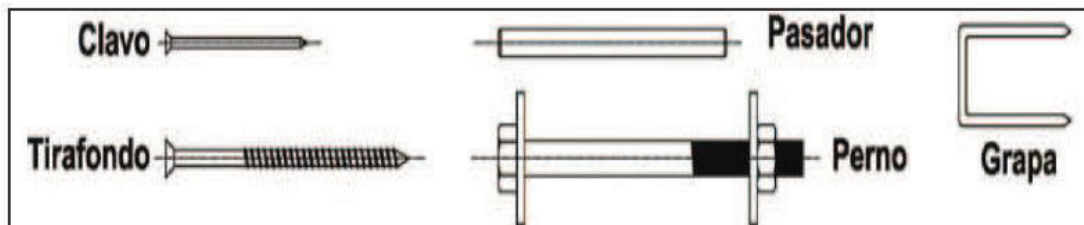
1.1.1.3 Uniones Clavija

Estos elementos de unión son de tipo mecánico. Clavos, pernos, pasadores, grapas y tirafondos atraviesan las piezas de madera que unen, generando así, esfuerzos de aplastamiento localizadas en las fibras de madera, y esfuerzos de flexión y cortante en el vástago de las clavijas. Los tipos de uniones son:

- a) **Clavos:** Se utilizan para unir madera entre sí, madera a contrachapado y madera con acero. El diámetro generalmente varía entre 1.2 y 8mm, y su longitud entre 40 y 200 mm.
- b) **Tirafondos o tornillos para madera:** Se usan para mantener en posición otros conectores de superficie, para anclar otras piezas o para sostener herrajes en tracción. Tienen elevada capacidad para resistir esfuerzos de tracción. Se conforman de cabeza y vástago o fuste, con un tramo liso llamado caña y la zona roscada desde el extremo (cuerda). Su diámetro varía entre 2 y 20 mm, y su longitud entre 25 a 300 mm.
- c) **Pasadores:** Se utilizan para unir maderas entre sí, se colocan a presión o encoladas. Este tipo de clavija consta de una barra de acero circular

con los bordes biselados. Su principal aplicación, en las estructuras de madera laminada, es la de unir piezas de madera a herrajes en el alma. Aunque el pasador no dispone de cabeza ni tuercas que impidan su movimiento lateral, el hecho de que el pasador entre con cierta presión en el taladro y la propia entrada del pasador impiden el movimiento lateral.

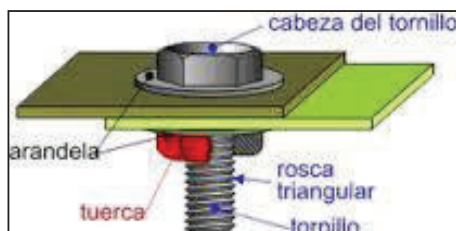
FIGURA 1.4 TIPOS DE UNIONES CLAVIJAS



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

- d) Pernos:** Son elementos de fijación formados por barras metálicas de sección circular con cabeza hexagonal o cuadrada en un extremo, rosca o tuerca en el otro. Se utilizan para unir madera entre sí, madera a contrachapado y madera con acero. El diámetro generalmente varía entre 10 y 30 mm, son de acero dulce, no menor que F24. Estos pernos deben presentar un tratamiento de protección frente a la corrosión, el más recomendado es la galvanización en caliente. Es importante la utilización de arandelas que eviten el aplastamiento de la madera, cuyo diámetro debe ser al menos 3 veces mayor al correspondiente perno, y un espesor de 0.3 veces el mismo diámetro.

FIGURA 1.5 PARTES DE UN TORNILLO



FUENTE: <http://silvia-misconexionescontigo.blogspot.com/>

ELABORACIÓN: Silvia Isaza de Torres

1.1.1.4 Uniones con conectores

Estos elementos de fijación, son medios de unión tipo mecánico que transmiten los esfuerzos a través de una superficie mayor que los elementos tipo clavija. Se emplean cuando es necesario transmitir cargas elevadas y en elementos de madera de mayor sección. Los conectores se introducen ajustándolos entre dos piezas de madera y se afianzan mediante un perno que atraviesa las piezas.

Según la norma UNE-EN 912 los conectores se clasifican en:

GRUPO A: Conectores de tipo anillo

GRUPO B: Conectores de tipo placa

GRUPO C: Conectores de placa dentada

GRUPO D: Conectores de madera

1.1.1.4.1 Conectores tipo Anillo (GRUPO A)

Son conectores con forma de anillo que pueden ser cerrados o abiertos, se insertan entre dos piezas de madera a unir, alojando la mitad de su altura en cada una de ellas. Se denominaban también Tipo Appel.

FIGURA 1.6 CONECTORES DE ANILLO (TIPO A)

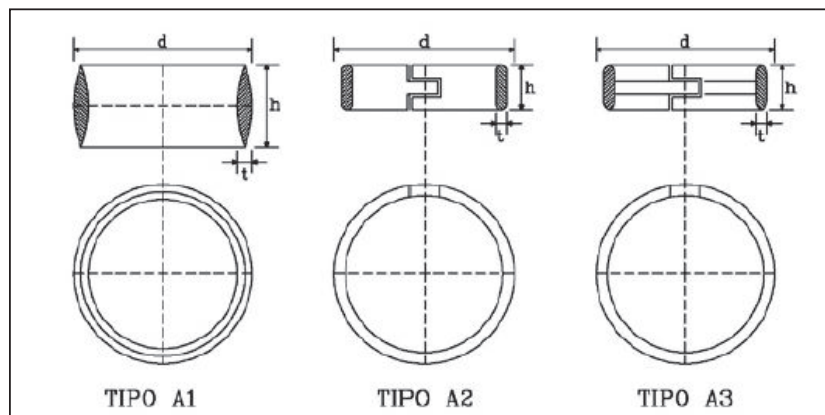
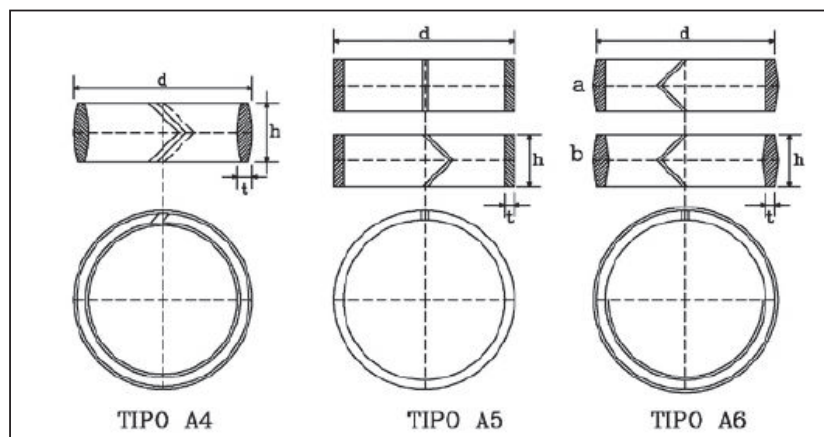


FIGURA 1.7 CONECTORES DE ANILLO (TIPO A) (Continuación)

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

1.1.1.4.2 Conectores de placa (GRUPO B)

Estos conectores tienen forma de placa circular, con una pestaña en uno de sus lados que se inserta en una caja realizada en la pieza de madera. Se emplean para unir madera con acero y madera con madera, y el orificio central alija al perno que completa la unión. Su diámetro abarca desde los 65 hasta 190 mm. Antes se llamaban conectores tipo Kübler.

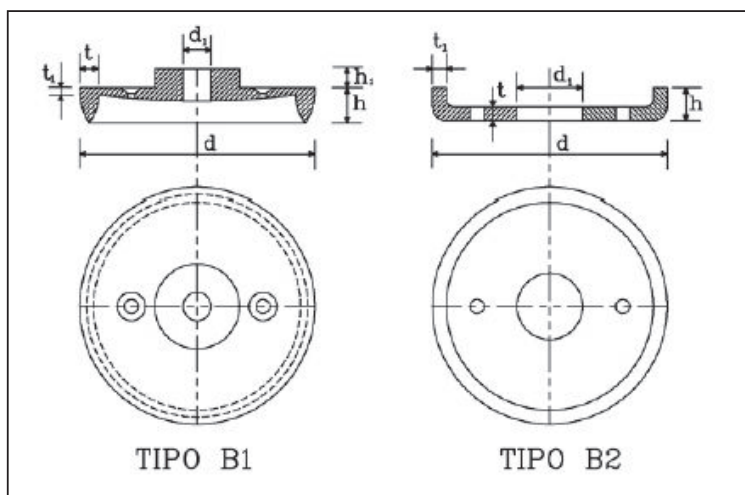
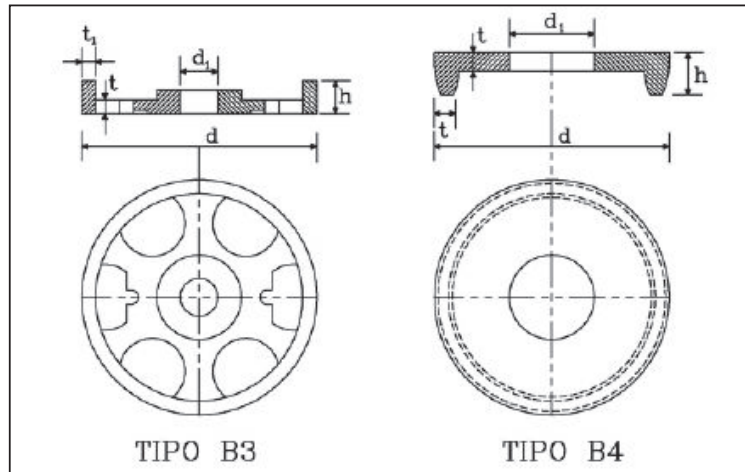
FIGURA 1.8 CONECTORES DE PLACA (TIPO B)

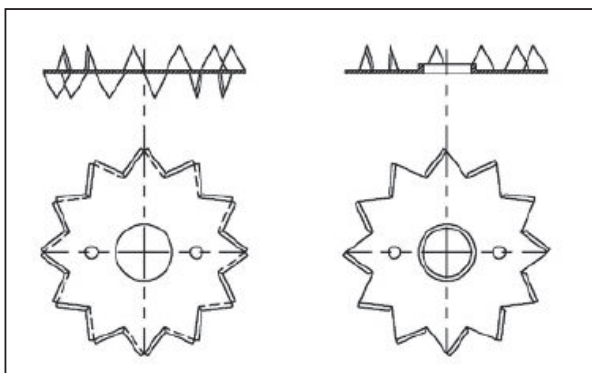
FIGURA 1.9 CONECTORES DE PLACA (TIPO B) (Continuación)

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

1.1.1.4.3 Conectores de placa dentada (GRUPO C)

Dentro de estos, se distinguen dos grupos principales:

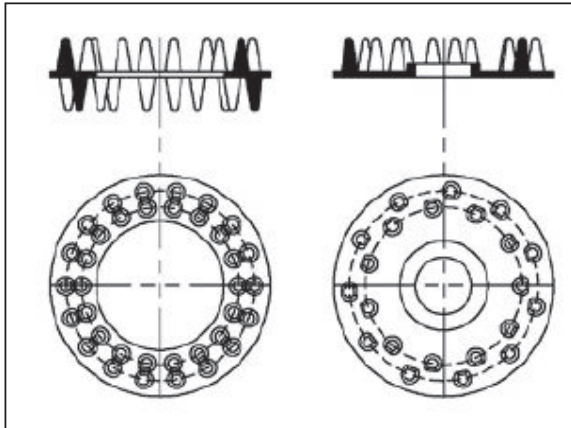
- a) Los conectores en forma de placa con dientes de aspecto triangular (púas), que pueden situarse a un lado o a ambos de la placa. Su forma puede ser circular, rectangular o cuadrada, y su diámetro varía desde 38 hasta 165 mm. Anteriormente se denominaban conectores tipo Bulldog.

FIGURA 1.10 CONECTORES DE PLACA CON DIENTES TRIANGULARES

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

- b) Conectores con dientes con forma troncocónica, pueden ser dentados a una o a dos caras, y su diámetro varía entre 50 y 115 mm. Anteriormente se denominaban tipo Geka.

FIGURA 1.11 CONECTORES DE PLACA CON DIENTES TRONCOCÓNICOS



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

FIGURA 1.12 CLASIFICACIÓN CONECTORES DE PLACA DENTADA (TIPO C)



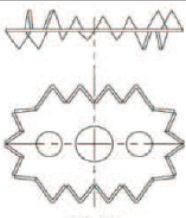
 <p style="text-align: center;">TIPO C1</p>	<p>Tipo C1: Conector de doble cara en forma de placa circular de dientes triangulares cortados y plegados proyectados alternativamente a ambos lados de la placa, con dos orificios para clavos equidistantes del orificio para perno, fabricados con bandas de acero bajo en carbono conformado en frío 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 frío y no revestidas según norma UNE-EN 10139 o chapas laminadas en frío de acero de alta elasticidad para conformado en frío según norma UNE-EN 10268.</p>

FIGURA 1.13 Continuación

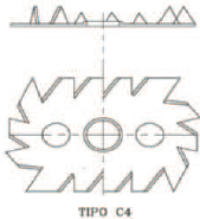

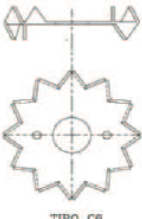


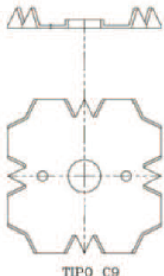
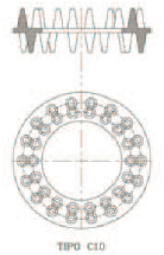
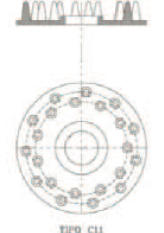
 <p style="text-align: center;">TIPO C4</p>	<p>Tipo C4: Conector con características similares al C3 pero con los dientes en una sola cara. El orificio para el perno está rodeado de una brida embutida en el mismo lado del dentado, fabricado con el mismo material del conector tipo C3.</p>
 <p style="text-align: 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 frío y no revestidas según la norma UNE-EN 10139 o chapas laminadas en frío de acero de alta elasticidad para conformado en frío 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 frío según norma UNE-EN 10142 y 10147.</p>
 <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 frío según norma UNE-EN 10142 y 10147.</p>

FIGURA 1.14 Continuación

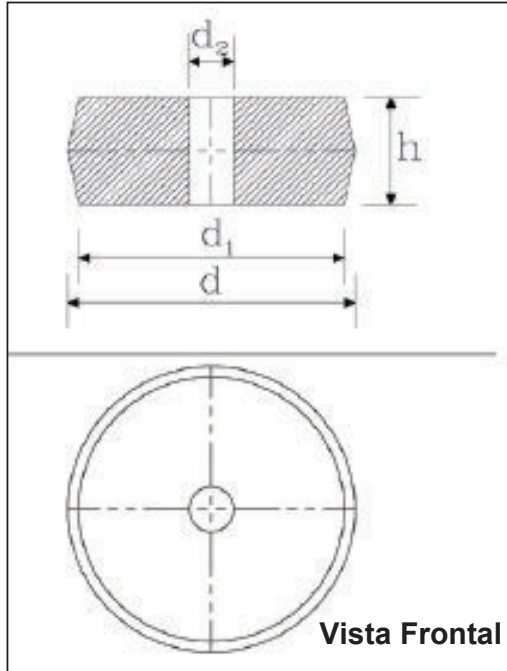
	<p>Tipo C9: Conector de características similares al C8 pero con 16 dientes en una sola cara. El orificio para perno está rodeado de una brida embutida en el mismo lado del dentado, fabricado con el mismo material del conector tipo C8.</p>
	<p>Tipo C10: Conector de doble cara en forma de anillo con dientes 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>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: Tesis Ensayo de Conexiones especiales de madera sometidas a carga axial, 2013, pág. 9-10.

ELABORACIÓN: Ing. Criollo Esteban, Ing. Quijia Sebastián.

1.1.1.4.4 Conectores de madera (GRUPO D)

Dentro de este grupo solo se contempla un único tipo denominado D1. Este conector es de doble cara en forma de bloque cilíndrico con perfil biselado y con un agujero central para el perno. Se fabrican con madera limpia de roble, con una densidad característica mayor a 600 kg/m³ y con un contenido de humedad durante la fabricación no superior al 18%. La dirección de la fibra debe ser perpendicular al eje del perno.

FIGURA 1.15 CONECTORES DE MADERA (TIPO D)

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

Mediante el estudio teórico – experimental de conexiones especiales de madera sometida a carga axial en sentido perpendicular a la fibra, reducir la incertidumbre que se genera por la falta de conocimiento de las mismas, limitando su uso en nuestro país.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar experimentalmente la rigidez de conexiones especiales para madera sometida a carga axial.
- Comprobar si las cargas obtenidas mediante los códigos son los adecuados para maderas locales.
- Determinar las propiedades mecánicas de las conexiones especiales de madera sometida a carga axial en sentido perpendicular a la fibra y evaluar su comportamiento.
- Realizar un análisis comparativo entre las conexiones sometidas a carga axial en sentido perpendicular y paralelas a la fibra.

1.2.3 DESCRIPCIÓN

En este estudio teórico experimental se pretende ensayar tres tipos diferentes de conexiones, las cuales son: tipo Bulldog, tipo Appel y tipo Aligator, todas ellas realizadas en: Guayacán (madera dura estructural tipo A), Chanul (madera intermedia Tipo B), y Mascarey (madera blanda tipo C), siendo esta la clasificación de la madera estructural propuesta por la JUNAC, con uno y dos planos de cizallamiento.

Las conexiones TIPO A1 (Appel, según la clasificación del "Eurocódigo 5"), consisten en anillos con bordes perfilados, los cuales deben incrustarse en la madera y ajustarse mediante pernos pasadores.

Las conexiones TIPO C2 (Bulldog, según la clasificación del "Eurocódigo 5"), 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.

Las conexiones tipo Alligator, cuyas especificaciones se encuentran en las normas "DIN 1052", consisten en anillos con bordes dentados tipo zigzag, los

cuales deben incrustarse en la madera a ser unida y se ajustan mediante pernos pasadores.

Todos los conectores se dimensionarán según los criterios de los códigos existentes, pero se debe tomar en cuenta las limitaciones existentes que pueden presentarse, tales como: los tipos de materiales y sus dimensiones, la maquinaria a ser empleada de acuerdo a la disponibilidad en el mercado local.

Se tomará como referencia la tesis “ENSAYO DE CONEXIONES ESPECIALES DE MADERA SOMETIDAS A CARGA AXIAL”, realizada en la Escuela Politécnica Nacional en el año 2013, en la cual se desarrolla el ensayo de las mismas conexiones y tipos de madera que se utilizará en la presente, con la diferencia de que en dicho estudio, la carga se aplicó en dirección paralela a la fibra.

La realización de este proyecto, se hará mediante el proceso descrito a continuación:

- Fabricación de los diferentes tipos de conectores (Tipo Bulldog, Alligator y Appel).
- Preparación de las probetas de madera, para la elaboración de las conexiones y su unión con los respectivos conectores.
- Ensayo de las diferentes probetas.
- Recolección de datos obtenidos de los ensayos y posterior análisis de los mismos, así como de las propiedades mecánicas de las conexiones.
- Obtención de los coeficientes de rigidez para las diferentes conexiones.
- Comparación de los valores de carga experimentales con los teóricos.
- Comparación de los resultados obtenidos en el ensayo, respecto a los resultados del ensayo similar en dirección paralela a la fibra.
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones de la presente investigación.

Para la realización de lo anterior se necesitará Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011), Eurocódigo 5 y códigos de diseño JUNAC, DIN 1052 y NDS, máquina universal disponible en la Escuela Politécnica Nacional.

En total serán 72 probetas, tres de cada tipo de conexión en las tres maderas utilizadas, y sometidas a corte simple y doble, se ensayarán a COMPRESIÓN EN DIRECCIÓN PERPENDICULAR A LA FIBRA.

CAPÍTULO 2

ESTUDIO TEÓRICO

El presente capítulo detalla los diferentes métodos de cálculo para las cargas admisibles, de acuerdo a los códigos de diseño para madera, correspondientes a los conectores especiales utilizados: Bulldog, Appel, Alligator, para esto previamente se estudiarán normas para calcular cargas admisibles de uniones empernadas, ya que el perno es parte integrante de cada una de las conexiones.

2.1 CONEXIONES CON PERNOS

2.1.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”

Los ensayos de las conexiones empernadas son muy importantes en este estudio, ya que el perno es parte integrante de todas las otras conexiones, es por eso que para el cálculo teórico de las capacidades portantes de las conexiones se debe sumar la resistencia de la conexión en sí más la resistencia del perno.

Para poder aplicar esta norma, los pernos deben ser de acero de grado estructural, con esfuerzo de fluencia no menor que 2300 Kg/cm². Y además deben colocarse arandelas o pletinas metálicas entre la cabeza del perno y la madera y entre la tuerca y la madera, para evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos.¹

En la determinación de las cargas admisibles de una unión empernada según la JUNAC, se debe considerar:

¹ JUNAC, Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, 1980, Capítulo 12: UNIONES, pág. 12-13

- El grupo estructural de la madera (A, B, C) y la condición de la madera utilizada.
- La calidad y el 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 madera.
- El espesor de los elementos de madera.
- El número de pernos empleados y su ubicación en la unión.

La JUNAC presenta la siguiente tabla de cargas admisibles (TABLA 2.1), basadas en resultados experimentales que han obedecido la norma ASTM D 1761 – 74 (10,6b), de uniones con pernos de 1.27 cm (1/2”) sometidos a doble cizallamiento, en 46 especies de madera abarcando los tipos A, B, C, con uniones cargadas paralelamente al grano **P**, o en dirección perpendicular al grano del elemento central **Q**, y con relaciones l/d , de 2, 4, 6, u 8, en donde (l) es el espesor del elemento central, y d el diámetro del perno.

En todos los casos el espesor de cada uno de los elementos fue igual a la mitad del elemento central.

TABLA 2.1 CARGAS ADMISIBLES PARA UNIONES EMPERNADAS DOBLE CIZALLAMIENTO

				GRUPO A		GRUPO B		GRUPO C	
I	D	D	l/d	P	Q	P	Q	P	Q
cm	cm	Pulg		kg	Kg	kg	kg	kg	kg
2.0	0.63	1/4	3.2	195	88	131	58	75	34
	0.95	3/8	2.1	297	101	196	67	113	39
	1.27	1/2	1.6	396	117	261	78	151	45
	1.58	5/8	1.3	495	132	326	88	188	51
3.0	0.63	1/4	4.8	229	124	179	88	113	51
	0.95	3/8	3.2	438	152	294	101	169	59
	1.27	1/2	2.4	594	176	392	117	226	68
	1.58	5/8	1.9	743	198	489	132	282	77

TABLA 2.2 Continuación

4.0	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
	1.58	5/8	2.6	990	264	653	175	376	102
	1.90	¾	2.1	1188	299	783	199	452	116
5.0	0.95	3/8	5.3	536	226	420	168	268	98
	1.27	½	3.9	851	293	653	195	376	114
	1.58	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
	1.58	5/8	4.1	1350	428	1061	285	611	166
	1.90	¾	3.4	1809	486	1273	323	734	188
8.0	0.95	3/8	8.4	645	289	501	235	318	156
	1.27	½	6.2	1024	385	799	303	511	182
	1.58	5/8	5	1465	481	1148	351	731	205
	1.90	¾	4.2	1963	595	1544	397	903	232
9.0	0.95	3/8	9.5	676	308	523	253	329	169
	1.27	½	7.1	1072	409	835	326	535	205
	1.58	5/8	5.7	1535	512	1200	395	766	230
	1.90	¾	4.7	2057	633	1614	447	1016	261
10.0	0.95	3/8	10.5	704	325	544	270	339	181
	1.27	½	7.9	1118	433	869	348	555	227
	1.58	5/8	6.3	1600	541	1248	426	799	256
	1.90	¾	5.3	2144	669	1679	497	1070	290

FUENTE: JUNTA DEL ACUERDO EN CARTAGENA (JUNAC), Manual de diseño para maderas del grupo andino, pág. 12-14

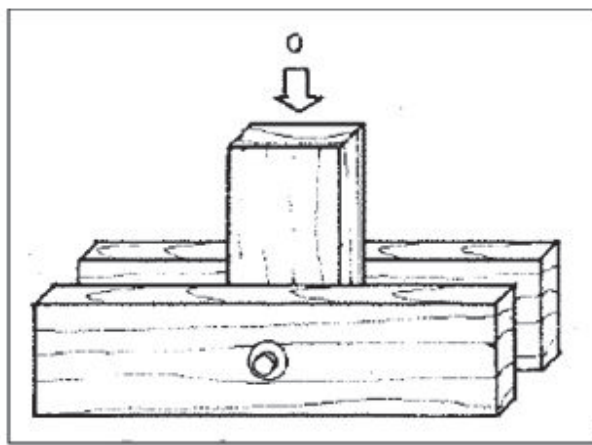
Estas cargas están en función del grupo estructural de madera utilizada (A, B, C), y donde:

- ***l***: longitud definida como el menor valor entre el espesor del elemento central o el doble del espesor del elemento más delgado (cm)
- ***d***: diámetro del perno (cm-pulg)
- ***l/d***: relación entre longitud y diámetro del perno.
- **P**: Cargas admisibles en dirección paralela a la fibra (kg)
- **Q**: Cargas admisibles en dirección perpendicular a la fibra (kg)

2.1.1.1 Cargas Admisibles para uniones sometidas a doble cizallamiento:

Para uniones con tres elementos de madera y con un solo perno sometido a doble cizallamiento, con las cargas perpendiculares a la fibra en los elementos laterales y paralela a la fibra en el elemento central (FIG. 1.8), la carga admisible se puede determinar directamente a partir de la tabla 2.1.

FIGURA 2.1 UNIÓN EMPERNADA SOMETIDA A CIZALLAMIENTO SIMPLE, CARGA PERPENDICULAR A LA FIBRA EN UN ELEMENTO Y PARALELA A LA FIBRA EN EL OTRO.



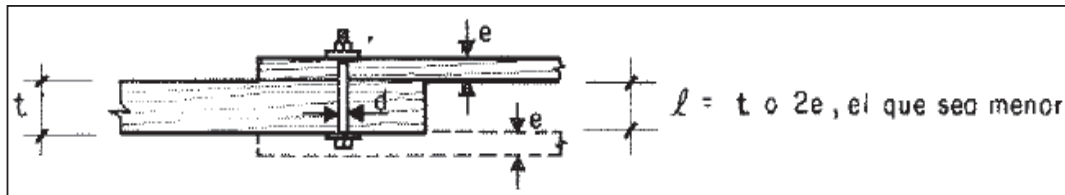
FUENTE: JUNTA DEL ACUERDO EN CARTAGENA (JUNAC), Manual de diseño para maderas del grupo andino, pág. 12-15

2.1.1.2 Cargas Admisibles para uniones sometidas a simple cizallamiento:

Este valor de carga admisible puede considerarse como la mitad de la carga para una unión con doble cizallamiento. Para lo cual el elemento central puede tomarse con igual espesor y orientación que el elemento más grueso en la unión a simple

cizallamiento; los elementos laterales deben considerarse con el espesor y orientación del elemento más delgado, como muestra la figura:

FIGURA 2.2 UNIÓN EMPERNADA SOMETIDA A CIZALLAMIENTO SIMPLE, CARGA PERPENDICULAR A LA FIBRA EN UN ELEMENTO Y PARALELA A LA FIBRA EN EL OTRO.



FUENTE: JUNTA DEL ACUERDO EN CARTAGENA (JUNAC), Manual de diseño para maderas del grupo andino, pág. 12-17.

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

Capacidad de carga para pernos con carga lateral sometidos a simple y doble cizallamiento:

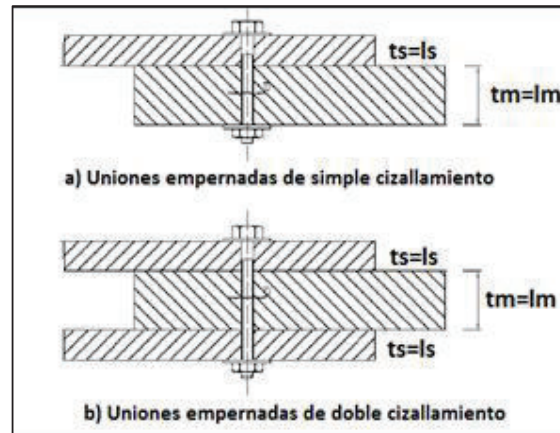
Según las Normas Americanas para construcciones en madera, el valor nominal de diseño, Z , de un perno sometido a fuerza axial en una unión de simple o doble cizallamiento (FIGURA 2.3), están en función del modo de falla (FIGURA 2.4).

Además la norma, indica que para la aplicación de estas expresiones, se deben cumplir las siguientes consideraciones:

- a) Las caras de las piezas unidas se encuentren en estrecho contacto.
- b) Las cargas actúen perpendicularmente al eje conector.
- c) Se respeten los espaciamientos mínimos entre medios de unión y los bordes, de tal manera que sean suficientes para desarrollar los valores de diseño.

d) 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.

FIGURA 2.3 UNIÓN EMPERNADA SOMETIDA A CIZALLAMIENTO SIMPLE Y DOBLE.



FUENTE: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction. (2011). Pág. 72

FIGURA 2.4 MODOS DE FLUENCIA EN UNIONES EMPERNADAS DE MADERA CON CIZALLAMIENTO SIMPLE Y DOBLE.

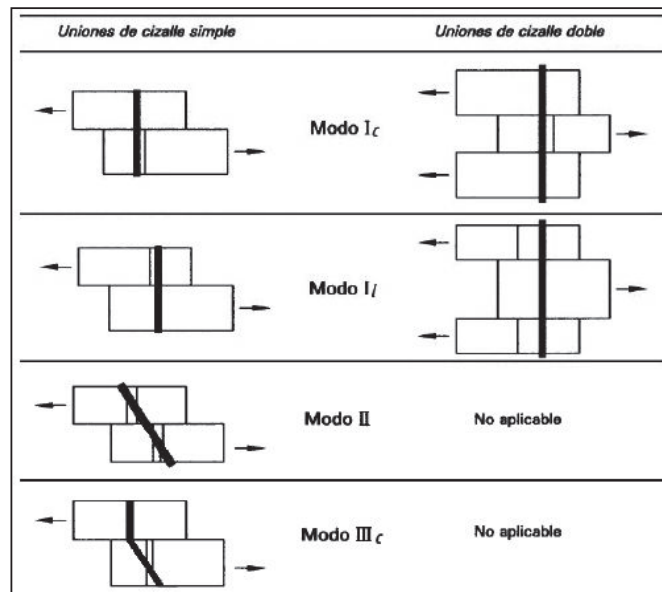
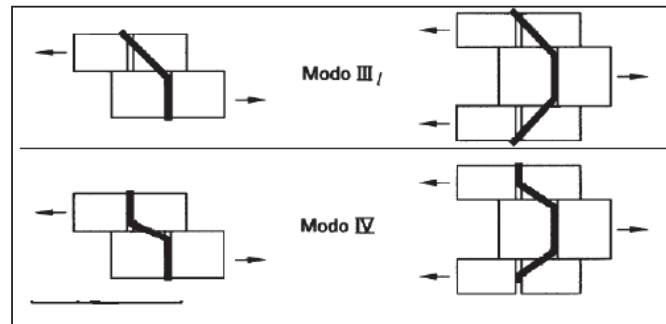


FIGURA 2.5 Continuación



FUENTE: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction. (2011). Pág. 72

2.1.2.1 Descripción de modos de falla:

- *Capacidad modo I:* La madera se aplasta en el miembro principal o laterales, la rigidez del sujetador es mayor que el de la madera.
- *Capacidad modo II:* Aplastamiento localizado solo en la superficie de los miembros de madera, provocando un giro del sujetador rígido, en el plano de corte.
- *Capacidad modo III:* El sujetador se flexiona y comienza a funcionar en rango plástico, en un punto donde el plano de corte está asociado al aplastamiento de la madera.
- *Capacidad modo IV:* El sujetador se flexiona y se producen dos puntos de funcionamiento plástico, en los planos de corte asociados al aplastamiento de la madera.

TABLA 2.3 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. (2011). Pág. 71

Donde:

- **D:** Diámetro del perno (pulgadas).
- **I_m:** Espesor del miembro principal (pulgadas).
- **I_s:** Espesor del miembro secundario (pulgadas).
- **F_{yb}:** Límite elástico de flexión del perno (psi).
- **F_{em}:** Capacidad portante del perno en el miembro principal determinado en la tabla 2.4 (psi)
- **F_{es}:** Capacidad portante del perno en el miembro secundario, determinado en la tabla 2.4 (psi)
- **R_d:** Término de reducción expresado en la tabla 2.3
- **R_e:** Relación F_{em} / F_{es}
- **R_t:** Relación I_m / I_s

Los términos k1, k2, k3 son constantes determinadas como sigue:

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

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

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

TABLA 2.4 ECUACIONES PARA DETERMINAR EL TÉRMINO DE REDUCCIÓN R_d

Diámetro del conector	Modo de falla	Término de reducción R_d
$\frac{1}{4}'' \leq D \leq 1''$	I _m , I _s	4 K_θ
	II	3.6 K_θ
	III _m , III _s , IV	3.2 K_θ
$D < \frac{1}{4}''$	I _m , I _s , II , III _m , III _s , IV	K_D

FUENTE: AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. National Design Specification for Wood Construction. (2011). Pág. 72

En donde:

- **D** Diámetro del conector (pulgadas)
- **K_θ** se determina como sigue:

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90) \quad (2.4)$$

- **θ** Ángulo máximo de carga a la fibra ($0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$), para cualquier miembro de la conexión.
- **K_D** = 10 D + 0.5 para $0.17'' < D < \frac{1}{4}''$
- **K_D** = 2.2 para $D \leq 0.17''$

Las normas "National Design Specification for Wood Construction" proponen valores nominales de diseño para conectores con pernos, los cuales 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 sometido a simple y doble cizallamiento:

La capacidad portante del perno 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.

Para pernos con diámetros menores a $\frac{1}{4}''$, la capacidad portante del perno F_e es la misma tanto para cargas paralelas, como para perpendiculares a la fibra.

TABLA 2.5 CAPACIDAD PORTANTE DEL PERNO SEGÚN LA NDS

Gravedad Específica	CAPACIDAD PORTANTE DEL PERNO (libras por pulgada cuadrada - PSI ²)										
	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
0.7	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
0.6	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
0.5	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
0.4	3100	4500	3250	2900	2650	2450	2300	2050	1850	1750	1600

TABLA 2.6 Continuación

Gravedad Específica	CAPACIDAD PORTANTE DEL PERNO (libras por pulgada cuadrada - PSI ²)										
	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"
0.39	2950	4350	3100	2800	2550	2350	2200	1950	1800	1650	1550
0.38	2800	4250	3000	2700	2450	2250	2100	1900	1750	1600	1500
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. (2011). Pág. 73

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

2.1.3.1 Capacidad de carga para pernos con carga lateral sometidos a doble cizallamiento:

La capacidad de carga para pernos en cizallamiento doble, es el mínimo valor obtenido de las siguientes expresiones:

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d \quad (g) \quad (2.5)$$

$$F_{v,Rk} = 0.5 f_{h,2,k} t_2 d \quad (h) \quad (2.6)$$

$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (j) \quad (2.7)$$

$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (k) \quad (2.8)$$

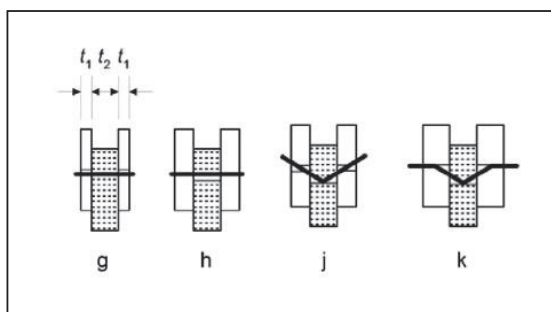
Con

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (2.9)$$

En donde:

- $F_{v,Rk}$ Valor de la capacidad de carga por plano de corte y medio de fijación (Newtons)
- t_i Espesor de la madera, siendo i igual a 1 ó 2 de acuerdo a la figura 2.7 (mm)
- $f_{h,i,k}$ Valor de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera i (N/mm²)
- d Diámetro del medio de fijación (mm).
- $M_{y,Rk}$ Valor del momento plástico del medio de fijación (Nmm)
- β Relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas;
- $F_{ax,Rk}$ Valor de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación (en caso de pernos el 25%). (Newtons).

FIGURA 2.6 MODOS DE FALLA PARA CORTE DOBLE.



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

2.1.3.2 Capacidad de carga para pernos con carga lateral sometidos a simple cizallamiento:

La capacidad de carga para pernos según el plano de corte y medio de fijación, es el mínimo valor obtenido de las siguientes expresiones:

$$F_{v,Rk} = f_{h,1,k} t_1 d \quad (2.10)$$

$$F_{v,Rk} = f_{h,2,k} t_2 d \quad (2.11)$$

$$F_{v,Rk} = \frac{f_{h,1,k}t_1d}{1+\beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (2.12)$$

$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k}t_1d}{2+\beta} \left[\sqrt{2\beta(1+\beta) + \frac{4\beta(2+\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (2.13)$$

$$F_{v,Rk} = 1.05 \frac{f_{h,1,k}t_2d}{1+2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1+\beta) + \frac{4\beta(1+2\beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k}dt_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (2.14)$$

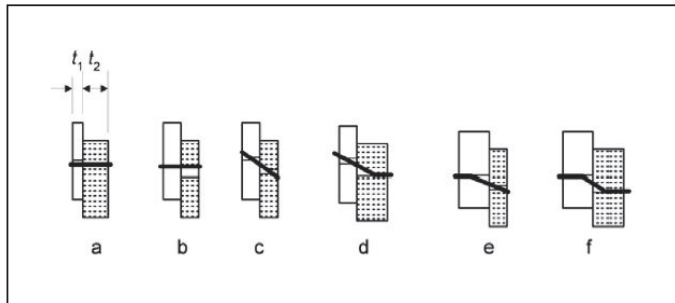
$$F_{v,Rk} = 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1+\beta}} \sqrt{2M_{y,Rk}f_{h,1,k}d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \quad (2.15)$$

Con

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} \quad (2.16)$$

En donde:

- $F_{v,Rk}$ Valor de la capacidad de carga por plano de corte y medio de fijación (Newtons)
- t_i Espesor de la madera, siendo i igual a 1 ó 2 de acuerdo a la figura 2.8 (mm)
- $f_{h,i,k}$ Valor de la resistencia al aplastamiento en la pieza de madera i (N/mm²)
- d Diámetro del medio de fijación (mm).
- $M_{y,Rk}$ Valor del momento plástico del medio de fijación (Nmm)
- β Relación entre las resistencias al aplastamiento de las piezas;
- $F_{ax,Rk}$ Valor de la capacidad de carga al arranque del medio de fijación (en caso de pernos el 25%). (Newtons)

FIGURA 2.7 MODOS DE FALLA PARA CORTE SIMPLE.

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

En las ecuaciones correspondientes para el cálculo de $F_{v,Rk}$ **para simple y doble cizallamiento**, el primer término del lado derecho es la capacidad de carga de acuerdo a la teoría de plastificación de Johansen, mientras que el término $F_{ax,Rk}/4$ es la contribución del efecto sogá, que de acuerdo al Eurocódigo 5 deberá considerarse como un porcentaje de la obtenida con la teoría de Johansen. Para el caso de pernos el efecto sogá se tomará como el 25% de Johansen.²

2.1.3.3 Resistencia al aplastamiento:

En pernos el valor del momento plástico es:

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} d^{2.6} \quad (2.17)$$

En donde:

- $M_{y,Rk}$ Valor del momento plástico (Nmm)
- $F_{u,k}$ Valor de la resistencia a tracción (N/mm²)
- d Diámetro del perno (mm)

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

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

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\text{sen}^2\alpha + \text{cos}^2\alpha} \quad (2.18)$$

$$f_{h,0,k} = 0.082 (1 - 0.01d)\rho_k \quad (2.19)$$

Donde el valor de k_{90} , se toma como:

1.35 + 0.015d para coníferas

1.30 + 0.015d para madera microlaminada

0.90 + 0.015d para frondosas

- $f_{h,0,k}$ Valor de la resistencia al aplastamiento paralelo a la fibra (N/mm²)
- ρ_k Valor de la densidad de la madera (Kg/m³)
- α Ángulo formado entre la dirección de la carga y la fibra;
- d Diámetro del perno (mm).

2.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

Se realizaron ensayos con cada tipo de madera estructural, 6 muestras de MASCAREY, 6 muestras de CHANUL y 5 muestras de GUAYACÁN; utilizados para el presente estudio.

Cada muestra tenía dimensiones aproximadas de 5 x 5 x 5cm, como lo muestran las especificaciones de la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1 160 “referido al Contenido de Humedad” e INEN 1 162 “referido a la Densidad”, las cuales indican que las dimensiones mínimas de las probetas deben ser 25mm a lo largo de la fibra y con un volumen mínimo de 33cm³.

2.1.4.1 Contenido de Humedad:

Es la relación entre la masa de agua presente en la muestra y la masa seca (obtenida luego de colocar la muestra en el horno a una temperatura aproximada de 103°C en un tiempo no menor a 20 horas).

De acuerdo a la Norma INEN 1 160 la siguiente expresión permite determinar el contenido de humedad presente en la muestra:

$$CH = \frac{P - P_{sh}}{P_{sh}} \times 100 \quad (2.20)$$

Donde:

- **CH** Contenido de Humedad de la muestra (porcentaje).
- **P** Masa original de la muestra (gramos).
- **P_{sh}** Masa de la muestra seca al horno (gramos).

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011), en el capítulo referente a las construcciones de madera, especifica que para que una madera se califique como estructural, su contenido de humedad debe estar alrededor del 12%.

2.1.4.2 Densidad Básica.

Es la relación entre el peso seco y el volumen verde de la muestra.

El peso seco se lo obtiene luego de colocar la muestra en el horno a una temperatura aproximada de 103°C en un tiempo no menor a 20 horas.

El volumen verde es el volumen de la muestra en estado natural.

Es necesario introducir un coeficiente de contracción de la madera; para obtener el volumen verde, ya que las dimensiones fueron tomadas después de secar las muestras (volumen seco).

Los coeficientes de contracción se los obtuvo de las recomendaciones de la JUNAC.

El volumen verde se lo obtiene con la siguiente expresión:

$$V_v = V_s \left(1 + \frac{c_c}{100} \right) \quad (2.21)$$

Donde:

- **V_v** Volumen verde de la muestra (cm³)
- **V_s** Volumen seco de la muestra (cm³), el cual se lo obtiene:

$$V_s = L_{prom} \times A_{prom} \times E_{prom}$$

- **C_c** Coeficiente de contracción volumétrica, mostrados en el Anexo 1

De acuerdo a la Norma INEN 1 162 la siguiente expresión permite determinar la densidad básica presente en la muestra:

$$D = \frac{P_{sh}}{V_v} \quad (2.22)$$

Donde:

- **D** Densidad básica de la madera (g/cm³)
- **P_{sh}** Masa de la muestra seca al horno (gramos)
- **V_v** Volumen verde de la muestra (cm³)

Los valores de largo (L), ancho (A) y espesor (E) se promediaron de las medidas de las probetas.

La madera estructural es aquella que en uso, a más de soportar su propio peso, está sujeta a esfuerzos diversos, por esta razón, según la NEC 2011, deberá tener una densidad básica mínima de 0,4 g/cm³.

El valor referencial de contenido de humedad y densidad básica se ha tomado como el promedio de todos los valores obtenidos de las muestras correspondientes a cada tipo de madera.

De acuerdo a lo descrito, se obtuvo la siguiente tabla:

TABLA 2.7 CONTENIDOS DE HUMEDAD Y DENSIDADES BÁSICAS.

TIPO DE MADERA ESTRUCTURAL SEGÚN LA JUNAC	MUESTRA	PESO INICIAL (g)	PESO FINAL (g)	L prom (cm)	A prom (cm)	E prom (cm)	Volúmen (cm ³)	Coefficiente de Contracción	Volúmen Verde	Densidad Básica (g/cm ³)	Densidad Básica promedio (g/cm ³)	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Humedad promedio (%)
A	G1	62.70	57.20	3.80	3.58	4.01	54.55	12.10	61.15	0.94	0.91	9.62	9.50
	G2	63.80	58.20	3.77	3.55	4.04	54.07	12.10	60.61	0.96		9.62	
	G3	62.90	57.40	3.78	3.59	4.02	54.55	12.10	61.15	0.94		9.58	
	G4	55.30	50.50	3.88	3.55	3.95	54.41	12.10	60.99	0.83		9.50	
	G5	64.20	58.80	3.85	3.85	4.01	59.44	12.10	66.63	0.88		9.18	
B	CH1	120.10	107.50	4.72	4.75	5.05	113.22	16.50	131.90	0.81	0.83	11.72	11.85
	CH2	121.20	108.40	4.77	4.74	5.05	114.18	16.50	133.02	0.81		11.81	
	CH3	125.40	111.80	4.70	4.74	5.05	112.50	16.50	131.07	0.85		12.16	
	CH4	120.40	107.70	4.75	4.77	5.00	113.29	16.50	131.98	0.82		11.79	
	CH5	123.50	110.40	4.70	4.75	5.05	112.74	16.50	131.34	0.84		11.87	
	CH6	121.80	109.00	4.72	4.77	5.00	112.57	16.50	131.15	0.83		11.74	
C	M1	79.50	71.20	4.77	4.77	5.05	114.90	19.10	136.85	0.52	0.51	11.66	12.39
	M2	80.00	70.80	4.87	4.91	5.09	121.71	19.10	144.96	0.49		12.99	
	M3	79.80	71.10	4.86	4.77	5.05	117.07	19.10	139.43	0.51		12.24	
	M4	81.20	72.10	4.86	4.81	5.02	117.35	19.10	139.76	0.52		12.62	
	M5	80.40	71.50	4.90	4.81	5.00	117.85	19.10	140.35	0.51		12.45	
	M6	78.20	69.60	4.85	4.78	5.05	117.07	19.10	139.44	0.50		12.36	

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

2.1.4.3 Resistencia a la compresión paralela a la fibra.

La resistencia a compresión paralela a la fibra de la madera es elevada.

En el cálculo de los elementos comprimidos se ha de realizar la comprobación de la inestabilidad de la pieza (pandeo), en el que influye decisivamente el módulo de elasticidad. El valor relativamente bajo de este módulo reduce en la práctica la resistencia a la compresión en piezas esbeltas.

2.1.4.4 Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra.

La resistencia a compresión perpendicular a la fibra es muy inferior a la de la dirección paralela, aproximadamente representa la cuarta parte de la resistencia en dirección paralela a la fibra. Este tipo de esfuerzo es característico de las

zonas de apoyo de las vigas, donde se concentra toda la carga en pequeñas superficies que deben ser capaces de transmitir la reacción sin sufrir deformaciones importantes o aplastamiento.

2.1.4.5 Espesor de las piezas de madera que forman parte de la probeta.

Según la Sociedad Española de la Madera, para probetas sometidas a doble cizallamiento, el espesor mínimo de las piezas de madera deberá ser igual a 30 mm en los elementos laterales y 40 mm en los elementos centrales³.

Para las probetas sometidas a cizallamiento simple, se toma como espesor mínimo de las piezas de madera 40mm.

Tomando en cuenta estas consideraciones, las dimensiones de las piezas de madera para las probetas empernadas, son:

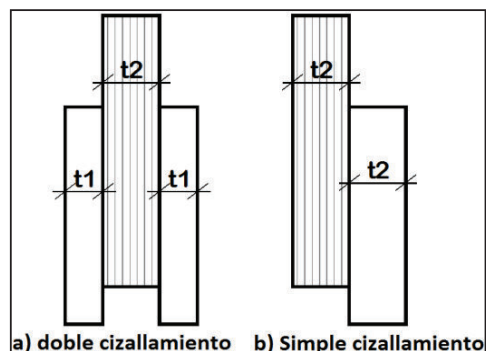
TABLA 2.8 ESPESORES DE LAS PIEZAS DE MADERA DE PROBETAS

	Espesor mínimo (mm)	Espesor probetas (mm)
DOBLE CIZALLAMIENTO		
Piezas exteriores (t1)	30	40
Pieza interior (t2)	40	60
SIMPLE CIZALLAMIENTO		
Piezas laterales (t2)	40	60

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

³ Sociedad Española de la Madera , 03 Diseño y Cálculo de uniones en estructuras de madera, pág. 62

FIGURA 2.8 ESPEORES MÍNIMOS DE LAS PIEZAS DE MADERA DE PROBETAS EMPERNADAS SOMETIDAS A DOBLE Y SIMPLE CIZALLAMIENTO.



Elaborado por: Graciela Cueva y Panoluisa Iveth

2.1.4.6 Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas.

El EUROCÓDIGO 5, define valores mínimos de separaciones entre conectores y distancias a los bordes y a las testas, de acuerdo a las condiciones de caga.

El presente estudio trata de probetas sometidas a carga axial perpendicular a la fibra en las piezas de madera laterales, y paralela en el elemento central, por este motivo, las piezas interiores tienen una de sus testas cargadas y sus bordes no cargados, mientras que las laterales tienen uno de sus bordes cargados y testas no cargadas.

Con estas consideraciones, se toman valores de distancias mínimas al borde y testa, de la siguiente tabla:

TABLA 2.9 VALORES MÍNIMOS DE SEPARACIONES Y DISTANCIAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES EMPERNADAS.

SEPARACIONES Y DISTANCIAS AL BORDE Y 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 (7d , 80 mm)

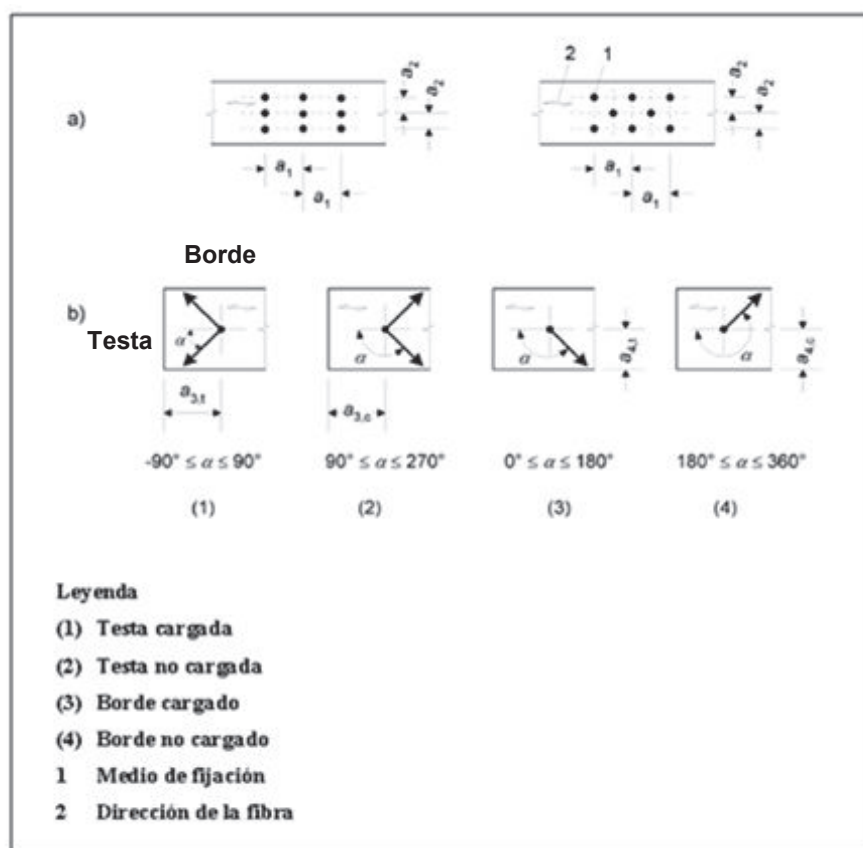
TABLA 2.10 Continuación

$a_{3,c}$ (Testa no cargada)	$90 \leq \alpha \leq 150$ $150 \leq \alpha \leq 210$ $210 \leq \alpha \leq 270$	máx [(1 + 6 sen α) d ; 4 d] 4 d máx [(1 + 6 sen α) d ; 4 d]
$a_{4,t}$ (Borde cargado)	$0 \leq \alpha \leq 180$	máx [(2 + 2 sen α) d ; 3 d]
$a_{4,c}$ (Borde no cargado)	$180 \leq \alpha \leq 360$	3 d

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

A continuación se presenta un esquema con la nomenclatura utilizada en la tabla anterior:

FIGURA 2.9 a) Separaciones entre conectores, b) Distancias al borde y a la testa.



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

Con las indicaciones anteriores se calcula los valores correspondientes para las probetas empernadas, tomando en cuenta que d es el diámetro del perno en milímetros, que en este caso es 12,7mm (1/2 pulg).

TABLA 2.11 DISTANCIAS MÍNIMAS Y ASUMIDAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES EMPERNADAS.

DISTANCIAS	ÁNGULO	Distancia (mm)			
		Mínima			Asumida
a _{3,t} (Testa cargada)	0 °	7d	88.9	88.9	130
		80 mm	80		
a _{3,c} (Testa no cargada)	90 °	(1+6 senα) d	88.9	88.9	150
		4 d	50.8		
a _{4,t} (Borde cargado)	90 °	(2+2senα) d	50.8	50.8	160
		3 d	38.1		
a _{4,c} (Borde no cargado)	0 °	3 d	38.1	38.1	60

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

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

2.1.5.1 Cálculo de cargas admisibles según la JUNAC

2.1.5.1.1 Uniones sometidas a doble cizallamiento:

Para la determinación de las cargas admisibles de estas uniones se usará los valores de la tabla 2.1, siguiendo el proceso descrito en el numeral 2.1.1.1.

Con esto, los valores de cargas admisibles de las probetas empernadas sometidas a doble cizallamiento son:

TABLA 2.12 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (JUNAC).

PROBETA	Densidad Básica	GRUPO MADERA	l cm	d cm	l/d	Carga Q kg	Carga Q T
Mascarey Perno DC	0,51	C	6	1,27	4,7	148	0,148
Chanul Perno DC	0,83	B	6	1,27	4,7	253	0,253
Guayacán Perno DC	0,91	A	6	1,27	4,7	345	0,345

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

2.1.5.1.2 Uniones sometidas a simple cizallamiento:

Para la determinación de las cargas admisibles de estas uniones se toma la mitad de la carga para una unión a doble cizallamiento de los valores correspondientes de l , d y el grupo estructural perteneciente.

El espesor de las piezas de madera (l), de las probetas sometidas a simple cizallamiento, es 6 cm, del cual la JUNAC no presenta valores de cargas admisibles en la tabla 2.1, de tal forma que para este estudio se ha tomado el valor de (l) más cercano que es 6.5 cm.

TABLA 2.13 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (JUNAC)

PROBETA	Densidad Básica	GRUPO MADERA	l cm	d cm	l/d	Carga Q kg	Carga Q/2 kg	Carga Q/2 T
Mascarey Perno SC	0,51	C	6	1,27	4,7	148	74	0,074
Chanul Perno SC	0,83	B	6	1,27	4,7	253	126,5	0,127
Guayacán Perno SC	0,91	A	6	1,27	4,7	345	172,5	0,173

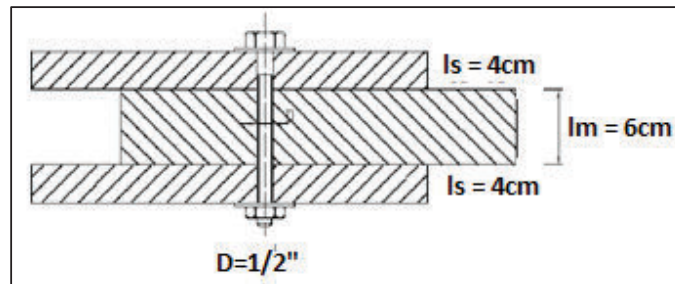
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

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

2.1.5.2.1 Uniones sometidas a doble cizallamiento:

Para el cálculo de la carga admisible en uniones empernadas se sigue el proceso descrito en el numeral 2.1.1.2.

FIGURA 2.10 DIMENSIONES DE PROBETA SOMETIDA A DOBLE CIZALLAMIENTO



Elaborado por: Graciela Cueva y Panoluisa Iveth.

Para este caso particular de una probeta sometida a carga axial en sentido perpendicular a la fibra, de doble cizallamiento, con tipo y dimensiones de madera y perno especificadas (FIGURA 2.11), se ha resumido las ecuaciones necesarias para el cálculo de su carga admisible.

Datos generales:

Modo de falla según Figura 19:	Modo IV
Límite elástico del perno (F_{yb}):	57000 psi
Diámetro del perno:	$\frac{1}{2}$ pulg. = 0.0127 m
Ángulo de inclinación fuerza:	90°

a) Cálculo del factor K_θ de acuerdo a la ecuación 2.4

$$K_\theta = 1 + 0.25(\theta/90)$$

b) Cálculo del término de reducción R_d , correspondiente al IV Modo de falla, de acuerdo a la Tabla 2.3.

$$R_d = 3.2 K_\theta$$

- c) Cálculo de la capacidad portante del perno en el miembro principal F_{em} , considerando la gravedad específica, el diámetro del conector y dirección de la carga, de acuerdo a la tabla 2.4.
- d) Cálculo de la capacidad portante del perno en el miembro secundario F_{es} , considerando la gravedad específica, el diámetro del conector y dirección de la carga, de acuerdo a la tabla 2.4.
- e) Cálculo del coeficiente R_e .

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

- f) Cálculo del valor de carga de diseño (Z) en libras, de la unión empernada, de acuerdo a la ecuación de la tabla 2.2 correspondiente al IV Modo de falla.

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

Después de realizados los cálculos, se obtuvieron los siguientes valores:

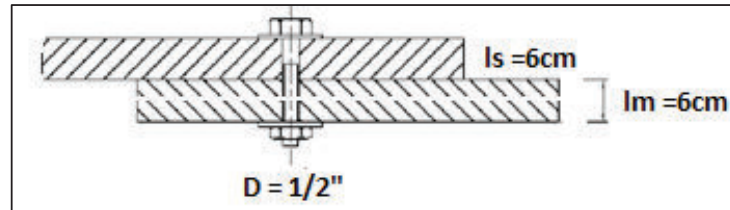
TABLA 2.14 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (NDS).

PROBETA	TIPO DE FALLA	GRAV. ESPECIFICA	K_θ	R_d	Fem	Fes	Re	Z	Z
					psi	psi		libras	T
Mascarey Perno DC	IV	0,51	1,25	4	3250	5700	0,5702	1108,586	0,50
Chanul Perno DC	IV	0,83	1,25	4	6273	9299,3	0,6745	1491,354	0,68
Guayacán Perno DC	IV	0,91	1,25	4	7013	10196	0,6878	1570,695	0,71

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

2.1.5.2.2 Uniones sometidas a simple cizallamiento:

FIGURA 2.11 DIMENSIONES DE PROBETA SOMETIDA A SIMPLE CIZALLAMIENTO



Elaborado por: Graciela Cueva y Panoluisa Iveth

Para el cálculo de la carga admisible uniones empernadas sometidas a simple cizallamiento, se sigue el mismo proceso de doble cizallamiento, excepto por el cálculo del valor de carga de diseño (Z) que, de acuerdo a la tabla 2.2, obedece a la siguiente ecuación:

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

Con esta modificación, los valores de cargas admisibles son:

TABLA 2.15 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (NDS).

PROBETA	TIPO DE FALLA	GRAV. ESPECIFICA	K_θ	R_d	Fem	Fes	Re	Z	Z
					psi	psi		I	T
Mascarey Perno SC	IV	0,51	1,25	4	3250	5700	0,57	554,29	0,25
Chanul Perno SC	IV	0,83	1,25	4	6273	9299,3	0,67	745,68	0,34
Guayacán Perno SC	IV	0,91	1,25	4	7013	10196	0,69	785,35	0,36

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

2.1.5.3 Cálculo de cargas admisibles según el EUROCÓDIGO 5 (Diseño de estructuras de madera)

2.1.5.3.1 Uniones sometidas a doble cizallamiento:

Para el cálculo de la carga admisible en uniones empernadas se sigue el proceso descrito en el numeral 2.1.3.1.

Datos generales:

Modo de falla según figura 2.5	Falla tipo k
Diámetro del perno (d):	12.70 mm
Espesor del elemento, t_1 :	4 cm
Espesor del elemento, t_2 :	6 cm
Ángulo entre la dirección de la carga y la fibra α :	90°
Tipo de madera:	frondosa
Resistencia a tracción del perno (57000 psi)	: 393.56 N/mm ²

- a) Cálculo factor k_{90} de acuerdo al tipo de madera (las maderas con las que se está trabajando, se las clasifica como frondosas de acuerdo al Eurocódigo):

$$K_{90} = 0.90 + 0.015d$$

$$K_{90} = 0.90 + 0.015(12.70)$$

$$K_{90} = 1.091$$

- b) Cálculo resistencia al aplastamiento de la madera con carga paralela a la fibra, según ecuación (2.19).

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

- c) Cálculo resistencia al aplastamiento de la madera con carga perpendicular a la fibra, según ecuación (2.18).

$$f_{h,90,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90}\sin^2 90 + \cos^2 90}$$

- d) Cálculo de la resistencia al aplastamiento:

El valor de la resistencia al aplastamiento es igual al valor obtenido al aplicar la carga con un ángulo de 90° en dirección a la fibra, por tanto:

$$f_{h,1,k} = f_{h,2,k} = f_{h,90,k}$$

e) Cálculo del momento plástico para el perno, según ecuación (2.17).

$$M_{y,Rk} = 0.3 f_{u,k} d^{2.6}$$

f) Cálculo de β según ecuación (2.16).

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

g) Cálculo de capacidad de carga de la unión según la teoría de Johansen y efecto soga, mediante ecuación (2.8), con modo de falla (k).

Teoría de plastificación de Johansen:

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

Efecto soga:

$$\frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

h) La capacidad de carga de la unión por plano de corte es la suma de los dos valores obtenidos anteriormente.

i) Al existir dos planos de corte, la capacidad de carga obtenida se deberá duplicar.

Siguiendo este proceso las cargas resultantes son:

TABLA 2.16 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).

PROBETA	δ	RESIST. A TRACCIÓN	k_{90}	$f_{h,0,k}$	$f_{h,90,k}$	$f_{h,1,k}$	$f_{h,2,k}$	$M_{y,Rk}$
	kg/m ³	N/mm ²		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	Nmm ²
Mascarey Perno DC	507,18	393,56	1,09	36,31	33,86	33,86	33,86	87503
Chanul Perno DC	828,44	393,56	1,09	59,30	55,30	55,30	55,30	87503
Guayacán Perno DC	908,94	393,56	1,09	65,07	60,68	60,68	60,68	87503

TABLA 2.17 Continuación

PROBETA	β	Capacidad de Carga				
		$F_{v,Rk}$ Johansen	Efecto soga	1 Plano de corte	2 Planos de corte	2 Planos de corte
		N	N	N	N	T
Mascarey Perno DC	1,00	9976	2494	12470	24940	2,545
Chanul Perno DC	1,00	12750	3187	15937	31875	3,253
Guayacán Perno DC	1,00	13355	3339	16694	33387	3,407

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

2.1.5.3.2 Uniones sometidas a simple cizallamiento:

Para el cálculo de la carga admisible en uniones empernadas se sigue el proceso descrito en el numeral 2.1.3.2.

Datos generales:

Modo de falla según figura 2.6	Falla tipo f
Diámetro del perno (d):	12.70 mm
Espesor del elemento, t_1 :	6 cm
Espesor del elemento, t_2 :	6 cm
Ángulo entre la dirección de la carga y la fibra α :	90°
Tipo de madera:	frondosa
Resistencia a tracción del perno (57000 psi) :	393.56 N/mm ²

- a) Los valores de k_{90} , $f_{h,0,k}$, $f_{h,90,k}$, $f_{h,1,k}$, $f_{h,2,k}$, $M_{y,Rk}$, β , son los mismos obtenidos para el caso de cizallamiento doble.
- b) Cálculo de capacidad de carga de la unión según la teoría de Johansen y efecto soga, mediante ecuación (2.15), con modo de falla (f) fig.2.6.

Teoría de plastificación de Johansen:

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

Efecto soga:

$$\frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

- c) Por tanto el valor de la capacidad de carga en una unión empernada sometida a simple cizallamiento es la suma entre las dos cantidades anteriores.

Siguiendo este proceso las cargas resultantes son:

TABLA 2.18 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS EMPERNADAS SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).

PROBETA	δ	RESIST. A TRACCIÓN	k_{90}	$f_{h,0,k}$	$f_{h,90,k}$	$f_{h,1,k}$	$f_{h,2,k}$	$M_{y,Rk}$
	kg/m_3	N/mm^2		N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	N/mm^2	Nmm_2
Mascarey Perno SC	507,1	393,56	1,09	36,31	33,86	33,86	33,86	87503
Chanul Perno SC	828,4	393,56	1,09	59,30	55,30	55,30	55,30	87503
Guayacán Perno SC	908,9	393,56	1,09	65,07	60,68	60,68	60,68	87503

PROBETA	β	$F_{v,Rk}$ Johansen	Efecto soga	Capacidad de Carga	Capacidad de Carga
		N	N	N	T
Mascarey Perno SC	1,00	9976	2494	12470	1,272
Chanul Perno SC	1,00	12750	3187	15937	1,626
Guayacán Perno SC	1,00	13355	3339	16694	1,703

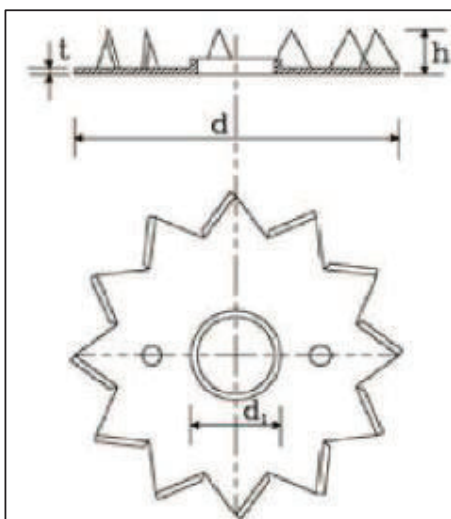
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

2.2 CONEXIONES TIPO BULLDOG

En este estudio, se detallará los parámetros y proceso de cálculo para determinar la capacidad de carga del conector de placa dentada simple, llamado también Bulldog Tipo C2, este conector tiene dientes de aspecto triangular (púas) situados a un lado de la placa.

Las conexiones tipo Bulldog, consisten en la unión espalda con espalda de dos discos dentados en una sola cara, los cuales se incrustan en las maderas a ser unidas y se ajustan mediante pernos pasadores.

FIGURA 2.12 CONECTOR DE PLACA DENTADA SIMPLE (TIPO C2)



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”

Las normas de diseño según la Junta del Acuerdo en Cartagena “JUNAC”, no contemplan este tipo de conexiones en su estudio.

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

Estas normas de diseño no contemplan en su estudio este tipo de conexiones.

2.2.3 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN EL “EUROCODIGO 5”

El presente resumen es tomado del Eurocódigo 5, capítulo 8.10, el cual se refiere a Conectores de placa dentada.

El valor característico de la capacidad de carga de las uniones debe tomarse como la suma del valor característico de la capacidad de carga de los conectores por sí mismos y de los pernos de conexión resumida en el apartado 2.1.3.

El conector utilizado, según las normas europeas UNE EN912 y UNE EN14545 es de tipo C2.

2.2.3.1 Capacidad de carga

Para una fuerza con un ángulo de inclinación α respecto a la dirección de la fibra, el valor de capacidad de carga $F_{V,\alpha,Rk}$ por conector o por plano de cortadura, se calcula con la siguiente expresión:

$$F_{V,\alpha,Rk} = \frac{F_{V,0,Rk}}{k_{90} \text{sen}^2 \alpha + \text{cos}^2 \alpha} \quad (2.23)$$

En donde:

$$k_{90} = 1.3 + 0.001d_c \quad (2.24)$$

- d_c Diámetro del conector de placa dentada en mm.
- α Ángulo de inclinación de la carga
- $F_{V,0,Rk}$ Capacidad de carga del conector para una fuerza paralela a la fibra, la cual se mide en N, y de acuerdo con las normas europeas UNE EN 912 y UNE EN 14545 para conectores tipo C (de placa dentada), la obtenemos con el siguiente proceso:

Para los tipos de simple cara (Tipos C2, C4, C7, C9, C11)

$$F_{V,Rk} = 18k_1k_2k_3d_c^{1.5} \quad (2.25)$$

Para los tipos de doble cara (Tipos C1, C3, C5, C6, C8, C10)

$$F_{V,Rk} = 25k_1k_2k_3d_c^{1.5} \quad (2.26)$$

En donde:

- k_i son los factores de modificación, con $i = 1$ a 3 , definidos más adelante.

Factores de modificación:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad 2.27$$

En 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 para conectores tipo C1 a C9, deberá tomarse:

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{1.5d_c} \right. \quad 2.28$$

Con:

$$a_{3,t} = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.1 d_c \\ 7 d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right. \quad 2.29$$

En donde:

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

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1.5}{350} \right. \quad 2.30$$

En donde:

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

2.2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

Las características y propiedades de la madera como contenido de humedad, densidad, resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra de acuerdo al tipo de madera son las mismas que las determinadas en el numeral 2.1.4.

2.2.4.1 Espesor de las piezas de madera que forman parte de la probeta.

El EUROCÓDIGO 5, describe los espesores mínimos de las piezas de madera para probetas unidas por conectores tipo Bulldog como sigue:

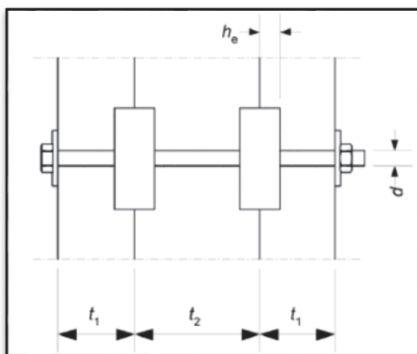
TABLA 2.19 ESPESORES DE LAS PIEZAS DE MADERA DE PROBETAS CON CONEXIONES BULLDOG.

	Espesor mínimo (mm)	Espesor probetas (mm)
DOBLE CIZALLAMIENTO		
Piezas exteriores (t1)	2.25 he = 20.25	40
Pieza interior (t2)	3.75 he = 33.75	60
SIMPLE CIZALLAMIENTO		
Piezas laterales (t2)	3.75 he = 33.75	60

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Donde he es la profundidad de inserción del conector (penetración de dientes), en el caso de este tipo de conector es 9mm.

FIGURA 2.13 DIMENSIONES PARA LAS UNIONES CON CONECTORES DE ANILLO Y DE PLACA



FUENTE: NORMA ESPAÑOLA, Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1, (2006), pág. 93

2.2.4.2 Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas.

La tabla que define separaciones y distancias mínimas a bordes y testas para probetas con conectores tipo Bulldog, según el EUROCÓDIGO 5, es la siguiente:

TABLA 2.20 VALORES MÍNIMOS DE SEPARACIONES Y DISTANCIAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES TIPO BULLDOG.

SEPARACIONES Y DISTANCIAS AL BORDE Y TESTA	ÁNGULO	SEPARACIÓN O DISTANCIA MÍNIMA
a ₁ (Paralela a la fibra)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(1.2 + 0.3 \text{ lcos } \alpha) d_c$
a ₂ (Perpendicular a la fibra)	$0 \leq \alpha \leq 360$	1.2 d _c
a _{3,t} (Testa cargada)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	2.0 d _c
a _{3,c} (Testa no cargada)	$90 \leq \alpha \leq 150$	$(0.9 + 0.6 \text{ lsen } \alpha) d_c$
	$150 \leq \alpha \leq 210$	1.2 d _c
	$210 \leq \alpha \leq 270$	$(0.9 + 0.6 \text{ lsen } \alpha) d_c$
a _{4,t} (Borde cargado)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$(0.6 + 0.2 \text{ lsen } \alpha) d_c$
a _{4,c} (Borde no cargado)	$180 \leq \alpha \leq 360$	0.6 d _c

FUENTE: NORMA ESPAÑOLA, Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1, (2006), pág. 98

La nomenclatura utilizada es la misma que la mencionada en la figura 2.10 del numeral 2.1.4.6.

Con las indicaciones anteriores se calcula los valores correspondientes para las probetas con conectores Tipo Bulldog, tomando en cuenta que d_c es el diámetro del conector en milímetros, que en este caso es 62mm.

TABLA 2.21 DISTANCIAS MÍNIMAS Y ASUMIDAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES TIPO BULLDOG.

DISTANCIAS	ÁNGULO	Distancia (mm)	
		mínima	asumida
a _{3,t} (Testa cargada)	0 °	124	130
a _{3,c} (Testa no cargada)	90 °	93	150
a _{4,t} (Borde cargado)	90 °	49.6	160
a _{4,c} (Borde no cargado)	360 °	37.2	60

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

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

2.2.5.1 Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”

La JUNAC no contempla este tipo de maderas en su estudio.

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

La “NDS for Wood Construction” no contempla este tipo de maderas en su estudio.

2.2.5.3 Cálculo de cargas admisibles según el “EUROCÓDIGO 5”

2.2.5.3.1 Uniones sometidas a doble cizallamiento:

De acuerdo al Eurocódigo 5, el cálculo de la capacidad de carga de una conexión dentada, depende de su clasificación.

A continuación se ha resumido las ecuaciones y parámetros a ser utilizados para el caso de la conexión Bulldog, perteneciente a la clasificación C2.

Tomando en cuenta que para las probetas ensayadas a doble cizallamiento se han utilizado 2 conexiones, el valor de la capacidad de carga de un conector se deberá duplicar, además sumar el valor característico de la capacidad de carga del perno, siguiendo el mismo código.

Datos generales:

Tipo de conector:	Simple cara
Diámetro del perno (d):	½ pulg. = 12.70 mm
Diámetro del conector Bulldog (d_c):	62 mm
Penetración en los dientes del conector (h_e):	9 mm
Espesor de las piezas laterales (t_1):	40 mm
Espesor de la pieza central (t_2):	60 mm
Ángulo de inclinación fuerza:	90°

- a) Cálculo de los factores K1, K2, K3, de acuerdo al mínimo valor en las ecuaciones 2.27, 2.28, 2.30.

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

$$k_2 = \min \left\{ \frac{1}{\frac{a_{3,t}}{1.5d_c}} \right.$$

$$k_3 = \min \left\{ \frac{1.5}{\rho_k} \right.$$

De donde, de acuerdo a la ecuación 2.29:

$$a_{3,t} = \text{máx} \left\{ \begin{array}{l} 1.1 d_c \\ 7 d \\ 80 \text{ mm} \end{array} \right.$$

- b) Cálculo de la capacidad de carga de la unión sometida a fuerza axial en dirección paralela a la fibra (ecuación 2.25).

$$F_{V,0,Rk} = 18k_1k_2k_3d_c^{1.5}$$

- c) Cálculo de la capacidad de carga de la unión sometida a fuerza axial en dirección perpendicular a la fibra (ecuación 2.23).

$$F_{V,90,Rk} = \frac{F_{V,0,Rk}}{k_{90} \text{sen}^2 90^\circ + \text{cos}^2 90^\circ}$$

De donde: $k_{90} = 1.3 + 0.001d_c$

- d) Tomando en cuenta la contribución de los dos conectores, se duplica el valor de carga calculado anteriormente, y además se suma la capacidad de carga del perno que se describe en el numeral 2.1.5.3.1.

Siguiendo este proceso las cargas resultantes son:

TABLA 2.22 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO BULLDOG SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).

PROBETA	ρ_k kg/m ³	k_1		k_1 mín	a_{3t}		a_{3t} máx	k_2		k_2 mín	k_3		k_3 mín
<i>Mascarey Bulldog DC</i>	507,18	a)	1	1,0	a)	68,2	88,9	a)	1	0,96	a)	1,5	1,45
		b)	1,4		b)	88,9		b)	0,95		b)	1,45	
		c)	1,3		c)	80							
<i>Chanul Bulldog DC</i>	828,44	a)	1	1,0	a)	68,2	88,9	a)	1	0,96	a)	1,5	1,50
		b)	1,4		b)	88,9		b)	0,95		b)	2,37	
		c)	1,3		c)	80							
<i>Guayacán Bulldog DC</i>	908,94	a)	1	1,0	a)	68,2	88,9	a)	1	0,96	a)	1,5	1,50
		b)	1,4		b)	88,9		b)	0,95		b)	2,6	
		c)	1,3		c)	80							

PROBETA	Carga 1 Conector		Carga 2 Conectores		Carga Perno		CARGA TOTAL	
	$F_{V,Rk}$	$F_{V,90,Rk}$	$F_{V,90,Rk}$		$F_{V,90,Rk}$		$F_{V,90,Rk}$	
	N	N	N	T	N	T	N	T
<i>Mascarey Bulldog DC</i>	12172	8937,1	17874	1,824	24940	2,545	42814	4,369
<i>Chanul Bulldog DC</i>	12600	9251,1	18502	1,888	31875	3,253	50377	5,14
<i>Guayacán Bulldog DC</i>	12600	9251,1	18502	1,888	33387	3,407	51890	5,295

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

2.2.5.3.2 *Uniones sometidas a simple cizallamiento:*

Datos generales:

Tipo de conector:	Simple cara
Diámetro del perno (d):	½ pulg. = 12.70 mm
Diámetro del conector Bulldog (d_c):	62 mm
Penetración en los dientes del conector (h_e):	9 mm
Espesor de la pieza lateral (t_1):	60 mm
Espesor de la pieza central (t_2):	60 mm
Ángulo de inclinación fuerza:	90°

Se sigue el proceso descrito para el caso de doble cizallamiento, con la diferencia que en este caso no se duplica el valor de carga del conector $F_{V,90,Rk}$.

Siguiendo este proceso las cargas resultantes son:

TABLA 2.23 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO BULLDOG SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).

PROBETA	ρ_k kg/m ³	k_1		k_1 mín	a_{3t}		a_{3t} máx	k_2		k_2 mín	k_3		k_3 mín
		a)	b)		a)	b)		a)	b)		a)	b)	
<i>Mascarey Bulldog SC</i>	507,18	a)	1	1,00	a)	68,2	88,9	a)	1	0,96	a)	1,5	1,45
		b)	2,22		b)	88,9		b)	0,956		b)	1,45	
		c)	1,33		c)	80							
<i>Chanul Bulldog SC</i>	828,44	a)	1	1,00	a)	68,2	88,9	a)	1	0,96	a)	1,5	1,50
		b)	2,22		b)	88,9		b)	0,956		b)	2,37	
		c)	1,33		c)	80							
<i>Guayacán Bulldog SC</i>	908,94	a)	1	1,00	a)	68,2	88,9	a)	1	0,96	a)	1,5	1,50
		b)	2,22		b)	88,9		b)	0,956		b)	2,6	
		c)	1,33		c)	80							

TABLA 2.24 Continuación.

PROBETA	Carga 1 Conector		Carga Perno		CARGA TOTAL	
	$F_{V,Rk}$	$F_{V,90,Rk}$	$F_{V,90,Rk}$		$F_{V,90,Rk}$	
	N	N	N	T	N	T
<i>Mascarey Bulldog SC</i>	12172	8937,1	12470	1,272	21407	2,184
<i>Chanul Bulldog SC</i>	12600	9251,1	15937	1,626	25188	2,57
<i>Guayacán Bulldog SC</i>	12600	9251,1	16694	1,703	25945	2,647

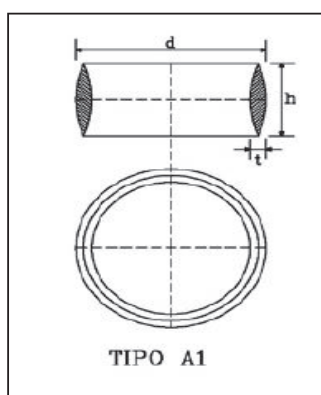
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

2.3 CONEXIONES TIPO “APPEL”

En este estudio, se detallará los parámetros y proceso de cálculo para determinar la capacidad de carga del conector tipo Anillo A1 (APPEL).

Estos conectores consisten en un anillo cerrado de sección transversal lenticular con bordes perfilados, el cual debe incrustarse a presión en las piezas de madera a unirse y se ajustan mediante pernos pasadores.

FIGURA 2.14 CONECTORES DE ANILLO (TIPO A)



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

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 LA “NDS FOR WOOD CONSTRUCTION”.

Las normas de diseño según la “NDS for Wood Construction” no son aplicables para el presente estudio, ya que únicamente consideran conectores de anillo abierto.

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

El valor característico de la capacidad de carga de las uniones debe tomarse como la suma del valor característico de la capacidad de carga de los conectores por sí mismos y de los pernos de conexión resumida en el apartado 2.1.3.

El conector utilizado, según las normas europeas UNE EN912 y UNE EN14545 es de tipo A1.

2.3.3.1 Capacidad de carga para uniones sometidas a simple cizallamiento.

Este proceso se aplica en las uniones realizadas con conectores de anillo tipo A de acuerdo con las Normas Europeas UNE EN912 y UNE EN14545, y con un diámetro no mayor a 200 mm. Para una fuerza con un ángulo α respecto a la dirección de la fibra, el valor de la capacidad de carga, $F_{\alpha,Rk}$, por conector y por plano de cortadura, se debe calcular utilizando la siguiente expresión:

$$F_{v,\alpha,Rk} = \frac{F_{v,0,Rk}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (2.31)$$

En donde:

$$k_{90} = 1.3 + 0.001 d_c \quad (2.32)$$

- d_c Diámetro del conector de placa dentada en mm.
- α Ángulo de inclinación de la carga
- $F_{V,0,Rk}$ Capacidad de carga del conector para una fuerza paralela a la fibra, la cual se mide en N, y de acuerdo con las normas europeas UNE EN912 y UNE EN14545 para conectores tipo A1, la obtenemos con el siguiente proceso:

$$F_{v,0,Rk} = \min \begin{cases} k_1 k_2 k_3 k_4 (35 d_c^{1.5}) \\ k_1 k_3 h_e (31.5 d_c) \end{cases} \quad (2.33)$$

En donde:

- d_c diámetro del conector, en mm;
- h_e profundidad de inserción, en mm;
- k_i factores de modificación, con $i = 1$ a 4

Factores de modificación:

El factor k_1 se debe calcular con la siguiente expresión:

$$k_1 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 \\ \frac{t_1}{3h_e} \\ \frac{t_2}{5h_e} \end{array} \right. \quad (2.34)$$

El factor k_2 se aplica al caso de testa cargada ($-30^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$) y se debe tomar con la siguiente expresión:

$$k_2 = \min \left\{ \begin{array}{l} k_a \\ \frac{a_{3,t}}{2d_c} \end{array} \right. \quad (2.35)$$

En donde:

- $k_a = 1.25$ para uniones con un conector por plano de cortadura.
- $k_a = 1.0$ para uniones con más de un conector por plano de cortadura.
- $a_{3,t}$ distancia desde el centro del conector hasta la testa cargada, la cual se calcula de acuerdo a la tabla 2.20, mostrada en el numeral 2.3.4.2
- Para otros valores de α , $k_2 = 1.0$

El factor k_3 debe tomarse igual a:

$$k_3 = \min \left\{ \begin{array}{l} 1.75 \\ \frac{\rho_k}{350} \end{array} \right. \quad (2.36)$$

Donde,

- ρ_k valor de la densidad de la madera, en kg/m^3 .

El factor k_4 , depende de los materiales conectados y tiene valores iguales a:

- $k_4 = 1.0$ para uniones madera-madera.
- $k_4 = 1.1$ para uniones acero-madera.

2.3.3.2 Capacidad de carga para uniones sometidas a doble cizallamiento.

El valor final de capacidad de carga en uniones sometidas a doble cizallamiento resulta de la suma de la capacidad del perno calculada aplicando el EUROCÓDIGO 5, más el duplo de la capacidad del conector (ya que en el doble

cizallamiento intervienen dos conectores) cuyo proceso de cálculo se mostró en el numeral anterior.

2.3.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

Las características y propiedades de la madera como contenido de humedad, densidad, resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra de acuerdo al tipo de madera son las mismas que las determinadas en el numeral 2.1.4.

2.3.4.1 Espesor de las piezas de madera que forman parte de la probeta.

Los espesores de las piezas de madera, mínimos y utilizados son los mismos que los mencionados en el numeral 2.2.4.1., ya que el EUROCÓDIGO 5 menciona que estos valores son válidos para conectores de anillo y de placa.

2.3.4.2 Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas.

La tabla que define separaciones y distancias mínimas a bordes y testas para probetas con conectores tipo Appel, según el EUROCÓDIGO 5, es la siguiente:

TABLA 2.25 VALORES MÍNIMOS DE SEPARACIONES Y DISTANCIAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES TIPO APPEL.

SEPARACIONES Y DISTANCIAS AL BORDE Y TESTA	ÁNGULO	SEPARACIÓN O DISTANCIA MÍNIMA
a ₁ (Paralela a la fibra)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$(1.2 + 0.8 \cos \alpha) d_c$
a ₂ (Perpendicular a la fibra)	$0 \leq \alpha \leq 360$	$1.2 d_c$
a _{3,t} (Testa cargada)	$-90 \leq \alpha \leq 90$	$1.5 d_c$
a _{3,c} (Testa no cargada)	$90 \leq \alpha \leq 150$	$(0.4 + 1.6 \sin \alpha) d_c$
	$150 \leq \alpha \leq 210$	$1.2 d_c$
	$210 \leq \alpha \leq 270$	$(0.4 + 1.6 \sin \alpha) d_c$
a _{4,t} (Borde cargado)	$0 \leq \alpha \leq 180$	$(0.6 + 0.2 \sin \alpha) d_c$
a _{4,c} (Borde no cargado)	$180 \leq \alpha \leq 360$	$0.6 d_c$

FUENTE: NORMA ESPAÑOLA, Eurocódigo 5 UNE-EN 1995-1-1, (2006), pág. 94

La nomenclatura utilizada es la misma que la mencionada en la figura 2.10 del numeral 2.1.4.6.

Con las indicaciones anteriores se calcula los valores correspondientes para las probetas con conectores Tipo Bulldog, tomando en cuenta que d_c es el diámetro del conector en milímetros, que en este caso es 73mm.

TABLA 2.26 DISTANCIAS MÍNIMAS Y ASUMIDAS A LOS BORDES Y TESTAS PARA CONEXIONES TIPO APPEL.

DISTANCIAS	ÁNGULO	Distancia (mm)	
		mínima	asumida
$a_{3,t}$ (Testa cargada)	0 °	109.5	130
$a_{3,c}$ (Testa no cargada)	90 °	146	150
$a_{4,t}$ (Borde cargado)	90 °	58.4	160
$a_{4,c}$ (Borde no cargado)	360 °	43.8	60

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

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

2.3.5.1 Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”

La JUNAC no contempla este tipo de conexiones de madera en su estudio.

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

Las normas de diseño según la “NDS for Wood Construction” no son aplicables para el presente estudio, ya que únicamente consideran conectores de anillo abierto.

2.3.5.3 Cálculo de cargas admisibles según el “EUROCÓDIGO 5”

2.3.5.3.1 Uniones sometidas a simple cizallamiento:

Datos Generales:

Diámetro del conector Appel (d_c): 73 mm

Profundidad de inserción del conector (h_e):	15 mm
Espesor de las piezas laterales (t_1):	60 mm
Espesor de la pieza central (t_2):	60 mm
Ángulo de inclinación fuerza:	90°

a) Definir k_1 como el mínimo de los siguientes valores, según la ecuación 2.34:

$$k_1 = 1.0$$

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

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

Por lo tanto el valor de $k_1 = 0.80$

b) Debido a que este es un caso de testa cargada, se debe definir k_2 como el mínimo de los valores siguientes, según la ecuación 2.35:

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

$k_a = 1,25$ por tratarse de uniones con un conector por plano de cortadura

$$\frac{a_{3,t}}{2d_c} = \frac{1.5 d_c}{2 d_c} = 0.75$$

Por lo tanto el valor de $k_2 = 0.75$

c) Definir k_3 como el mínimo de los valores, según la ecuación 2.36:

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

Este valor variará de acuerdo a la densidad de cada tipo de madera.

d) Debido a que son uniones entre madera y madera. El valor de $k_4 = 1.0$

- e) Cálculo de la capacidad de carga de la unión tipo Appel sometida a fuerza axial en dirección paralela a la fibra según la ecuación 2.33.

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

- f) Cálculo de la capacidad de carga de la unión sometida a fuerza axial en dirección perpendicular a la fibra, según la ecuación 2.31.

$$F_{V,90,Rk} = \frac{F_{V,0,Rk}}{k_{90} \text{sen}^2 90^\circ + \text{cos}^2 90^\circ}$$

De donde: $k_{90} = 1.3 + 0.001 d_c$

- g) Tomando en cuenta la contribución del perno se añade su capacidad de carga, cuyo valor se obtuvo en el numeral 2.1.5.3.2.

Siguiendo este proceso, se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 2.27 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO APPEL SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).

PROBETA	ρ_k	k_1	k_1 mín	k_2	k_2 mín	k_3	k_3 mín	k_4			
	kg/m ³										
<i>Mascarey Appel SC</i>	507,18	a)	1,00	0,80	a)	1,25	0,75	a)	1,75	1,45	1,00
		b)	1,33		b)	0,75		b)	1,449		
		c)	0,80								
<i>Chanul Appel SC</i>	828,44	a)	1,00	0,80	a)	1,25	0,75	a)	1,75	1,75	1,00
		b)	1,33		b)	0,75		b)	2,367		
		c)	0,80								
<i>Guayacán Appel SC</i>	908,94	a)	1,00	0,80	a)	1,25	0,75	a)	1,75	1,75	1,00
		b)	1,33		b)	0,75		b)	2,597		
		c)	0,80								

TABLA 2.28 Continuación.

PROBETA	Capacidad de Carga Fuerza Paralela			Cap. de Carga Fuer. Perpendicular			Cap. Perno	Cap. Perno + Conector	
	Capacidad de Carga (N)	$F_{v,0,Rk}$	$F_{v,0,Rk}$	k_{90}	$F_{v,90,Rk}$	$F_{v,90,Rk}$			
		N	T		N	T			
Mascarey Appel SC	a)	18980	18980	1,937	1,373	14621	1,492	1,272	2,764
	b)	39986							
Chanul Appel SC	a)	22921	22921	2,339	1,373	17657	1,802	1,626	3,428
	b)	48290							
Guayacán Appel SC	a)	22921	22921	2,339	1,373	17657	1,802	1,703	3,505
	b)	48290							

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

2.3.5.3.2 Uniones sometidas a doble cizallamiento:

Datos Generales:

Diámetro del conector Appel (d_c):	73 mm
Profundidad de inserción del conector (h_e):	15 mm
Espesor de la pieza lateral (t_1):	40 mm
Espesor de la pieza central (t_2):	60 mm
Ángulo de inclinación fuerza:	90°

El valor de capacidad de carga del conector será el mismo del simple cizallamiento, debido a que los valores de los parámetros de cálculo no varían.

El valor final de la capacidad de carga de la conexión completa, resultará de la suma de la carga que soporta el perno más la de los 2 conectores que intervienen en esta unión.

TABLA 2.29 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO APPEL SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (EUROCODIGO).

PROBETA	ρ_k	k_1		k_1	k_2		k_2	k_3		k_3	k_4
	kg/m ³	a)	b)	mín	a)	b)	mín	a)	b)	mín	
<i>Mascarey Appel DC</i>	507,18	a)	1,00	0,80	a)	1,25	0,75	a)	1,75	1,45	1,00
		b)	0,89		b)	0,75		b)	1,449		
		c)	0,80								
<i>Chanul Appel DC</i>	828,44	a)	1	0,80	a)	1,25	0,75	a)	1,75	1,75	1,00
		b)	0,89		b)	0,75		b)	2,367		
		c)	0,80								
<i>Guayacán Appel DC</i>	908,94	a)	1	0,80	a)	1,25	0,75	a)	1,75	1,75	1,00
		b)	0,89		b)	0,75		b)	2,597		
		c)	0,80								

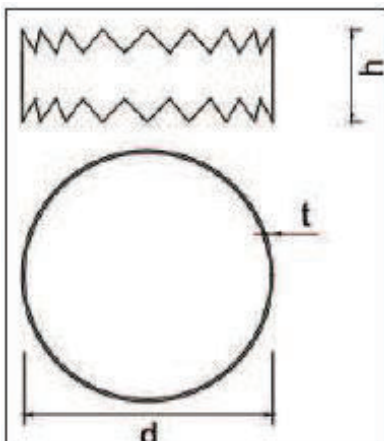
PROBETA	Capacidad de Carga Fuerza Paralela				Capacidad de Carga Fuerza Perpendicular				Carga Perno	Perno+ Conec.	
	Carga (N)		$F_{v,0,Rk}$	$F_{v,0,Rk}$	k_{90}	$F_{v,90,Rk}$	$F_{v,90,Rk}$	$F_{v,90,Rk}$			2 Conect.
	N	T	N	T		T	T				
<i>Mascarey Appel DC</i>	a)	18980	18980	1,937	1,3	14621	1,49 2	2,984	2,545	5,529	
	b)	39986									
<i>Chanul Appel DC</i>	a)	22921	22921	2,339	1,3	17657	1,80 2	3,604	3,253	6,857	
	b)	48290									
<i>Guayacán Appel DC</i>	a)	22921	22921	2,339	1,3	17657	1,80 2	3,604	3,407	7,011	
	b)	48290									

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

2.4 CONEXIONES TIPO “ALLIGATOR”

Los conectores tipo “Alligator”, tiene forma de anillo con dientes en ambas caras que se hincan en la madera por presión.

Para su colocación se posiciona el o los conectores en la madera, se taladra el agujero para el perno y mediante prensas hidráulicas, se presiona hasta que se junten las piezas de madera.

FIGURA 2.15 CONECTOR TIPO ALLIGATOR

FUENTE: Tesis Ensayo de Conexiones especiales de madera sometidas a carga axial, 2013, pág. 71.

2.4.1 RESUMEN DE NORMAS DE DISEÑO SEGÚN LA “JUNAC”

Las normas de diseño según la Junta del Acuerdo en Cartagena “JUNAC”, no contemplan este tipo de conexiones en su estudio.

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

Estas normas de diseño no contemplan en su estudio este tipo de conexiones.

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

Estas normas de diseño no contemplan en su estudio este tipo de conexiones.

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

Los códigos con los que hemos venido trabajando, no contemplan en su estudio el cálculo de carga admisible para este tipo de conexiones. Por este motivo, se ha recurrido a la Norma Alemana “DIN 1052”. En la cual, al igual que los códigos anteriores, considera la capacidad de carga total de la conexión, como la suma de la contribución del conector en sí, y la contribución del perno que forma parte de la unión.

2.4.4.1 Capacidad resistente para uniones empernadas según la Norma “DIN 1052”

Para poder aplicar esta norma, se recomienda cumplir las siguientes consideraciones:

- El diámetro del perno de la unión no debe ser menor a 12mm.
- 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 d el diámetro del perno.

Para el cálculo de la capacidad de carga de una unión empernada sometida a fuerza axial en dirección perpendicular a la fibra, se obedece la siguiente ecuación:

$$N_{90} = 0.75 N_{00} \quad (2.37)$$

En donde:

- N_{90} Carga admisible del perno con carga axial en dirección perpendicular a la fibra.
- N_{00} Carga admisible del perno con carga axial en dirección paralela a la fibra.

La capacidad portante de un perno viene condicionada por el aplastamiento la madera y por la flexión en el vástago del perno.

Para una unión **con cizallamiento simple**, y cuando los **esfuerzos son en dirección paralela a la fibra**, el valor de carga admisible, está dado por el menor valor entre:

2.4.4.1.1. *Carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera:*

$$N_{m00} = \sigma a d \quad (2.38)$$

De donde:

- **N_{m00}** Carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera (kg)
- **σ** Esfuerzo de aplastamiento de la madera, determinada de acuerdo a la tabla 2.24 (kg/cm²)
- **a** Espesor del miembro menos grueso (cm)
- **d** Diámetro del perno (cm)

2.4.4.1.2. *Carga admisible controlada por el aplastamiento del perno:*

$$N_{p00} = A d^2 \quad (2.39)$$

De donde:

- **N_{p00}** Carga admisible controlada por el aplastamiento del perno (kg)
- **A** Esfuerzo de flexión del perno (kg/cm²), determinada de acuerdo a la tabla 2.24
- **d** Diámetro del perno (cm)

Para una unión **con cizallamiento doble**, y cuando los **esfuerzos son en dirección paralela a la fibra**, el valor de carga admisible, está dado por el menor valor entre:

- a) Carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera según la ecuación 2.18, considerando el elemento central, y tomando como valor de *a*, el espesor del dicho elemento en cm.
- b) Carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera según la ecuación 2.18, considerando los elementos laterales, y tomando como valor de “*a*”, la suma de los espesores de dichos elementos en cm.
- c) Carga admisible controlada por la flexión del perno, según la ecuación 2.19, considerando el elemento central, y considerando el valor de “*A*” de acuerdo a la tabla 2.24.

- d) Carga admisible controlada por la flexión del perno, según la ecuación 2.19, considerando los elementos laterales, y considerando el valor de “A” de acuerdo a la tabla 2.24.

TABLA 2.30 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

TIPO DE JUNTA		MADERA	σ_1	A
CIZALLA SIMPLE		SUAVE	40	170
		DURA	50	200
CIZALLA DOBLE	Elemento Central	SUAVE	85	380
		DURA	100	450
	Elementos Laterales	SUAVE	55	260
		DURA	65	300

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

La clasificación de las maderas, de acuerdo a la Norma DIN 1052, según la densidad específica de la madera es:

Madera Suave $\delta \leq 650 \text{ kg/m}^3$

Madera Dura $\delta > 650 \text{ kg/m}^3$

2.4.4.2 Capacidad resistente 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”.

Dicha tabla toma en cuenta las características del conector como son: diámetro externo, altura, espesor y número de dientes. De acuerdo a estos parámetros, se puede determinar el valor de carga admisible del conector en la tabla 2.25.

TABLA 2.31 CARGAS ADMISIBLES PARA CONEXIONES TIPO ALLIGATOR SEGÚN LA NOMA "DIN 1052"

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
TIPO DE CONECTOR	DIMENSIONES DEL CONECTOR			PERNOS			DIMENSIONES MÍNIMAS DE LAS MADERAS EN UNA SERIE DE PASADORES PARA LA FUERZA Y EL ÁNGULO EN DIRECCIÓN DE LAS FIBRAS			Distancia Mínima al borde	CARGA ADMISIBLE DE UN PASADOR CON LA FUERZA Y EL ÁNGULO EN LA DIRECCIÓN DE LA FIBRA					
	Díametro externo	Altura	Espesor	Número de Dientes	Superficie de falla del pasador	Tornillos de cabeza hexagonal DIN 601 HOJA 1	Díametro de discos circulares/espesor	Longitud de un lado Arandelas cuadradas /espesor	Desde 0° a 30°		Desde 30° a 90°	0° a 30°		30° a 60°		60° a 90°
CONECTOR TIPO ALLIGATOR	d_p	h_p	S		ΔF	d_n	d_s		b/a	b/a	e_{dII}	1 o 2	3 o 4	5 o 6	1 o 2	1 o 2
	mm	mm	mm		cm ²	mm	mm	mm	cm	cm	cm	kp	kp	kp	kp	kp
	55	19	1,45	11	2	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	M22 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: DEUTHCHE NORMEN. DIN Code 1052, (1969), pág. 2

2.4.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROBETAS SEGÚN EL TIPO DE MADERA

Las características y propiedades de la madera como contenido de humedad, densidad, resistencia a la compresión paralela y perpendicular a la fibra de acuerdo al tipo de madera son las mismas que las determinadas en el numeral 2.1.4.

2.4.5.1 Espesor de las piezas de madera que forman parte de la probeta.

Debido a que la NORMA DIN no incluye espesores mínimos de las piezas de madera, se acogen los expuestos en el EUROCÓDIGO 5 para conectores de anillo y placa, los cuales se mencionan en el inciso 2.2.5.1.

2.4.5.2 Distancias mínimas de separación a los bordes y a las testas.

Al igual que los espesores mínimos, se acoge como distancias mínimas al borde y testa, los mencionados en el inciso 2.3.5.2. los cuales se aplican para conectores de anillo y placa.

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

2.4.6.1 Cálculo de cargas admisibles según la “JUNAC”

La JUNAC no contempla este tipo de conexiones de madera en su estudio.

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

Las normas de diseño según la “NDS for Wood Construction” no contemplan este tipo de conexiones de madera en su estudio.

2.4.6.3 Cálculo de cargas admisibles según el “EUROCÓDIGO 5”

El “EUROCODIGO 5” no contempla este tipo de conexiones de madera en su estudio.

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

2.4.6.4.1 Uniones sometidas a simple cizallamiento:

Para el cálculo de la carga admisible de conexiones tipo Alligator, se debe considerar el aporte tanto del perno como del conector.

Cálculo de cargas admisibles para pernos:

Según la Norma DIN 1052, el proceso para el cálculo de la capacidad de carga de un perno es el siguiente:

Datos generales:

Diámetro del perno (d):	1.27 cm
Espesor del elemento más grueso (l):	6 cm
Espesor del miembro menos grueso (a):	6 cm

Como se indicaba, para la aplicación del proceso de esta norma, se necesita cumplir con 2 parámetros:

- El diámetro del perno mayor a 12 mm, el cual se cumple ya que en este caso el diámetro es 12.7 mm.
- La relación l/d debe ser mayor a 4.5:

$$\frac{l}{d} = \frac{6cm}{1.27cm} = 4.74 > 4.5$$

Con esta comprobación podemos proceder a aplicar esta norma.

- a) Cálculo de la carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera (para fuerzas axiales paralelas a la fibra), ecuación 2.38.

$$Nm_{00} = \sigma a d$$

- b) Cálculo de la carga admisible controlada por el aplastamiento del perno (para fuerzas axiales paralelas a la fibra) ecuación 2.39.

$$N_{p00} = A d^2$$

- c) Para la aplicación de estas dos últimas ecuaciones, los valores de σ y A , se tomarán de la Tabla 2.24.
- d) Selección de la carga admisible de la unión empernada para fuerzas axiales paralelas a la fibra, considerando que:

$$N_{00} = \text{mínimo} (N_{m00} ; N_{p00})$$

- e) Cálculo de la carga admisible de la unión empernada para fuerzas axiales paralelas a la fibra.

$$N_{90} = 0.75 N_{00}$$

Cálculo de cargas admisibles para conector Tipo “Alligator”:

Datos generales conector Alligator:

Diámetro externo del conector (d_d):	70 mm
Altura del conector (h_d):	29 mm
Espesor del conector (S):	2 mm
Número de dientes:	15

La carga admisible para el conector deberá determinarse de acuerdo a la tabla 2.25, considerando las características del conector estudiado, y que el ángulo de aplicación de la fuerza es 90° .

El valor final de la carga admisible de la conexión completa, resultará de la **suma de la carga que soporta el perno más la del conector**.

Siguiendo este proceso, se obtienen los siguientes resultados:

TABLA 2.32 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO ALLIGATOR SOMETIDAS A SIMPLE CIZALLAMIENTO (DIN).

PROBETA	δ kg/m ³	CARGA ADMISIBLE PERNO										CONECTOR		CARGA TOTAL CONEXION T		
		TIPO DE MADERA	σ kg/cm ²	Nm ₀₀ Kg	A kg/cm ²	Np ₀₀ Kg	N ₀₀ Kg	N ₉₀ Kg	N ₉₀ Kg	N _{ALLI} kp	N _{ALLI} kp	N ₉₀ T	N _{ALLI} T			
															N ₉₀ Kg	N ₉₀ Kg
Mascarey Alligator SC	507,18	Suave	40	303,6	170	272,04	272,04	204,03	204,03	204,03	204,03	204,03	700	700	0,70	0,90
Chanul Alligator SC	828,44	Dura	50	379,5	200	320,05	320,05	240,03	240,03	240,03	240,03	240,03	700	700	0,70	0,94
Guayacán Alligator SC	908,94	Dura	50	379,5	200	320,05	320,05	240,03	240,03	240,03	240,03	240,03	700	700	0,70	0,94

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

2.4.6.4.2 Uniones sometidas a doble cizallamiento:

Al igual que para las uniones sometidas a cizallamiento simple, se debe sumar el porte del perno más el del conector, esta última se multiplica por 2, ya que la unión involucra dos conectores.

Cálculo de cargas admisibles para pernos:

Según la Norma DIN 1052, el proceso para el cálculo de la capacidad de carga de un perno es el siguiente:

Datos generales:

Diámetro del perno (d): 1.27 cm

Espesor del elemento más grueso (l): 6 cm

En este caso el valor de l/d es el mismo que para cizallamiento simple, el cual cumple con el requerimiento de la Norma.

- a) Cálculo de la carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera, considerando el elemento central (para fuerzas axiales paralelas a la fibra).

$$N_{m00} = \sigma_{\text{central}} a_{\text{central}} d$$

- b) Cálculo de la carga admisible controlada por el aplastamiento de la madera, considerando los elementos laterales (para fuerzas axiales paralelas a la fibra).

$$N_{m00} = \sigma_{\text{lateral}} a_{\text{lateral}} d$$

- c) Cálculo de la carga admisible controlada por el aplastamiento del perno, considerando el elemento central (para fuerzas axiales paralelas a la fibra).

$$N_{p00} = A_{\text{central}} d^2$$

- d) Cálculo de la carga admisible controlada por el aplastamiento del perno, considerando los elementos laterales (para fuerzas axiales paralelas a la fibra).

$$N_{p00} = A_{\text{lateral}} d^2$$

- e) Para la aplicación de estas ecuaciones, los valores de σ , A , y a centrales y laterales se tomarán de la Tabla 2.24.
- f) Selección de la carga admisible de la unión empernada para fuerzas axiales paralelas a la fibra, considerándola como el mínimo valor entre las 4 cargas calculadas anteriormente.
- g) Cálculo de la carga admisible de la unión empernada para fuerzas axiales paralelas a la fibra.

$$N_{90} = 0.75 N_{00}$$

Cálculo de cargas admisibles para conector Tipo “Alligator”:

Datos generales conector Alligator:

Diámetro externo del conector (d_d):	70 mm
Altura del conector (h_d):	19 mm
Espesor del conector (S):	1.45 mm
Número de dientes:	15

La carga admisible para el conector deberá determinarse de acuerdo a la tabla 2.25, considerando las características del conector estudiado, y que el ángulo de aplicación de la fuerza es 90° . Tomando en cuenta que la unión requiere dos conectores, la carga admisible del conector se duplicará.

El valor final de la carga admisible de la conexión completa, resultará de la **suma de la carga que soporta el perno más la de los conectores**.

TABLA 2.33 CARGAS ADMISIBLES EN PROBETAS TIPO ALLIGATOR SOMETIDAS A DOBLE CIZALLAMIENTO (DIN).

PROBETA		δ kg/m ³	TIPO DE MADERA	Elemento Central						Elementos Laterales						CARGA PERNO		
				$\sigma_{central}$ kg/cm ²	$a_{central}$ cm	$A_{central}$ kg/cm ²	$N_{m,00}$ Kg	$N_{p,00}$ Kg	$\sigma_{laterales}$ kg/cm ²	$a_{laterales}$ cm	$A_{laterales}$ kg/cm ²	$N_{m,00}$ Kg	$N_{p,00}$ Kg	N_{00} Kg	N_{90} Kg	N_{90} Kg	T	
				kg/cm ²	cm	kg/cm ²	Kg	Kg	kg/cm ²	cm	kg/cm ²	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	T	
Masarey Alligator DC		507,18	Suave	85	6	380	645,15	608,09	55	8	260	557	416	416	416	312	0,31	
Chanul Alligator DC		828,44	Dura	100	6	450	759,00	720,10	65	8	300	658	480	480	480	360	0,36	
Guayacán Alligator DC		908,94	Dura	100	6	450	759,00	720,10	65	8	300	658	480	480	480	360	0,36	

PROBETA	CONECTOR		CARGA TOTAL CONEXION
	N_{ALLI}	N_{ALLI}	
	kp	T	
Masarey Alligator DC	1400	1,4	1,71
Chanul Alligator DC	1400	1,4	1,76
Guayacán Alligator DC	1400	1,4	1,76

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth.

CAPÍTULO 3

ESTUDIO Y ENSAYO DE CONEXIONES

En este capítulo se detallará las características de las probetas, incluyendo las dimensiones de las piezas de madera, y especificaciones de los conectores.

Los ensayos, como se mencionó en capítulos anteriores, se realizaron en especies de madera representantes de cada grupo estructural, de acuerdo a la clasificación de la JUNAC.

La siguiente tabla, resume las características de las maderas que se han usado para los ensayos de conexiones especiales de madera sometidas a carga axial en sentido perpendicular a la fibra.

TABLA 3.34 CARACTERÍSTICAS DE LAS ESPECIES DE MADERA

<i>ESPECIE</i>	<i>GRUPO DE MADERA (JUNAC)</i>	<i>Densidad Básica promedio (g/cm³)</i>	<i>Contenido de Humedad promedio (%)</i>
<i>Guayacán</i>	A	0.91	9.50
<i>Chaul</i>	B	0.83	11.85
<i>Mascarey</i>	C	0.51	12.39

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, define como **madera estructural** a aquella que es capaz de soportar su propio peso y estar sujeta a diversos esfuerzos externos. Es por esto que debe tener una densidad básica mínima de 0,4 gr/cm³, además la madera debe tener un contenido de humedad en estado seco de alrededor de 12%.

Una vez cumplidas las propiedades de densidad y contenido de humedad, se ha realizado el ensayo por cada especie de madera, en 3 probetas por cada tipo de conexión (Perno, Bulldog, Appel, Alligator), dando un total de 72 probetas, cuyos resultados experimentales se los detallará en el desarrollo de este capítulo.

Las probetas fueron ensayadas en la Máquina Universal perteneciente al Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones de la Escuela Politécnica Nacional, la cual arroja gráficas de Carga Vs. Deformación.

Debido a la irregularidad de los cortes de las piezas de madera sobre las cuales debe ir el cabezal que transmite la fuerza en la máquina universal, algunas de las gráficas no empiezan en el punto (0,0), es por esto que para la determinación de la resistencias de cada tipo de unión se ha desplazado las gráficas correspondientes al origen de coordenadas.

Cargas Admisibles:

Los datos de Cargas admisibles se ha tomado cuando la deformación es 1.5mm, ya que, la definición de capacidad dada por la ASTM D 1761 (ASTM 2011), es la carga de rotura o la carga que provoca un desplazamiento de la unión de 0.6 pulgadas (1.5 mm), lo que ocurra primero.

Teóricamente el valor de carga admisible resulta de la relación entre la carga en el Límite Elástico dividido para un factor de seguridad.

Este factor de seguridad se introduce para reducir la carga a fin de que se encuentre por debajo del límite de proporcionalidad, y no está destinado a cubrir errores en el diseño, ni defectos de construcción o el uso de material no clasificado como madera estructural.

Este factor se lo utiliza para cubrir diferentes incertidumbres como:

- Conocimiento de las propiedades físico-mecánicas de las maderas.
- Confiabilidad de los ensayos obtenidos en el laboratorio.
- Calidad de mano de obra para una construcción adecuada.
- Deterioro del material.
- Aumento de cargas por posibles cambios en la estructura original.

De acuerdo a los resultados experimentales, se establecerá un valor de factor de seguridad, dividiendo la carga en el límite elástico para el valor de carga admisible cuando la deformación es 1.5mm.

$$Carga\ admisible = \frac{Carga\ en\ Límite\ Elástico}{Factor\ de\ seguridad} \quad (3.1)$$

$$Factor\ de\ seguridad = \frac{Carga\ en\ Límite\ Elástico}{Carga\ cuando\ \delta=1.5mm} \quad (3.2)$$

El valor de factor de seguridad para cada tipo de conexión, se establecerá como el promedio de los correspondientes a cada tipo de madera.

3.1 ENSAYO DE CONEXIONES EMPERNADAS

3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PROBETAS:

Los ensayos de las conexiones empernadas son muy importantes, ya que a partir de estos resultados, se puede establecer una comparación y análisis del incremento de capacidad portante que alcanzan cuando trabajan el conector junto con el perno.

3.1.1.1 Características del perno:

El capítulo 12.2 de la JUNAC, el cual se refiere a Uniones Empernadas, y sus respectivos comentarios, menciona que los pernos deben ser de acero de grado estructural, con esfuerzo de fluencia no menor que 2300 kg/cm². Además las cargas admisibles de este código están basadas en resultados de ensayos de uniones con pernos de ½”.

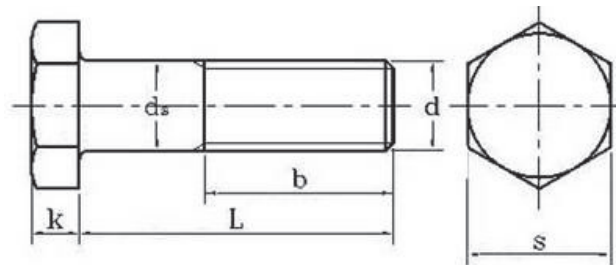
Bajo estas condiciones, los ensayos se harán con pernos tipo SAE Grado 2 con Acero de Bajo Carbono, el cual según las especificaciones SAE, tiene un esfuerzo de fluencia de 57ksi que equivale a 4007 kg/cm². Con un diámetro de ½”, que sigue la Norma ANSI/ASME B 18.2.1.

FIGURA 3.1 ESPECIFICACIONES SAE PARA PERNOS DE ACERO

Grado SAE	Intervalo de tamaños (inclusive) (in)	Resistencia límite mínima a la tracción S_p (ksi)	Resistencia de fluencia mínima a la tracción S_y (ksi)	Resistencia última mínima a la tracción S_u (ksi)	Características del acero
1	¼ a 1½	33	36	60	Medio o bajo carbono
2	¼ a ¾	55	57	74	Medio o bajo carbono
	7/8 a 1½	33	36	60	
4	¼ a 1½	65	100	115	Medio carbono estirado en frío
5	¼ a 1	85	92	120	Medio carbono templado y revenido
	1 1/8 a 1½	74	81	105	
5.2	¼ a 1	85	92	120	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido
7	¼ a 1½	105	115	133	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8	¼ a 1½	120	130	150	Aleado de medio carbono, templado y revenido
8.2	¼ a 1	120	130	150	Martensítico de bajo carbono, templado y revenido

FUENTE: VANEGAS L., Conceptos básicos sobre diseño de máquinas, pág. 9

FIGURA 3.2 DIMENSIONES DE UN PERNO DE ½"



Nom (pulg)	ds (pulg)		S (pulg)		K (pulg)		b (pulg)	
	máx	min	Máx	min	máx	min	L<6	L>6
½	0.515	0.482	0.75	0.725	0.364	0.302	1.25	1.5

FUENTE: Norma ANSI/ASME B 18.2.

3.1.1.1.1 Longitud de los pernos:

Simple Cizallamiento: Para todas las probetas ensayadas a simple cizallamiento se utilizarán pernos de 6" de longitud, es decir 15.24 cm, los cuales cubren las 2 piezas de madera de 6 cm de espesor que al unirlos suman 12cm.

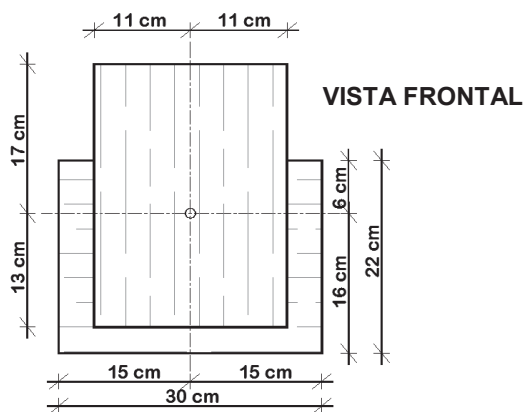
Doble Cizallamiento: Para todas las probetas ensayadas a doble cizallamiento se utilizarán pernos de 7" de longitud, es decir 17.78 cm, los cuales cubren el espesor de las 2 piezas de madera laterales (4 cm) y la central (6 cm), que al unirlos suman 14 cm.

3.1.1.2 Características de las piezas de madera:

Las piezas de madera, obedecen los valores mínimos de espesores y distancias al borde y testa, mencionados en los numerales 2.1.4.5 y 2.1.4.6.

De acuerdo a estas características, y acoplándonos a las ofrecidas por el mercado local, las piezas de madera para **simple cizallamiento**, tienen un espesor de 60mm, mientras que aquellas sometidas a **doble cizallamiento** tienen un espesor de 60mm en la pieza central, y 40mm en las laterales, además las longitudes al borde y testa resultan de la siguiente manera:

FIGURA 3.3 LONGITUDES AL BORDE Y TESTA DE LAS PROBETAS



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.1.1.3 Ensamble de las probetas:

FIGURA 3.4 ENSAMBLE DE PROBETAS EMPERNADAS



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

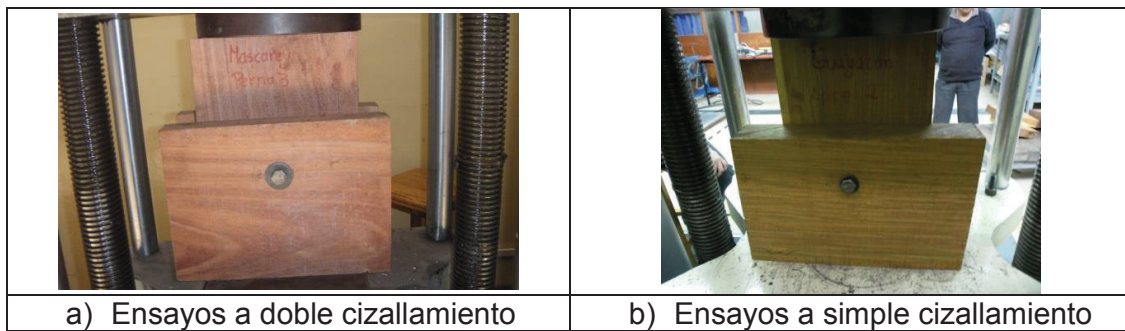
3.1.2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:

3.1.2.1 Ensayo de las probetas \perp :

El ensayo de las probetas empernadas sometidas a carga axial en dirección perpendicular a la fibra se ha realizado en la Máquina universal de ensayos.

FIGURA 3.5 MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS

Fuente: Laboratorio de Análisis y Vibraciones, EPN

FIGURA 3.6 ENSAYOS A DOBLE Y SIMPLE CIZALLAMIENTO

Fuente: Laboratorio de Análisis y Vibraciones, EPN

3.1.2.2 Modo de falla de las probetas:

3.1.2.2.1 Simple cizallamiento Probetas de Mascarey:

FIGURA 3.7 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, han hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Los ensayos muestran que la falla de las uniones fue por flexión de los pernos, alcanzaron un gran desplazamiento sin sufrir fractura alguna, ni el perno, ni las piezas de madera.

3.1.2.2.2 Simple Cizallamiento Probetas de Chanul:

FIGURA 3.8 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las piezas de madera a las cuales se le ha aplicado la fuerza paralelamente a la fibra han sufrido pequeñas fisuras en dirección de la fibra, la deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Estas probetas alcanzan su máxima carga por deformación, más no por fractura de sus piezas.

3.1.2.2.3 Simple Cizallamiento Probetas de Guayacán:

FIGURA 3.9 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las piezas de madera a las cuales se les ha aplicado la fuerza paralelamente a la fibra han presentado pequeñas fisuras en dirección de la fibra, la deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Estas probetas, alcanzan su máxima carga por deformación, más no por fractura de sus piezas.
- La deformación de los pernos es mayor que para las probetas de Mascarey y Chanul.

3.1.2.2.4 Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán empernadas sometidas a Simple Cizallamiento:

Las deformaciones de los pernos son mayores en las probetas de guayacán y menores en las de mascarey.

La imagen siguiente muestra los pernos de las conexiones Empernadas, de izquierda a derecha, en Mascarey, Chanul y Guayacán.

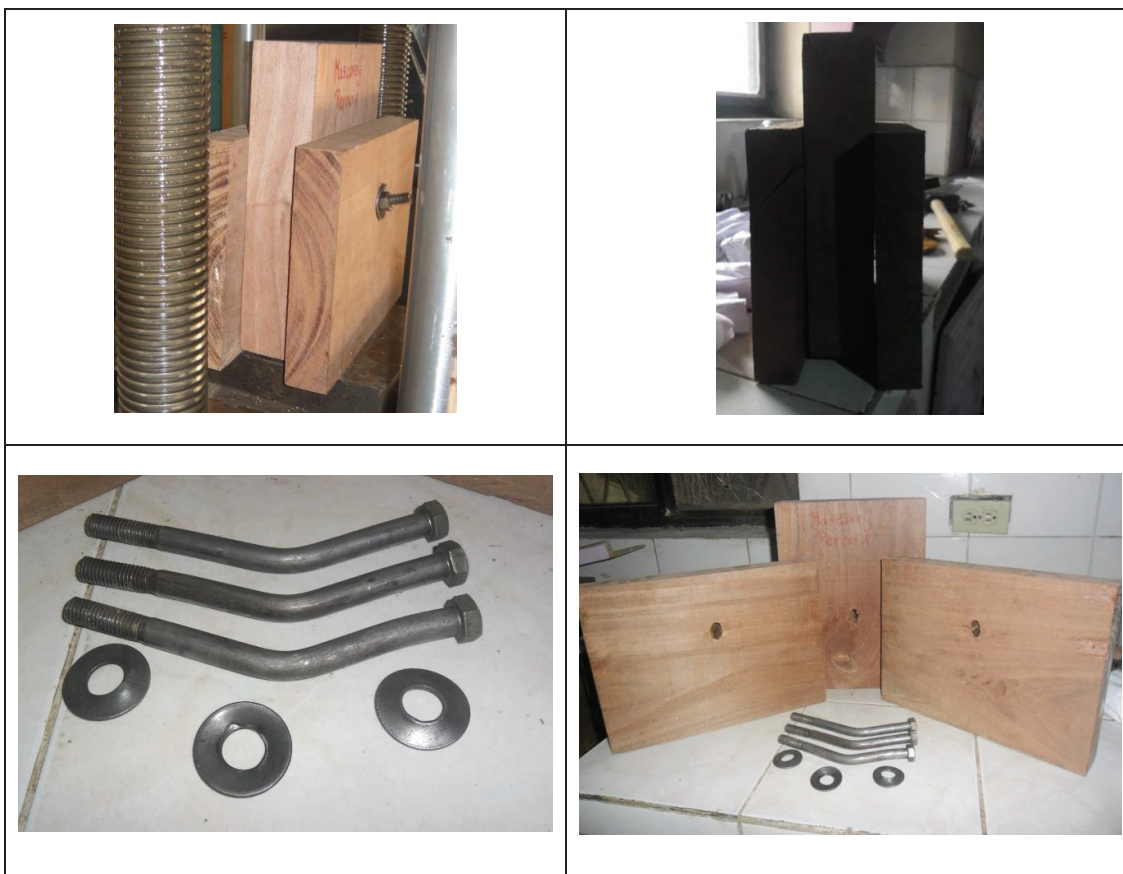
FIGURA 3.10 CONEXIÓN EMPERNADA PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.1.2.2.5 *Doble cizallamiento Probetas de Mascarey:*

FIGURA 3.11 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, han hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Los ensayos muestran que la falla de las uniones fue por flexión de los pernos.
- La carga máxima se presenta cuando la pieza central alcanza el nivel de las laterales.
- Aparecen pequeñas fisuras en dirección de la fibra en las piezas laterales.
- Las arandelas que ajustan el perno, tuvieron una gran deformación.

3.1.2.2.6 Doble Cizallamiento Probetas de Chanul:

FIGURA 3.12 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta cuando las piezas laterales llegan a la rotura.
- Las piezas laterales presentan grandes fracturas por pandeo.
- La pieza central presenta fisuras menores que las piezas laterales pero mayores que en las piezas de las probetas de Mascarey.

3.1.2.2.7 Doble Cizallamiento Probetas de Guayacán:

FIGURA 3.13 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta cuando las piezas laterales y central se fracturaron.
- Las piezas laterales presentan fracturas por pandeo.
- Los pernos de las probetas de Guayacán sufrieron mayores deformaciones en comparación a las de Chanul y Mascarey.

3.1.2.2.8 Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán empernadas sometidas a Doble Cizallamiento:

Las deformaciones de los pernos son mayores en las probetas de guayacán y menores en las de mascarey.

La imagen siguiente muestra los pernos de las conexiones Empernadas, de arriba hacia abajo, en Mascarey, Chanul y Guayacán.

FIGURA 3.14 CONEXIÓN EMPERNADA PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA



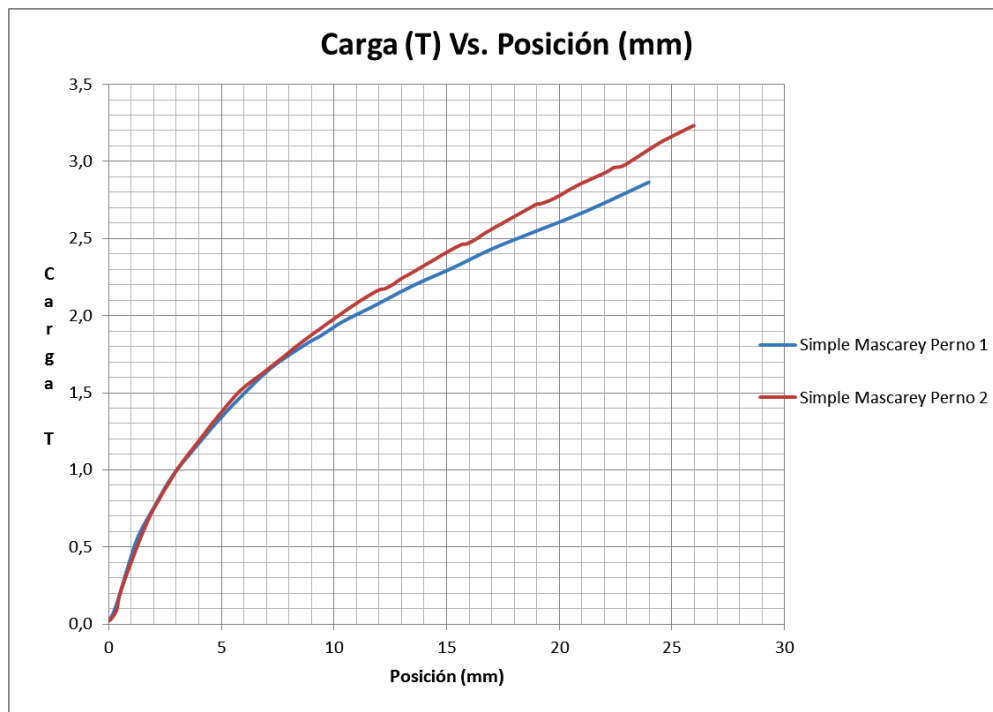
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.1.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES:

3.1.3.1 Probetas de Mascarey Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 2 probetas de Mascarey con uniones empernadas sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.15 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO MASCAREY-PERNO



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.35 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO MASCAREY-PERNO

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
Simple Mascarey Perno 1	2,880	24,600	0,880	2,800	0,430
Simple Mascarey Perno 2	3,250	26,500	0,830	2,900	0,380
Cargas Promedio	3,065	25,550	0,855	2,850	0,405
Cargas Mínimas	2,880	24,600	0,830	2,800	0,380

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

En donde:

- P. Máx Carga Máxima
- δ Máx. Deformación Máxima

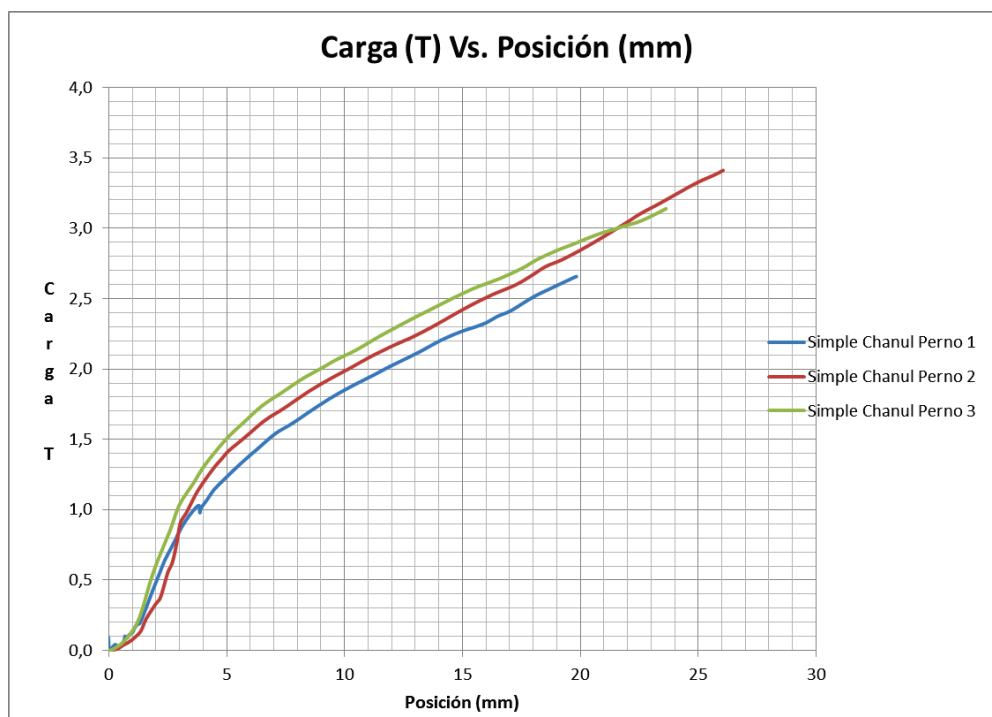
- P.L.E. Carga en el Límite Elástico
- δ L.E. Deformación en el límite elástico
- δ Deformación
- L.E. Límite Elástico

Esta nomenclatura será usada para todas las tablas de cargas de las probetas ensayadas.

3.1.3.2 Probetas de Chanul Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Chanul con uniones empernadas sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.16 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO CHANUL-PERNO



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.36 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO CHANUL-PERNO

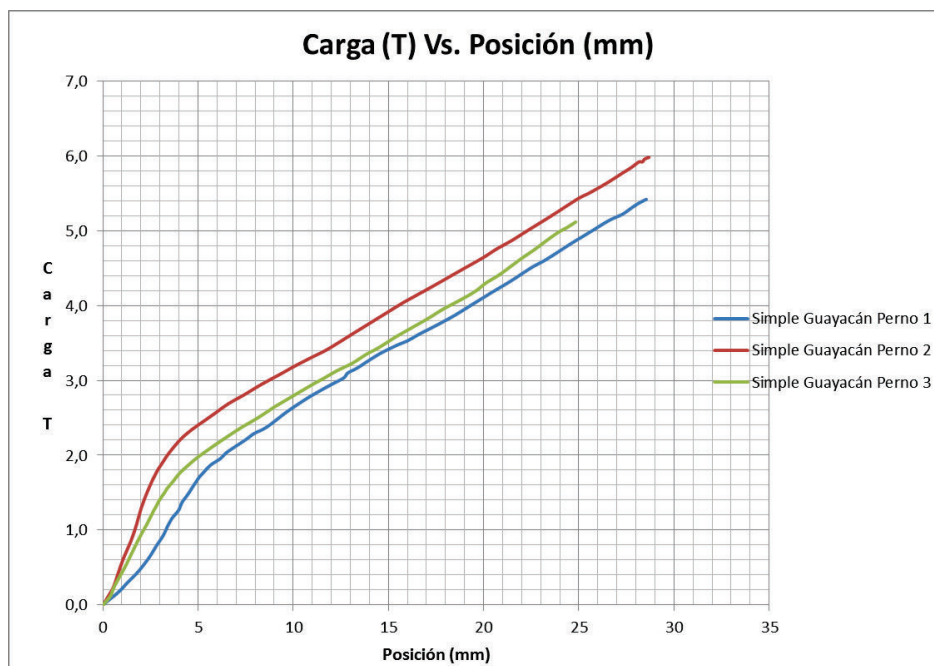
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Chanul Perno 1</i>	2,640	20,000	1,040	3,800	0,280
<i>Simple Chanul Perno 2</i>	3,390	26,100	1,020	3,830	0,220
<i>Simple Chanul Perno 3</i>	3,120	23,800	1,180	3,430	0,320
Cargas Promedio	3,050	23,300	1,080	3,687	0,273
Cargas Mínimas	2,640	20,000	1,050	3,800	0,220

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.1.3.3 Probetas de Guayacán Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Guayacán con uniones emperradas sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.17 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO GUAYACÁN-PERNO



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.37 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS SIMPLE CIZALLAMIENTO GUAYACÁN-PERNO

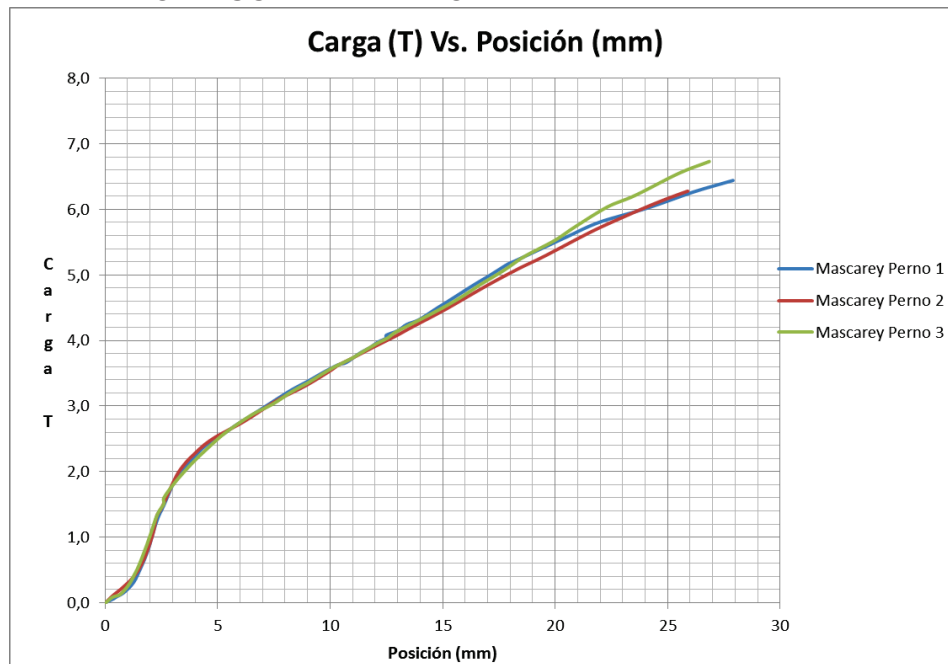
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Guayacán Perno 1</i>	5,400	28,500	1,900	5,700	0,350
<i>Simple Guayacán Perno 2</i>	6,000	28,800	1,950	3,000	0,820
<i>Simple Guayacán Perno 3</i>	5,150	25,000	1,800	4,000	0,700
Cargas Promedio	5,517	27,433	1,883	4,233	0,623
Cargas Mínimas	5,150	25,000	1,800	4,000	0,350

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.1.3.4 Probetas de Mascarey Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Mascarey con uniones empernadas sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.18 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO MASCAREY-PERNO



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.38 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO MASCAREY-PERNO

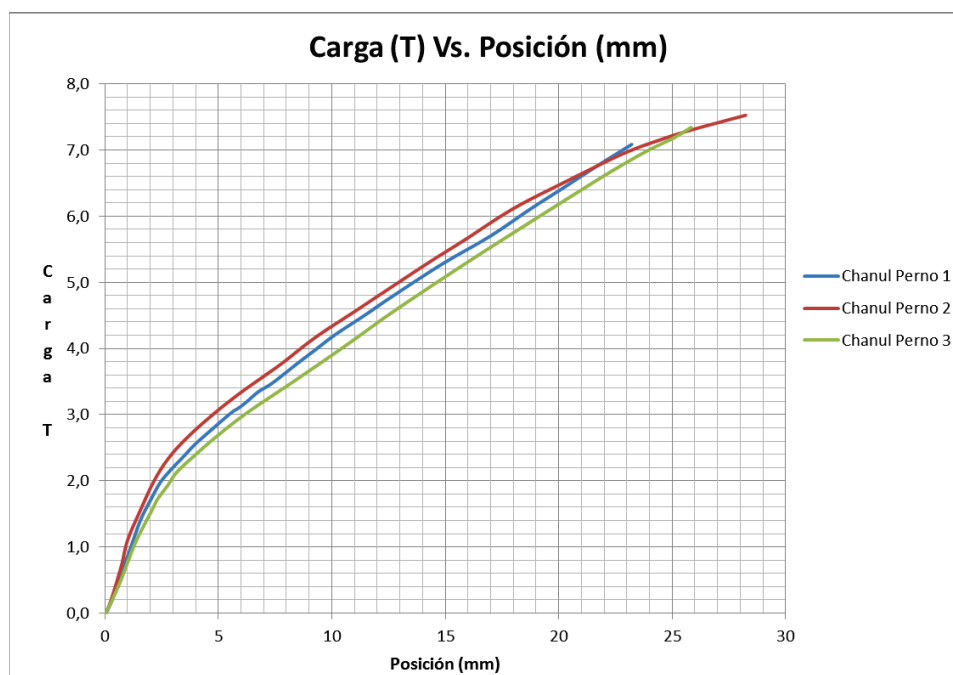
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Doble Mascarey Perno 1</i>	6,245	28,000	2,100	3,550	0,450
<i>Doble Mascarey Perno 2</i>	6,300	26,000	2,200	3,600	0,550
<i>Doble Mascarey Perno 3</i>	6,750	27,000	1,950	3,300	0,600
Cargas Promedio	6,432	27,000	2,083	3,483	0,533
Cargas Mínimas	6,245	28,000	1,950	3,300	0,450

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.1.3.5 Probetas de Chanul Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Chanul con uniones empernadas sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.19 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO CHANUL-PERNO



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.39 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO CHANUL-PERNO

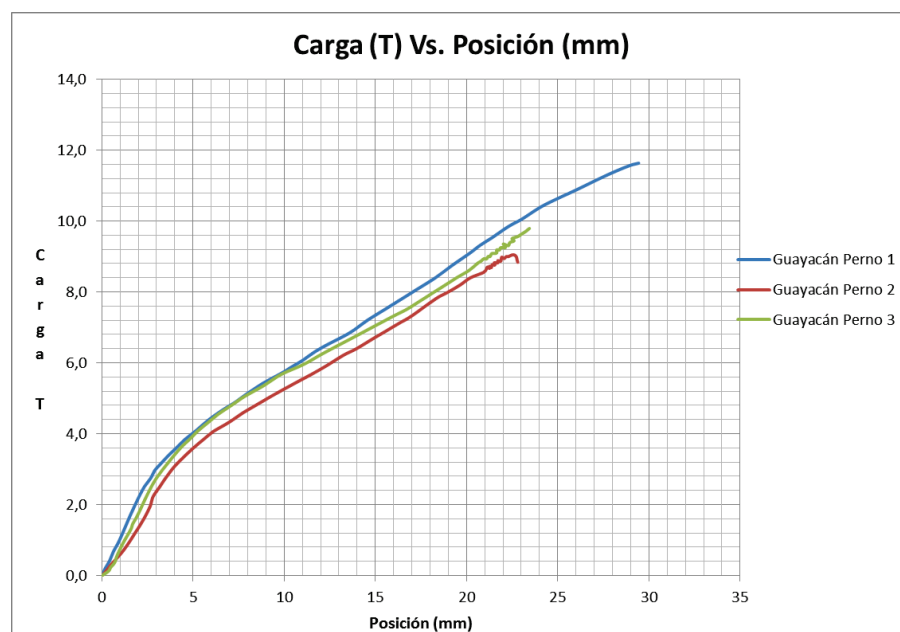
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Doble Chanul Perno 1</i>	7,100	23,240	2,100	2,630	1,350
<i>Doble Chanul Perno 2</i>	7,550	28,320	2,000	2,180	1,500
<i>Doble Chanul Perno 3</i>	7,350	25,870	2,050	2,980	1,200
Cargas Promedio	7,333	25,810	2,050	2,597	1,350
Cargas Mínimas	7,100	23,240	2,000	2,180	1,200

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.1.3.6 Probetas de Guayacán Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Guayacán con uniones empernadas sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.20 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO GUAYACÁN-PERNO



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.40 DATOS CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS DOBLE CIZALLAMIENTO GUAYACÁN-PERNO

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Doble Guayacán Perno 1</i>	11,600	29,500	3,100	3,010	1,600
<i>Doble Guayacán Perno 2</i>	9,200	22,700	3,400	4,510	1,000
<i>Doble Guayacán Perno 3</i>	9,800	23,400	3,400	3,960	1,300
Cargas Promedio	10,200	25,200	3,300	3,827	1,300
Cargas Mínimas	9,200	22,700	3,100	3,010	1,000

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.1.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS:

A partir de los datos experimentales mostrados en las tablas anteriores, se desprende la tabla de resumen siguiente, tomando los valores promedios de los ensayos. Como valor de Factor de seguridad, se ha tomado el promedio de los correspondientes a cada caso.

TABLA 3.41 RESUMEN DE PROBETAS EMPERNADAS

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE		
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$	Factor de Seguridad	P.L.E./2.8
	Ton	mm	Ton	mm	Ton	P.L.E./P. adm	Ton
<i>Simple Mascarey Perno</i>	3,065	25,55	0,855	2,85	0,405	2,1	0,301
<i>Simple Chanul Perno</i>	3,05	23,3	1,08	3,687	0,273	4,0	0,380
<i>Simple Guayacán Perno</i>	5,517	27,433	1,883	4,233	0,623	3,0	0,662
<i>Doble Mascarey Perno</i>	6,432	27	2,083	3,483	0,533	3,9	0,733
<i>Doble Chanul Perno</i>	7,333	25,81	2,05	2,597	1,35	1,5	0,721
<i>Doble Guayacán Perno</i>	10,2	25,2	3,3	3,827	1,3	2,5	1,161
					Promedio	2,8	

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

En la tabla anterior se presentan los factores de seguridad para cada probeta, cuyo promedio es **2.8**.

Considerando este valor como factor de seguridad, se obtiene el valor de carga admisible final (P.L.E./2,8).

TABLA 3.42 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P.L.E./2.8

PROBETA	P.ADM = P.L.E. /2.8	P. Límite Elástico	P. MÁX.
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Perno</i>	100	284	1019
<i>Simple Chanul Perno</i>	100	284	803
<i>Simple Guayacán Perno</i>	100	284	833
<i>Doble Mascarey Perno</i>	100	284	878
<i>Doble Chanul Perno</i>	100	284	1017
<i>Doble Guayacán Perno</i>	100	284	879

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.43 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P. CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM

PROBETA	P. ADMISIBLE	P. Límite Elástico	P. MÁX.
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Perno</i>	100	211	757
<i>Simple Chanul Perno</i>	100	396	1117
<i>Simple Guayacán Perno</i>	100	302	886
<i>Doble Mascarey Perno</i>	100	391	1207
<i>Doble Chanul Perno</i>	100	152	543
<i>Doble Guayacán Perno</i>	100	254	785

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.44 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA ADMISIBLE CUANDO ES IGUAL A P.L.E./2.8 EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P. CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM

PROBETA	P. ADM. ($\delta = 1.5$)	P.ADM = P.L.E./2.8
	%	%
Simple Mascarey Perno	100	74
Simple Chanul Perno	100	139
Simple Guayacán Perno	100	106
Doble Mascarey Perno	100	137
Doble Chanul Perno	100	60
Doble Guayacán Perno	100	89

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.45 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO.

PROBETA	DEF. EN L.E.	DEF. EN P. MAX.
	%	%
Simple Mascarey Perno	100	896
Simple Chanul Perno	100	632
Simple Guayacán Perno	100	648
Doble Mascarey Perno	100	775
Doble Chanul Perno	100	994
Doble Guayacán Perno	100	658

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Al comparar la carga máxima con la admisible (P.L.E./2.8), se puede evidenciar que su valor es de 8 a 10 veces el de la admisible.
- El valor de la carga máxima en comparación con la admisible (P cuando $\delta = 1.5\text{mm}$) varía mucho de un tipo de probeta a otra, en un rango de 5 a 12 veces.
- Para las probetas con conexiones Empernadas, el valor de carga admisible (P.L.E./2.8) no difiere por más del 40% respecto a la correspondiente cuando la deformación es 1.5mm.

3.1.4.1 Rigideces de conexiones empernadas:

La pendiente bajo la curva Carga vs. Deformación en el tramo elástico, representa la rigidez de las conexiones, la cual se resume en la tabla siguiente:

TABLA 3.46 RIGIDECES CONEXIONES EMPERNADAS.

<i>PROBETA</i>	RIGIDECES
	Ton/mm
<i>Simple Mascarey Perno</i>	0,300
<i>Simple Chanul Perno</i>	0,293
<i>Simple Guayacán Perno</i>	0,445
<i>Doble Mascarey Perno</i>	0,598
<i>Doble Chanul Perno</i>	0,789
<i>Doble Guayacán Perno</i>	0,862

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Para corte simple, las conexiones en mascarey y chanul, tienen una rigidez semejante, y mayor capacidad de deformación respecto al guayacán.
- Para corte doble la rigidez de las probetas es menor para mascarey, y mayor para guayacán.

3.2 ENSAYO DE CONEXIONES TIPO BULLDOG

3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PROBETAS:

Las probetas con conexiones tipo Bulldog, serán descritas tomando en cuenta cada uno de sus componentes, como son: las piezas de madera, perno y conectores.

3.2.1.1 Características del perno:

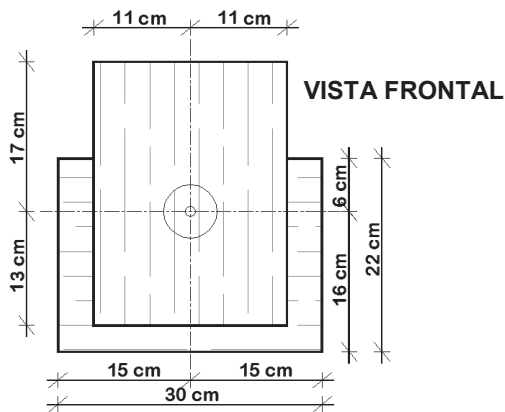
Las características del perno a ser utilizado para este tipo de conexiones son las mismas que las descritas en el numeral 3.1.1.1.

3.2.1.2 Características de las piezas de madera:

Las piezas de madera, obedecen los valores mínimos de espesores y distancias al borde y testa, mencionados en los numerales 2.2.4.1 y 2.2.4.2.

De acuerdo a estas características, y acoplándonos a las ofrecidas por el mercado local, las piezas de madera para **simple cizallamiento**, tienen un espesor de *60mm*, mientras que aquellas sometidas a **doble cizallamiento** tienen un espesor de *60mm en la pieza central*, y *40mm en las laterales*, además las longitudes desde el centro del perno al borde y testa resultan de la siguiente manera:

FIGURA 3.21 LONGITUDES AL BORDE Y TESTA DE LAS PROBETAS CON CONEXIONES TIPO BULLDOG



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.1.3 Características del conector:

El conector tipo Bulldog, se clasifica como conector de placa dentada tipo C2, de acuerdo a la Sociedad Española de la Madera, cuyas dimensiones y especificaciones de materiales se establecen en el “Manual de Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera”, capítulo 5 “UNIONES CON CONECTORES”, numeral 5.4, el cual habla de los CONECTORES DE PLACA DENTADA.

TABLA 3.47 CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR TIPO BULLDOG

	Según Norma	Fabricado	<p>TIPO C2</p>
Diámetro d en (mm)	62	62	
Altura h en (mm)	8.7	9	
Espesor t en (mm)	1.20	1.50	
Diámetro del agujero del perno d_1 (mm)	12.4	12.6	
Número de dientes	12	12	
Material	Acero bajo en carbono	Acero bajo en carbono	

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

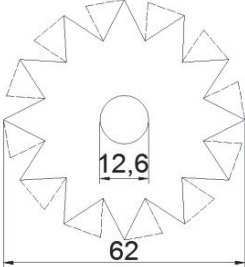


3.2.1.3.1. Consideraciones constructivas:

Es necesario considerar que estos conectores se han fabricado manualmente con instrumentos de cerrajería, así que es posible, que las dimensiones como la altura y diámetros, difieran levemente de las especificadas.

El espesor del conector es mayor, ya que el mercado ecuatoriano no dispone del espesor que indica la norma.

El diámetro utilizado para el agujero del perno, corresponde al diámetro de la broca de $\frac{1}{2}$ " disponibles en el mercado ecuatoriano.

3.2.1.4 Ensamble de las probetas:

<p>Dibujar el conector en el plano e imprimirlo en papel adhesivo para colocarlo sobre las placas de acero, las figuras trazadas con líneas segmentadas forman cada uno de los dientes del conector que deberán ser dobladas posteriormente.</p>	
<p>Cortar las placas de acero por los bordes de la figura.</p>	
<p>Doblar los dientes del conector 90° con respecto a la placa, y cortar el agujero para el perno.</p>	

<p>Conector terminado.</p>	
<p>En las piezas de madera, se traza los ejes para el perno, y con la ayuda de una fresadora se perfora un agujero de 3mm de profundidad y diámetro igual al del conector para que este se aloje.</p>	 
<p>Con la prensa hidráulica, hacer presión sobre el conector para incrustar los dientes en la pieza de madera.</p> <p>Tomar en cuenta que estos conectores se unen espalda con espalda en la conexión.</p>	 

<p>Con la ayuda de un taladro, perforar el agujero para el perno en todas las piezas de madera.</p>	
<p>Finalmente se une cada elemento de la probeta ajustándose mediante el perno y las arandelas que se ubican en los extremos.</p>	 

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:

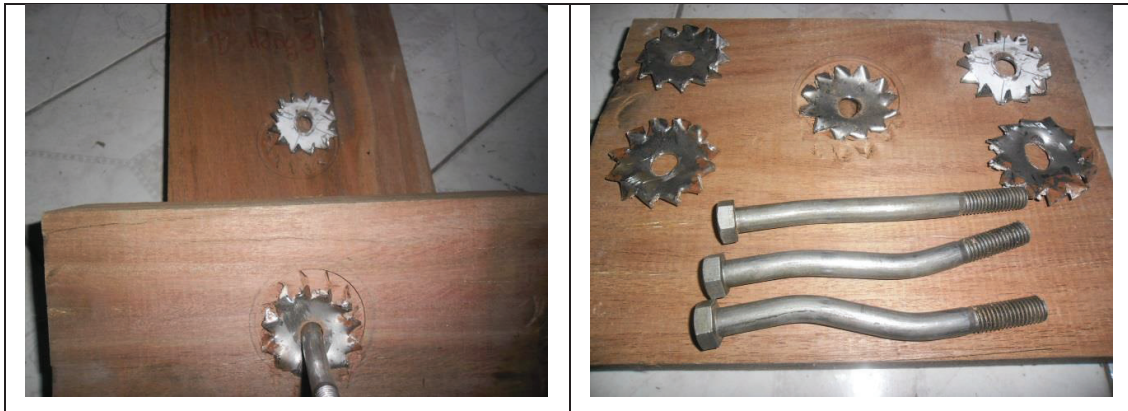
3.2.2.1 Ensayo de las probetas 1 :

El ensayo de las probetas con conexión tipo BULLDOG sometidas a carga axial en dirección perpendicular a la fibra se han realizado en la Máquina universal de ensayos.

3.2.2.2 Modo de falla de las probetas:

3.2.2.2.1 Simple cizallamiento Probetas de Mascarey:

FIGURA 3.22 MODO DE FALLA MASCAREY BULLDOG CORTE SIMPLE

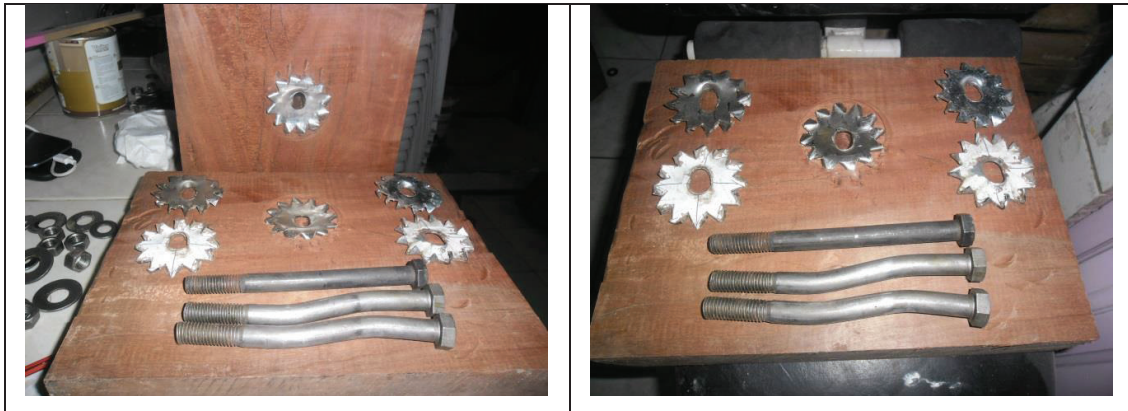


Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las piezas de madera presentaron pequeñas fisuras, la deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Los conectores también se desplazaron, fisurando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentaron daños en su forma.
- Estas probetas, alcanzan su máxima carga por deformación, más no por fractura de sus piezas.

3.2.2.2.2 *Simple cizallamiento Probetas de Chanul:*

FIGURA 3.23 MODO DE FALLA CHANUL BULLDOG CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las dos piezas de madera presentaron pequeñas fisuras en dirección de la fibra, la deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Estas probetas, alcanzan su máxima carga por deformación, más no por fractura de sus piezas.
- La deformación de los pernos es mayor en comparación a las probetas de Mascarey.

3.2.2.2.3 *Simple cizallamiento Probetas de Guayacán:*

FIGURA 3.24 MODO DE FALLA GUAYACÁN BULLDOG CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La pieza de madera sometida a carga paralela, presentó una gran fractura en dirección a la fibra, la pieza sometida a carga perpendicular presentó pequeñas fisuras en dirección a la fibra. La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Estas probetas, alcanzan su máxima carga al fracturarse.
- La deformación de los pernos es mayor al compararlas con las probetas de Mascarey y Chanul.

3.2.2.2.4 Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexiones tipo Bulldog sometidas a Simple Cizallamiento:

Las deformaciones de los pernos y daños en los conectores son mayores en las probetas de guayacán y menores en las de mascarey.

La imagen siguiente muestra los pernos de las conexiones Bulldog, de izquierda a derecha, en Mascarey, Chanul y Guayacán.

FIGURA 3.25 CONEXIÓN BULLDOG PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.2.2.5 *Doble cizallamiento Probetas de Mascarey:*

FIGURA 3.26 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, han hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Los ensayos muestran que la falla de las uniones fue por flexión de los pernos.
- La carga máxima se presenta cuando la pieza central alcanza el nivel de las laterales.
- Aparecen pequeñas fisuras en dirección de la fibra en las piezas laterales.
- Los conectores también se desplazaron, fisurando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentaron daños en su forma.

3.2.2.2.6 *Doble Cizallamiento Probetas de Chanul:*

FIGURA 3.27 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE DOBLE

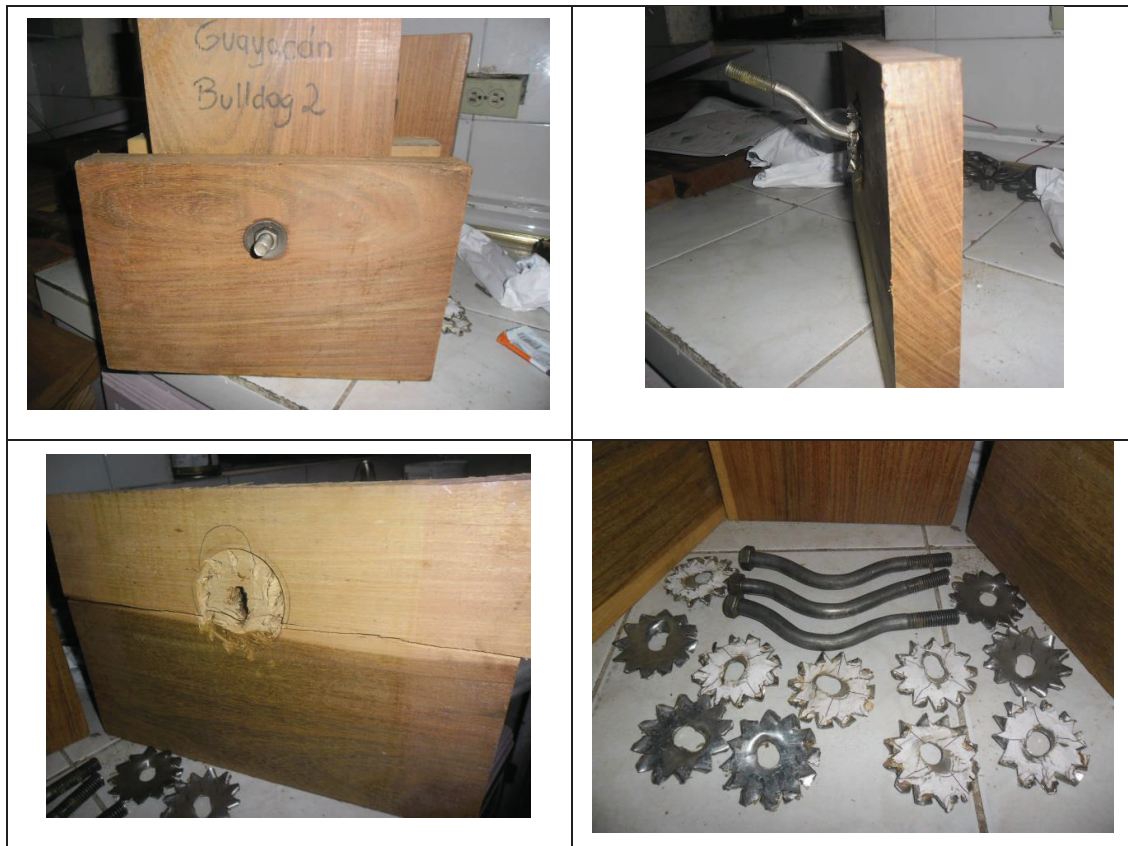


Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta cuando las piezas laterales llegan a romperse.
- Las piezas laterales sufrieron grandes fracturas por el pandeo que se presentó en estas.
- La pieza central sufrió fisuras menores que las piezas laterales.
- Los conectores también se desplazaron, fisurando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores sufrieron daños en su forma.

3.2.2.2.7 *Doble Cizallamiento Probetas de Guayacán:*

FIGURA 3.28 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta cuando la pieza lateral se fracturó.
- Las piezas laterales presentaron grandes fracturas por pandeo.
- La pieza central alcanzó el nivel de las laterales, y presentó pequeñas fisuras.
- Los pernos de las probetas de Guayacán presentaron mayores deformaciones en comparación a las de Chanul y Mascarey.

3.2.2.2.8 *Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexión tipo Bulldog sometidas a Doble Cizallamiento:*

Las deformaciones de los pernos son mayores en las probetas de guayacán y menores en las de mascarey.

Los conectores tuvieron una deformación semejante en el Mascarey, Chanul y Guayacán.

La imagen siguiente muestra los pernos y conectores de las conexiones tipo Bulldog, de arriba hacia abajo, en Mascarey, Chanul y Guayacán.

FIGURA 3.29 CONEXIÓN TIPO BULLDOG PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA



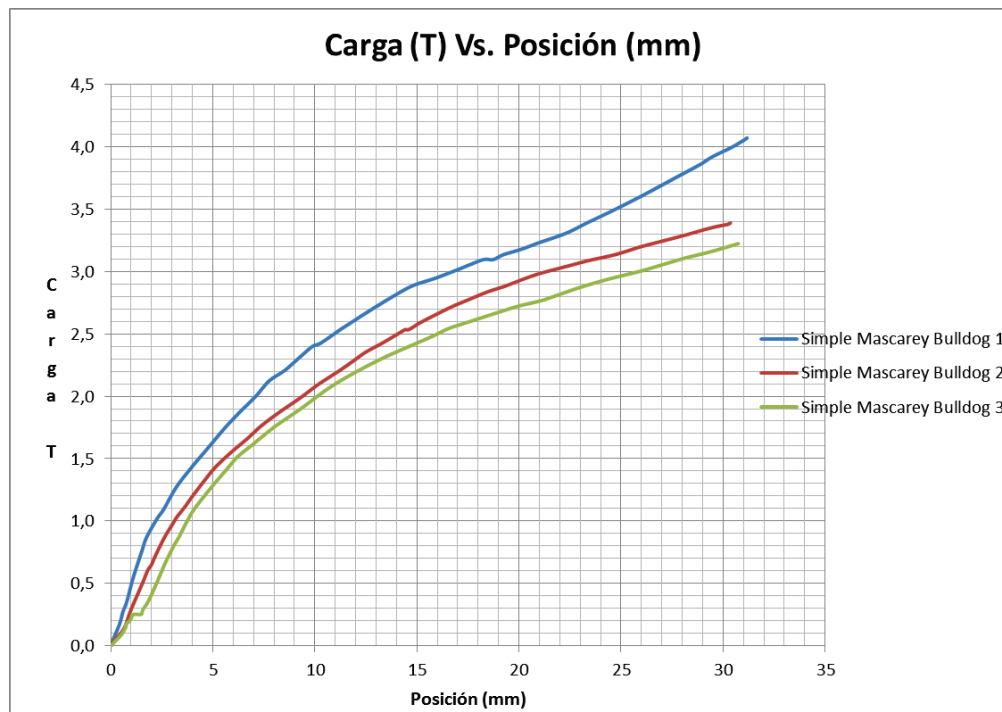
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES:

3.2.3.1 Probetas de Mascarey Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Mascarey con uniones Tipo Bulldog sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.30 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-BULLDOG



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.48 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-BULLDOG

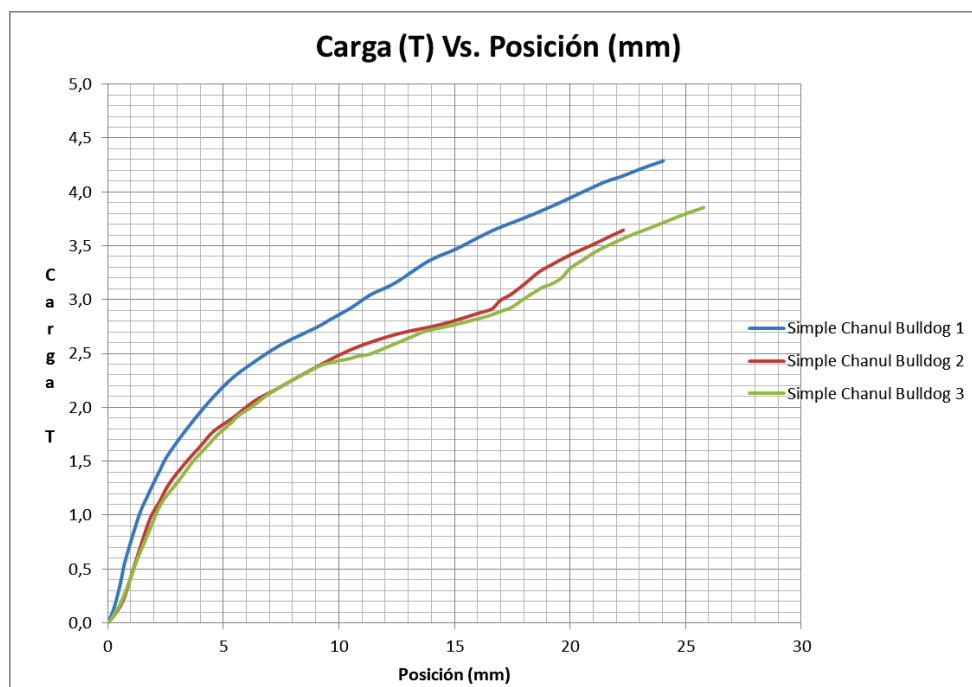
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Mascarey Bulldog 1</i>	4,080	31,200	0,920	1,900	0,800
<i>Simple Mascarey Bulldog 2</i>	3,400	30,300	1,190	3,900	0,500
<i>Simple Mascarey Bulldog 3</i>	3,220	30,800	1,250	4,800	0,300
Cargas Promedio	3,567	30,767	1,120	3,533	0,533
Cargas Mínimas	3,220	30,800	0,920	1,900	0,300

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.3.2 Probetas de Chanul Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Chanul con uniones Tipo Bulldog sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.31 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL-BULLDOG



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.49 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- BULLDOG

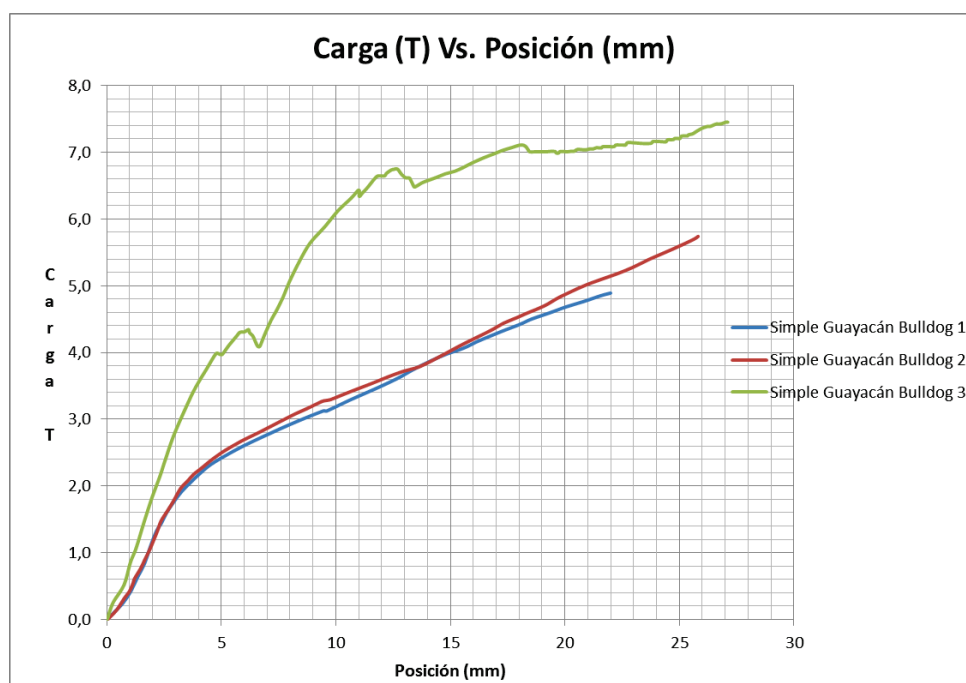
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
Simple Chanul Bulldog 1	4,300	24,000	1,400	2,100	1,100
Simple Chanul Bulldog 2	3,650	22,300	1,360	2,900	0,800
Simple Chanul Bulldog 3	3,850	25,800	1,200	2,600	0,750
Cargas Promedio	3,933	24,033	1,320	2,533	0,883
Cargas Mínimas	3,650	22,300	1,200	2,600	0,750

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.3.3 Probetas de Guayacán Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Guayacán con uniones Tipo Bulldog sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.32 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-BULLDOG



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.50 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-BULLDOG

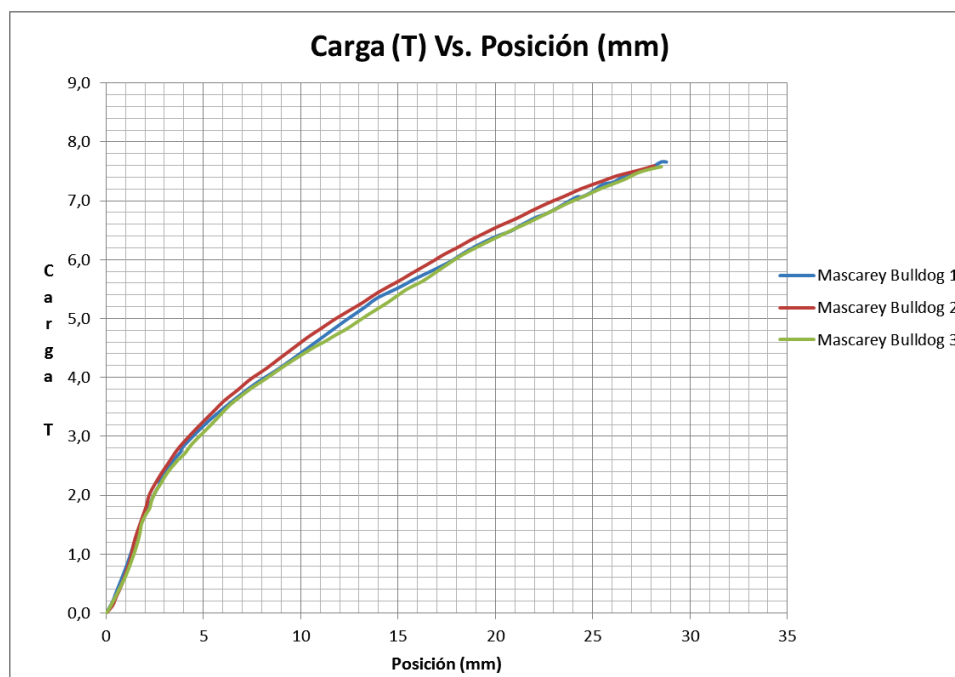
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Guayacán Bulldog 1</i>	4,900	22,000	1,900	3,100	0,700
<i>Simple Guayacán Bulldog 2</i>	5,800	26,000	2,000	3,400	0,800
<i>Simple Guayacán Bulldog 3</i>	7,400	27,200	3,500	3,900	1,300
Cargas Promedio	6,033	25,067	2,467	3,467	0,933
Cargas Mínimas	4,900	22,000	1,900	3,100	0,700

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.3.4 Probetas de Mascarey Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Mascarey con uniones Tipo Bulldog sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.33 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-BULLDOG



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.51 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-BULLDOG

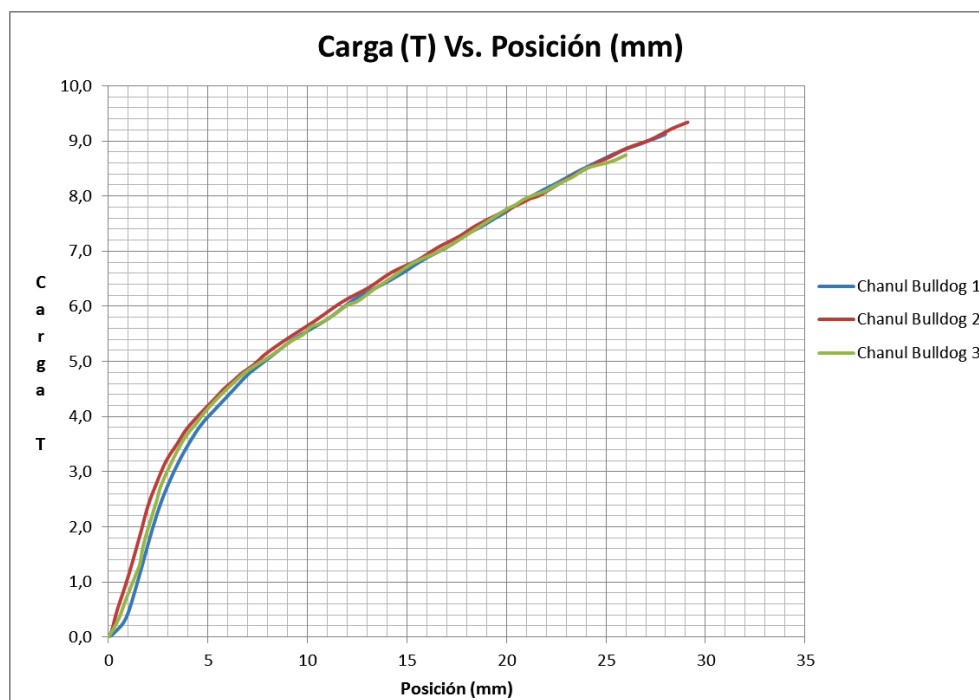
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Doble Mascarey Bulldog 1</i>	6,700	28,500	2,870	3,910	1,200
<i>Doble Mascarey Bulldog 2</i>	6,600	28,200	2,700	3,490	1,350
<i>Doble Mascarey Bulldog 3</i>	6,550	28,500	2,450	3,270	1,100
Cargas Promedio	6,617	28,400	2,673	3,557	1,217
Cargas Mínimas	6,550	28,500	2,450	3,270	1,100

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.3.5 Probetas de Chanul Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Chanul con uniones Tipo Bulldog sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.34 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL-BULLDOG



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.52 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- BULLDOG

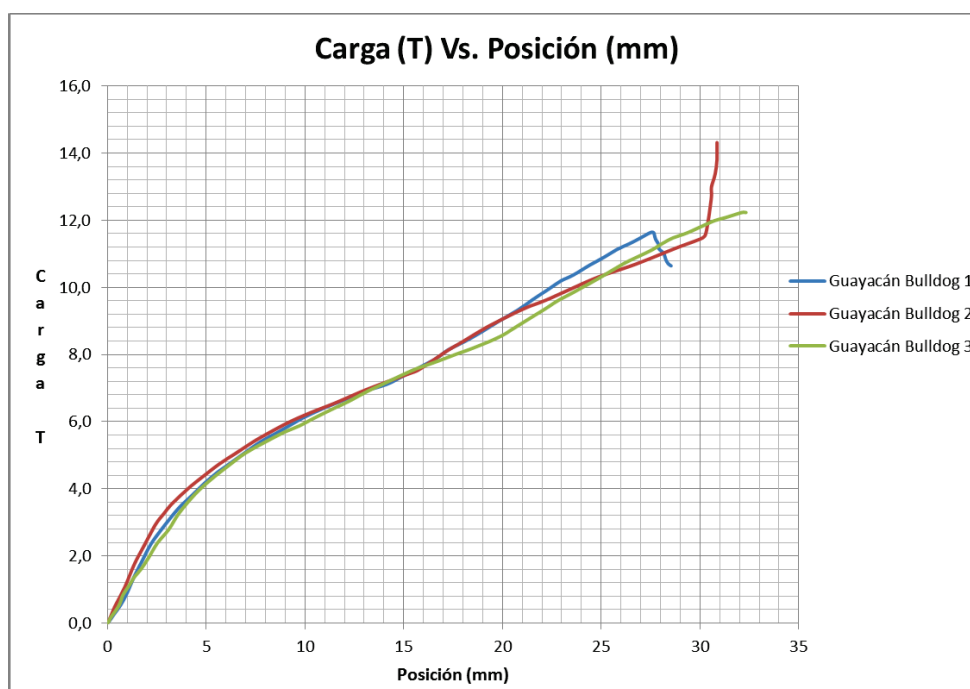
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Doble Chanul Bulldog 1</i>	9,100	28,000	3,300	3,650	1,200
<i>Doble Chanul Bulldog 2</i>	9,300	29,200	3,350	3,070	1,800
<i>Doble Chanul Bulldog 3</i>	8,750	26,000	3,550	3,620	1,300
Cargas Promedio	9,050	27,733	3,400	3,447	1,433
Cargas Mínimas	8,750	26,000	3,300	3,650	1,200

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.3.6 Probetas de Guayacán Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Guayacán con uniones Tipo Bulldog sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.35 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-BULLDOG



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.53 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-BULLDOG

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Doble Guayacán Bulldog 1</i>	11,750	27,610	3,300	3,380	1,600
<i>Doble Guayacán Bulldog 2</i>	11,450	30,160	3,400	2,940	2,000
<i>Doble Guayacán Bulldog 3</i>	12,300	32,270	3,900	4,500	1,400
Cargas Promedio	11,833	30,013	3,533	3,607	1,667
Cargas Mínimas	11,450	30,160	3,300	3,380	1,400

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.2.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS:

A partir de los datos experimentales mostrados en las tablas anteriores, se desprende la tabla de resumen siguiente, tomando los valores promedios de los ensayos. Como valor de Factor de seguridad, se ha tomado el promedio de los correspondientes a cada caso.

TABLA 3.54 RESUMEN DE PROBETAS CONEXIONES TIPO BULLDOG

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE		
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$	Factor de Seguridad	P.L.E./2,2
	Ton	mm	Ton	mm	Ton	P.L.E./P. adm	Ton
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	3,567	30,767	1,12	3,533	0,533	2,1	0,520
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	3,933	24,033	1,32	2,533	0,883	1,5	0,613
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	6,033	25,067	2,467	3,467	0,933	2,6	1,145
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	6,617	28,4	2,673	3,557	1,217	2,2	1,241
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	9,050	27,733	3,400	3,447	1,433	2,4	1,578
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	11,833	30,013	3,533	3,607	1,667	2,1	1,640
					Promedio	2,2	

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

En la tabla anterior se presentan los factores de seguridad para cada probeta, cuyo promedio es **2.2**.

Considerando este valor como factor de seguridad, se obtiene el valor de carga admisible final (P.L.E./2.2).

TABLA 3.55 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P.L.E./2.2

PROBETA	P.ADM = P.L.E./2.2	P. Límite Elástico	P. MÁX.
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	100	215	686
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	100	215	642
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	100	215	527
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	100	215	533
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	100	215	574
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	100	215	722

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.56 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P. CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM

PROBETA	P. ADMISIBLE	P. Límite Elástico	P. MÁX.
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	100	210	669
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	100	149	445
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	100	264	647
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	100	220	544
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	100	237	631
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	100	212	710

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.57 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA ADMISIBLE CUANDO ES IGUAL A P.L.E./2.2 EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P. CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM

PROBETA	P. ADM. ($\delta = 1.5$)	P.ADM = P.L.E./2.2
	%	%
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	100	98
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	100	69
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	100	123
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	100	102
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	100	110
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	100	98

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.58 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO.

PROBETA	DEF. EN L.E.	DEF. EN P. MAX.
	%	%
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	100	871
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	100	949
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	100	723
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	100	798
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	100	805
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	100	832

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Al comparar la carga máxima con la admisible (P.L.E./2.2), se puede evidenciar que su valor es de 5 a 7 veces el de la admisible.
- El valor de la carga máxima en comparación con la admisible (P cuando $\delta = 1.5\text{mm}$) varía en un rango de 4 a 7 veces.
- Para las probetas con conexiones Bulldog el valor de carga admisible (P.L.E./2.2) es semejante a la correspondiente cuando la deformación es 1.5mm.

3.2.4.1 Rigideces de conexiones Tipo Bulldog:

La pendiente bajo la curva Carga vs. Deformación en el tramo elástico, representa la rigidez de las conexiones, la cual se resume en la tabla siguiente:

TABLA 3.59 RIGIDECES CONEXIONES TIPO BULLDOG.

<i>PROBETA</i>	RIGIDECES
	Ton/mm
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	0,317
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	0,521
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	0,712
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	0,751
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	0,986
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	0,979

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Para corte simple la rigidez de las probetas es menor para mascarey, y mayor para guayacán.
- Para corte doble la rigidez de las probetas es menor para mascarey, mientras que el chanul y guayacán son semejantes.

3.3 ENSAYO DE CONEXIONES TIPO APPEL

3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PROBETAS:

Las probetas con conexiones tipo APPEL, serán descritas tomando en cuenta cada uno de sus componentes, como son: las piezas de madera, perno y conectores.

3.3.1.1 Características del perno:

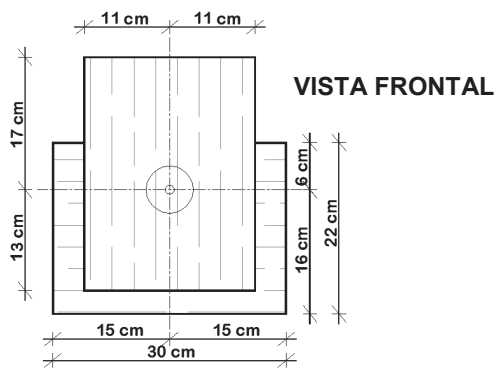
Las características del perno a ser utilizado para este tipo de conexiones son las mismas que las descritas en el numeral 3.1.1.1.

3.3.1.2 Características de las piezas de madera:

Las piezas de madera, obedecen los valores mínimos de espesores y distancias al borde y testa, mencionados en los numerales 2.3.4.1 y 2.3.4.2.

De acuerdo a estas características, y acoplándonos a las ofrecidas por el mercado local, las piezas de madera para **simple cizallamiento**, tienen un espesor de *60mm*, mientras que aquellas sometidas a **doble cizallamiento** tienen un espesor de *60mm en la pieza central*, y *40mm en las laterales*, además las longitudes desde el centro del perno al borde y testa resultan de la siguiente manera:

FIGURA 3.36 LONGITUDES AL BORDE Y TESTA DE LAS PROBETAS CON CONEXIONES TIPO APPEL



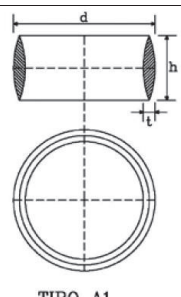
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.1.3 Características del conector:

El conector tipo Appel, se clasifica como conector de anillo tipo A1, de acuerdo a la Sociedad Española de la Madera, cuyas dimensiones y especificaciones de materiales se establecen en el “Manual de Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera”, capítulo 5 “UNIONES CON CONECTORES”, numeral 5.2, el cual habla de los CONECTORES DE ANILLO.

Estos conectores son anillos cerrados con una sección transversal reticular, se instalan entre dos piezas de madera a unir alojando la mitad de su altura en cada una de ellas.

TABLA 3.60 CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR TIPO APPEL

	Según 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: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.1.3.1 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.

3.3.1.4 Ensamble de las probetas:

A partir de un tubo de 2 ½” de diámetro y 5 mm de espesor, se procede a cortar pedazos de 30mm de alto.

Se mecaniza el torno para darle la inclinación que necesita el anillo en los bordes.



Conector terminado.



En las piezas de madera, se traza los ejes para el perno, y con la ayuda de una fresadora se perfora el canal en donde se alojará el conector. Esta perforación puede tener hasta $\frac{1}{3}$ de la altura del conector, es decir en este caso 10mm.

El resto del conector deberá ser incrustado por presión.



Con la prensa hidráulica, unir el conector a las piezas de madera.



Con la ayuda de un taladro, perforar el agujero para el perno en cada probeta.



Finalmente se pasa el perno por el agujero y se ajusta con las arandelas.



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:

3.3.2.1 Ensayo de las probetas:

El ensayo de las probetas empernadas sometidas a carga axial en dirección perpendicular a la fibra se ha realizado en la Máquina universal de ensayos.

3.3.2.2 Modo de falla de las probetas:

3.3.2.2.1 Simple cizallamiento Probetas de Mascarey:

FIGURA 3.37 MODO DE FALLA MASCAREY APPEL CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las dos piezas de madera han presentado fracturas en dirección de la fibra, la deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- En el ensayo se pudo evidenciar que la pieza de madera a la que se le aplica la carga perpendicularmente presentó pandeo que provocó fracturas.
- Los conectores también se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentaron leves daños en su forma.
- Estas probetas, alcanzan la máxima carga por fractura de sus piezas.

3.3.2.2.2 Simple Cizallamiento Probetas de Chanul:

FIGURA 3.38 MODO DE FALLA CHANUL APPEL CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las dos piezas de madera han presentado fracturas mayores a las del mascarey en dirección de la fibra, la deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Las deformaciones de los pernos son mayores que en el Mascarey.
- En el ensayo se pudo evidenciar que la pieza de madera a la que se le aplica la carga perpendicularmente presentó pandeo que provocó fracturas.
- Los conectores también se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores sufrieron mayores daños que en el Mascarey.
- Estas probetas, alcanzan su máxima carga por fractura de sus piezas.

3.3.2.2.3 Simple Cizallamiento Probetas de Guayacán:

FIGURA 3.39 MODO DE FALLA GUAYCÁN APPEL CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las dos piezas de madera han presentado fracturas menores a las del chanul en dirección de la fibra, la deformación de los pernos han hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Las deformaciones de los pernos son mayores que en el Chanul.
- En el ensayo se pudo evidenciar que la pieza de madera a la que se le aplica la carga perpendicularmente presentó pandeo que provocó fracturas.
- Los conectores también se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentaron mayores daños que en el Chanul.
- Estas probetas, alcanzan su máxima carga por fractura de sus piezas.

3.3.2.2.4 Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexiones tipo Appel sometidas a Simple Cizallamiento:

Las deformaciones de los pernos y daños en los conectores son mayores en las probetas de guayacán y menores en las de mascarey.

La imagen siguiente muestra los pernos y los conectores tipo Appel, de izquierda a derecha, en Guayacán, Chanul, Mascarey.

FIGURA 3.40 CONEXIÓN APPEL PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.2.2.5 *Doble cizallamiento Probetas de Mascarey:*

FIGURA 3.41 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta al fracturarse una de las piezas laterales por pandeo.

- La pieza central no alcanzó descender hasta el nivel de las laterales.
- Las arandelas se incrustaron levemente en las piezas de madera.
- Los conectores se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentaron leves daños en su forma.

3.3.2.2.6 Doble Cizallamiento Probetas de Chanul:

FIGURA 3.42 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta al fracturarse una de las piezas laterales por pando.
- La pieza central no alcanzó descender hasta el nivel de las laterales.

- En la pieza central, aparecen fisuras mayores que en las probetas de Mascarey.
- Las arandelas se incrustaron levemente en las piezas de madera.
- Los conectores se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentan leves daños en su forma.

3.3.2.2.7 Doble Cizallamiento Probetas de Guayacán:

FIGURA 3.43 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta al fracturarse la pieza central.
- La pieza central no alcanzó descender hasta el nivel de las laterales.
- Las piezas laterales presentaron fracturas considerables, pero no llegaron a romperse.
- Los conectores se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentaron leves daños en su forma.
- Los pernos de las probetas de Guayacán presentaron mayores deformaciones en comparación a las de Chanul y Mascarey.

3.3.2.2.8 *Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conectores Tipo Appel sometidas a Doble Cizallamiento:*

Las deformaciones de los pernos son mayores en las probetas de guayacán y menores en las de mascarey.

Las deformaciones de los conectores tienen pequeñas diferencias, siendo el de mayor deformación el de la probeta de Mascarey, por el contrario, en el Guayacán los conectores se deformaron menos.

La imagen siguiente muestra los pernos y los conectores tipo Appel, de izquierda a derecha, en Mascarey, Chanul y Guayacán.

FIGURA 3.44 CONEXIÓN APPEL PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA

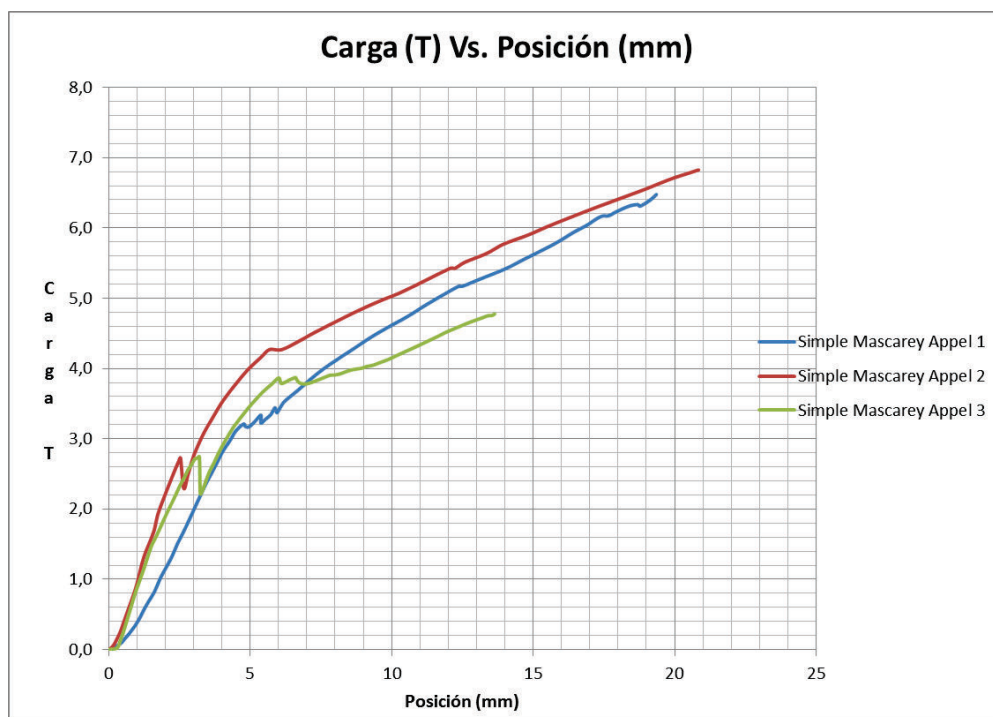


Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES:

3.3.3.1 **Probetas de Mascarey Simple Cizallamiento:**

Se han ensayado 3 probetas de Mascarey con uniones Tipo Appel sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.45 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-APPEL

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

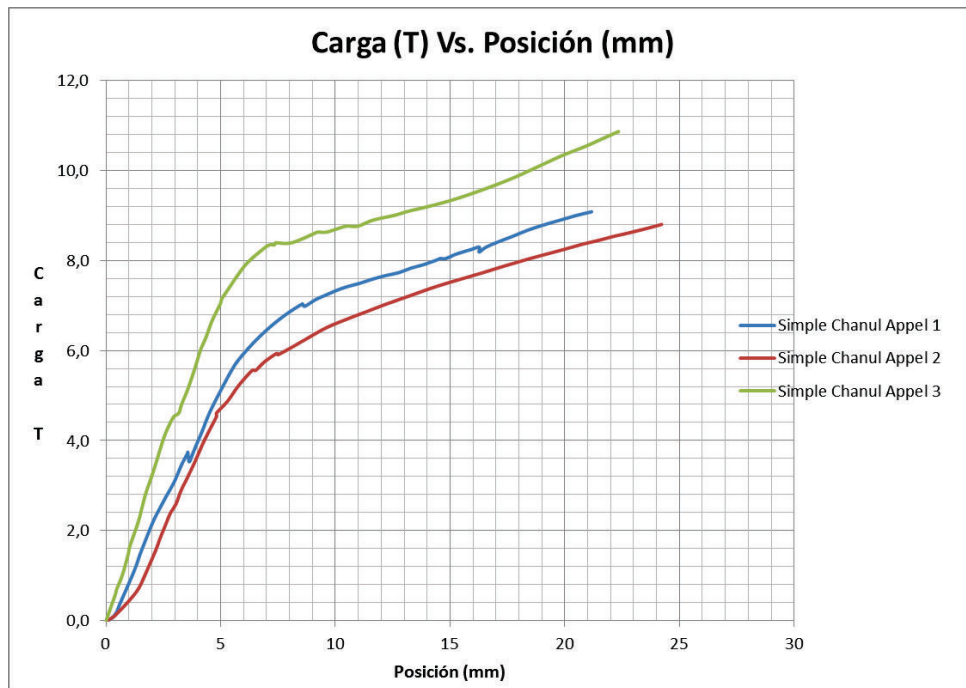
TABLA 3.61 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- APPEL

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Mascarey Appel 1</i>	6,500	19,300	3,200	4,670	0,750
<i>Simple Mascarey Appel 2</i>	6,800	21,000	2,750	2,560	1,650
<i>Simple Mascarey Appel 3</i>	4,800	13,700	2,800	3,200	1,500
Cargas Promedio	6,033	18,000	2,917	3,477	1,300
Cargas Mínimas	4,800	13,700	2,750	2,560	0,750

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.3.2 Probetas de Chanul Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Chanul con uniones Tipo Appel sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.46 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- APPEL

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.62 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- APPEL

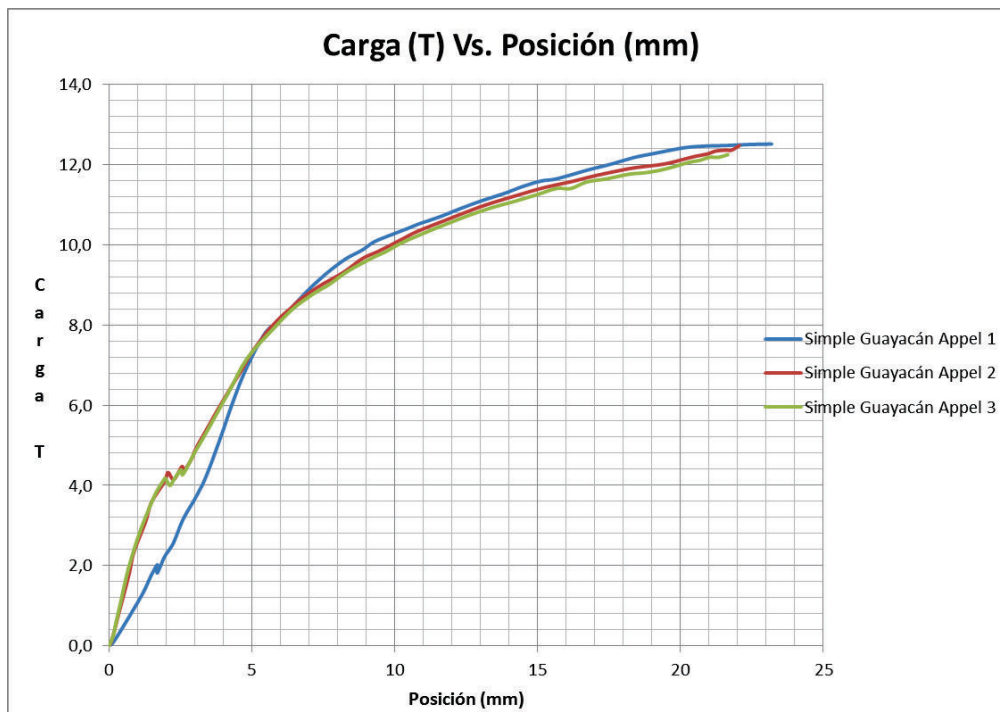
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Chanul Appel 1</i>	9,100	21,250	3,800	3,560	1,500
<i>Simple Chanul Appel 2</i>	8,800	24,280	5,200	5,820	0,800
<i>Simple Chanul Appel 3</i>	11,100	22,440	7,500	5,400	2,200
Cargas Promedio	9,667	22,657	5,500	4,927	1,500
Cargas Mínimas	8,800	24,280	3,800	3,560	0,800

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.3.3 Probetas de Guayacán Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Guayacán con uniones Tipo Appel sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.47 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-APPEL



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.63 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- APPEL

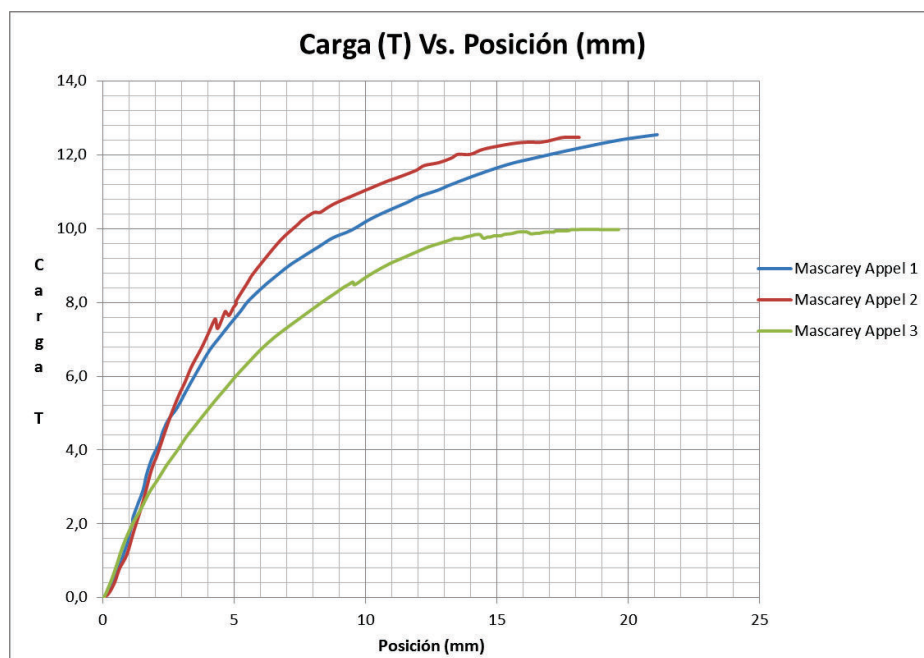
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Guayacán Appel 1</i>	12,500	23,220	7,800	5,390	1,800
<i>Simple Guayacán Appel 2</i>	12,450	22,090	6,000	3,900	3,500
<i>Simple Guayacán Appel 3</i>	12,250	21,690	6,000	3,900	3,500
Cargas Promedio	12,400	22,333	6,600	4,397	2,933
Cargas Mínimas	12,250	21,690	6,000	3,900	1,800

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.3.4 Probetas de Mascarey Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Mascarey con uniones Tipo Appel sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes son:

FIGURA 3.48 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-APPEL



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.64 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY- APPEL

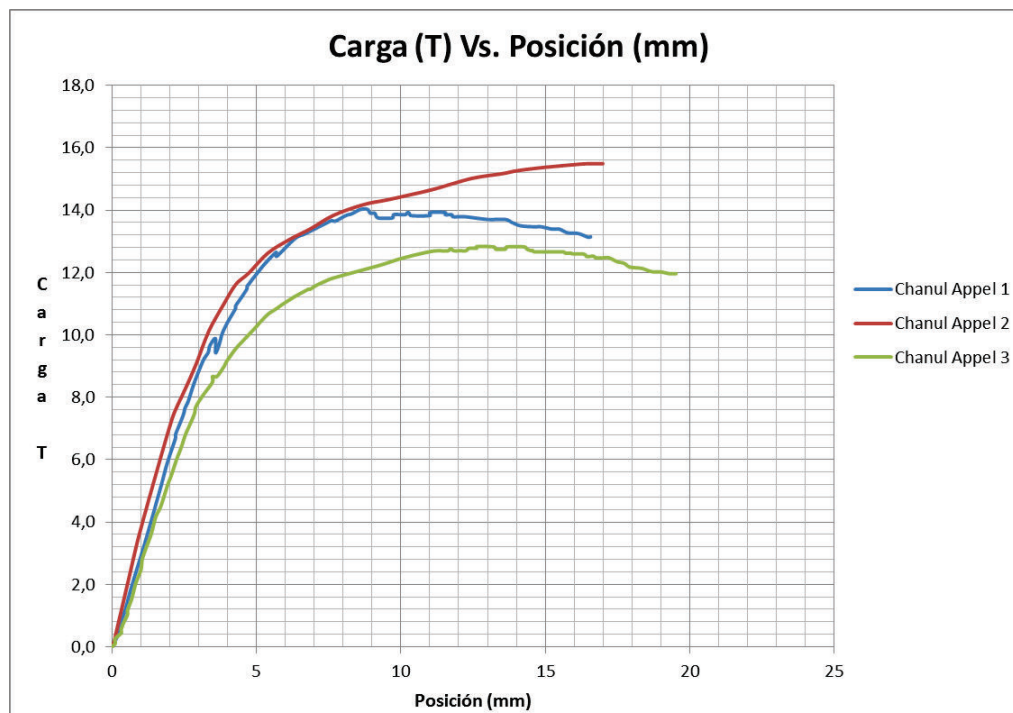
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
Doble Mascarey Appel 1	12,550	21,200	5,300	2,930	2,800
Doble Mascarey Appel 2	12,400	18,150	6,350	3,480	2,600
Doble Mascarey Appel 3	10,000	17,970	3,600	2,380	2,500
Cargas Promedio	11,650	19,107	5,083	2,930	2,633
Cargas Mínimas	10,000	17,970	3,600	2,380	2,500

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.3.5 Probetas de Chanul Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Chanul con uniones Tipo Appel sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes son:

FIGURA 3.49 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- APPEL



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.65 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL- APPEL

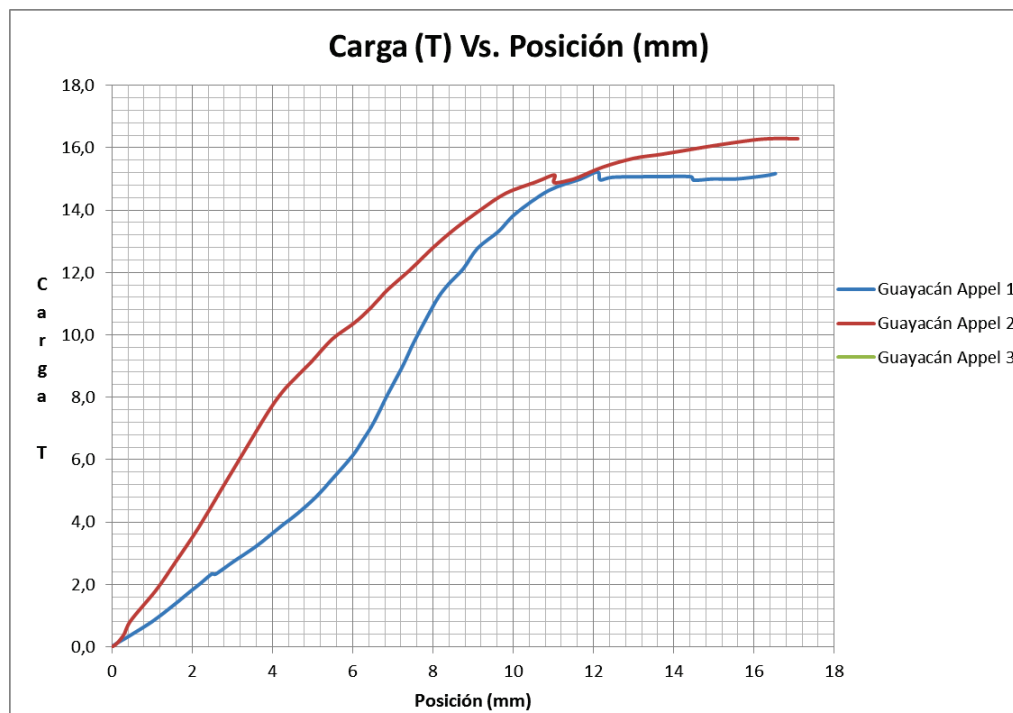
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Doble Chanul Appel 1</i>	14,000	8,740	9,200	3,110	4,600
<i>Doble Chanul Appel 2</i>	15,500	17,060	8,300	2,440	5,500
<i>Doble Chanul Appel 3</i>	12,900	12,610	8,300	3,290	4,300
Cargas Promedio	14,133	12,803	8,600	2,947	4,800
Cargas Mínimas	12,900	12,610	8,300	2,440	4,300

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.3.6 Probetas de Guayacán Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 2 probetas de Guayacán con uniones Tipo Appel sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes son:

FIGURA 3.50 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- APPEL



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.66 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN- APPEL

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
Doble Guayacán Appel 1	15,200	12,200	6,000	6,000	1,300
Doble Guayacán Appel 2	16,400	16,400	8,400	4,200	2,600
Cargas Promedio	15,800	14,300	7,200	5,100	1,950
Cargas Mínimas	15,200	12,200	6,000	4,200	1,300

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.3.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS:

A partir de los datos experimentales mostrados en las tablas anteriores, se desprende la tabla de resumen siguiente, tomando los valores promedios de los ensayos, y además, se muestra el factor de seguridad resultante de cada caso.

TABLA 3.67 RESUMEN DE PROBETAS CONEXIONES TIPO APPEL

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE		
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$	Factor de Seguridad	P.L.E./2.6
	Ton	mm	Ton	mm	Ton	P.L.E./P. adm	Ton
<i>Simple Mascarey Appel</i>	6,033	18	2,917	3,477	1,3	2,2	1,124
<i>Simple Chanul Appel</i>	9,667	22,657	5,5	4,927	1,5	3,7	2,119
<i>Simple Guayacán Appel</i>	12,4	22,333	6,6	4,397	2,933	2,3	2,542
<i>Doble Mascarey Appel</i>	11,65	19,107	5,083	2,93	2,633	1,9	1,958
<i>Doble Chanul Appel</i>	14,133	12,803	8,6	2,947	4,8	1,8	3,313
<i>Doble Guayacán Appel</i>	15,8	14,3	7,2	5,1	1,95	3,7	2,774
					Promedio	2,6	

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

En la tabla anterior se presentan los factores de seguridad para cada probeta, cuyo promedio es **2.6**.

Considerando este valor como factor de seguridad, se obtiene el valor de carga admisible final (P.L.E./2,6).

TABLA 3.68 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P.L.E./2.6

PROBETA	P.ADM = P.L.E./2.6	P. Límite Elástico	P. MÁX.
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Appel</i>	100	260	537
<i>Simple Chanul Appel</i>	100	260	456
<i>Simple Guayacán Appel</i>	100	260	488
<i>Doble Mascarey Appel</i>	100	260	595
<i>Doble Chanul Appel</i>	100	260	427
<i>Doble Guayacán Appel</i>	100	260	570

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.69 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P. CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM

PROBETA	P. ADMISIBLE	P. Límite Elástico	P. MÁX.
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Appel</i>	100	224	464
<i>Simple Chanul Appel</i>	100	367	644
<i>Simple Guayacán Appel</i>	100	225	423
<i>Doble Mascarey Appel</i>	100	193	442
<i>Doble Chanul Appel</i>	100	179	294
<i>Doble Guayacán Appel</i>	100	385	810

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.70 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA ADMISIBLE CUANDO ES IGUAL A P.L.E./2.6 EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P. CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM

PROBETA	P. ADM. ($\delta = 1.5$)	P.ADM = P.L.E./2.6
	%	%
<i>Simple Mascarey Appel</i>	100	86
<i>Simple Chanul Appel</i>	100	141
<i>Simple Guayacán Appel</i>	100	87
<i>Doble Mascarey Appel</i>	100	74
<i>Doble Chanul Appel</i>	100	69
<i>Doble Guayacán Appel</i>	100	142

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.71 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO.

PROBETA	DEF. EN L.E.	DEF. EN P. MAX.
	%	%
<i>Simple Mascarey Appel</i>	100	518
<i>Simple Chanul Appel</i>	100	460
<i>Simple Guayacán Appel</i>	100	508
<i>Doble Mascarey Appel</i>	100	652
<i>Doble Chanul Appel</i>	100	434
<i>Doble Guayacán Appel</i>	100	269

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Cuando comparamos la carga máxima con la admisible (P.L.E./2.6), podemos darnos cuenta que su valor es de 4 a 6 veces el de la admisible.
- El valor de la carga máxima en comparación con la admisible (P cuando $\delta = 1.5\text{mm}$) varía en un rango de 3 a 8 veces.
- Para las probetas con conexiones Appel el valor de carga admisible (P.L.E./2.6) varía en máximo 40% con respecto a la correspondiente cuando la deformación es 1.5mm.

3.3.4.1 Rigideces de conexiones Tipo Appel:

La pendiente bajo la curva Carga vs. Deformación en el tramo elástico, representa la rigidez de las conexiones, la cual se resume en la tabla siguiente:

TABLA 3.72 RIGIDECES CONEXIONES TIPO APPEL.

<i>PROBETA</i>	RIGIDECES
	Ton/mm
<i>Simple Mascarey Appel</i>	0,839
<i>Simple Chanul Appel</i>	1,116
<i>Simple Guayacán Appel</i>	1,501
<i>Doble Mascarey Appel</i>	1,735
<i>Doble Chanul Appel</i>	2,918
<i>Doble Guayacán Appel</i>	1,412

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Para corte simple, la rigidez de las probetas es menor para mascarey, y mayor para guayacán.
- Para corte doble la rigidez de las probetas es menor para guayacán, y mayor para chanul.

3.4 ENSAYO DE CONEXIONES TIPO ALLIGATOR

3.4.1 DESCRIPCIÓN DE LAS PROBETAS:

Las probetas con conexiones tipo ALLIGATOR, serán descritas tomando en cuenta cada uno de sus componentes, como son: las piezas de madera, perno y conectores.

3.4.1.1 Características del perno:

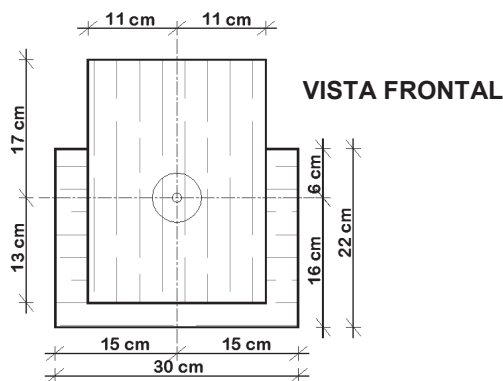
Las características del perno a ser utilizado para este tipo de conexiones son las mismas que las descritas en el numeral 3.1.1.1.

3.4.1.2 Características de las piezas de madera:

Las piezas de madera, obedecen los valores mínimos de espesores y distancias al borde y testa, mencionados en los numerales 2.4.5.1 y 2.4.5.2.

De acuerdo a estas características, y acoplándonos a las ofrecidas por el mercado local, las piezas de madera para **simple cizallamiento**, tienen un espesor de *60mm*, mientras que aquellas sometidas a **doble cizallamiento** tienen un espesor de *60mm en la pieza central*, y *40mm en las laterales*, además las longitudes desde el centro del perno al borde y testa resultan de la siguiente manera:

FIGURA 3.51 LONGITUDES AL BORDE Y TESTA DE LAS PROBETAS CON CONEXIONES TIPO ALLIGATOR



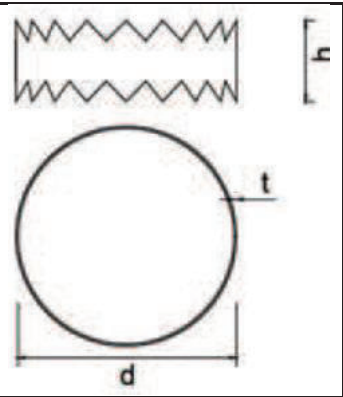
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.1.3 Características del conector:

El conector tipo ALLIGATOR, es un conector de anillo con bordes dentados tipo zigzag, cuyas especificaciones se detallan en la norma DIN, las cuales se han descrito en la tabla 2.25 del presente estudio.

Estos conectores se instalan entre dos piezas de madera a unir alojando la mitad de su altura en cada una de ellas.

TABLA 3.73 CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR TIPO ALLIGATOR

	Según 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	
Número de dientes n	15	15	

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.1.3.1 Consideraciones constructivas:

En el Ecuador es escaso el acero de alta resistencia que especifica la norma, además que incrementaría considerablemente el costo de fabricación del conector, así que se optó por fabricarlo con acero bajo en carbono.

Con el propósito de compensar las características que brinda el acero de alta resistencia, se han incrementado las dimensiones del conector, como son su altura y espesor.

La norma indica que se deben realizar ondulaciones en los dientes, los cuales no son posibles, ya que estas son propias de un proceso constructivo industrial.

3.4.1.4 Ensamble de las probetas:

<p>Imprimir el contorno del conector en papel adhesivo para colocarlo sobre a placa de acero.</p>	
<p>Cortar la placa metálica sobre el contorno del conector.</p>	
<p>Conector terminado.</p>	
<p>En las piezas de madera, se traza los ejes para el perno, y con la ayuda de una fresadora se perfora el canal en donde se alojará el conector.</p> <p>Esta perforación puede tener hasta $\frac{1}{3}$ de la altura del conector, es decir en este caso 10mm.</p> <p>El resto del conector deberá ser incrustado por presión.</p>	 
<p>Con la prensa hidráulica, unir el conector a las piezas de madera.</p>	

	
<p>Con la ayuda de un taladro, perforar el agujero para el perno en cada probeta.</p>	
<p>Finalmente se pasa el perno por el agujero y se ajusta con las arandelas.</p>	

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.1.5 Ensayo de las probetas:

El ensayo de las probetas empernadas sometidas a carga axial en dirección perpendicular a la fibra se ha realizado en la Máquina universal de ensayos.

3.4.2 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:

3.4.2.1 Modo de falla de las probetas:

3.4.2.1.1 *Simple cizallamiento Probetas de Mascarey:*

FIGURA 3.52 MODO DE FALLA MASCAREY ALLIGATOR CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las dos piezas de madera han sufrido pequeñas fisuras en dirección de la fibra, la deformación de los pernos, han hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- En el ensayo se pudo evidenciar que la pieza de madera a la que se le aplica la carga perpendicularmente sufrió un pandeo que provocó fisuras.
- Los conectores también se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores sufrieron daños mayores que los conectores Appel.
- Estas estas probetas, alcanzan su máxima carga por fractura de sus piezas.

3.4.2.1.2 Simple Cizallamiento Probetas de Chanul:

FIGURA 3.53 MODO DE FALLA CHANUL ALLIGATOR CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las dos piezas de madera han presentado fracturas mayores a las del mascarey en dirección de la fibra, la deformación de los pernos, han hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Las deformaciones de los pernos son mayores que en el Mascarey.
- En el ensayo se pudo evidenciar que la pieza de madera a la que se le aplica la carga perpendicularmente presentó fisuras por pandeo.
- Los conectores también se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores sufrieron mayores daños que en el Mascarey.
- Estas estas probetas, alcanzan su máxima carga por fractura de sus piezas.

3.4.2.1.3 Simple Cizallamiento Probetas de Guayacán:

FIGURA 3.54 MODO DE FALLA GUAYCÁN ALLIGATOR CORTE SIMPLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Las dos piezas de madera han presentado fracturas menores a las del chanul en dirección de la fibra, la deformación de los pernos, han hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Las deformaciones de los pernos son mayores que en el Chanul.
- En el ensayo, se pudo evidenciar que la pieza de madera a la que se le aplica la carga perpendicularmente presentó fracturas por pandeo.
- Los conectores también se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentaron mayores daños que en el Chanul.
- Estas probetas, alcanzan su máxima carga por fractura de sus piezas.

3.4.2.1.4 Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexiones tipo Alligator sometidas a Simple Cizallamiento:

Las deformaciones de los pernos y daños en los conectores son mayores en las probetas de guayacán y menores en las de mascarey.

En la figura, se muestran de izquierda a derecha, los conectores y pernos de las probetas de Guayacán, Chanul, Mascarey.

FIGURA 3.55 CONEXIÓN ALLIGATOR PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.2.1.5 *Doble cizallamiento Probetas de Mascarey:*

FIGURA 3.56 MODO DE FALLA PROBETAS MASCAREY CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, han hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- Aparecen pequeñas fisuras en dirección de la fibra en la pieza central.
- La pieza central no alcanzó descender hasta el nivel de las laterales.
- Las arandelas que ajustan el perno, se incrustaron levemente en las piezas de madera.
- La carga máxima se presenta al fracturarse una de las piezas laterales por pando.
- Los conectores se desplazaron, dañando así el contorno del agujero en donde se alojaron.
- Los conectores presentaron daños en su forma.

3.4.2.1.6 Doble Cizallamiento Probetas de Chanul:

FIGURA 3.57 MODO DE FALLA PROBETAS CHANUL CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta cuando las piezas laterales llegan a romperse.
- Las piezas laterales presentaron grandes fracturas por pandeo.
- La pieza central presentó fisuras menores que las piezas laterales pero mayores que en las piezas de las probetas de Mascarey.
- La pieza central no alcanzó descender hasta el nivel de las laterales.
- Los conectores presentaron gran deformación.

3.4.2.1.7 *Doble Cizallamiento Probetas de Guayacán:*

FIGURA 3.58 MODO DE FALLA PROBETAS GUAYACÁN CORTE DOBLE



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- La deformación de los pernos, ha hecho que el agujero que se perforó para los pernos se agrande.
- La carga máxima se presenta cuando la pieza central llega a romperse.
- La pieza central no alcanzó descender hasta el nivel de las laterales.
- Las piezas laterales presentaron pequeñas fracturas por pandeo.
- Los pernos de las probetas de Guayacán presentaron mayores deformaciones en comparación a las de Chanul y Mascarey.
- Los conectores presentaron una gran deformación.

3.4.2.1.8 Comparación entre probetas de Mascarey, Chanul y Guayacán con conexiones tipo Alligator sometidas a Doble Cizallamiento:

Las deformaciones de los pernos son mayores en las probetas de guayacán y menores en las de mascarey.

Las deformaciones de los conectores tienen pequeñas diferencias entre sí.

La imagen siguiente muestra los pernos y los conectores tipo Alligator, de izquierda a derecha, en Mascarey, Chanul y Guayacán.

FIGURA 3.59 CONEXIÓN ALLIGATOR PARA LOS TRES TIPOS DE MADERA



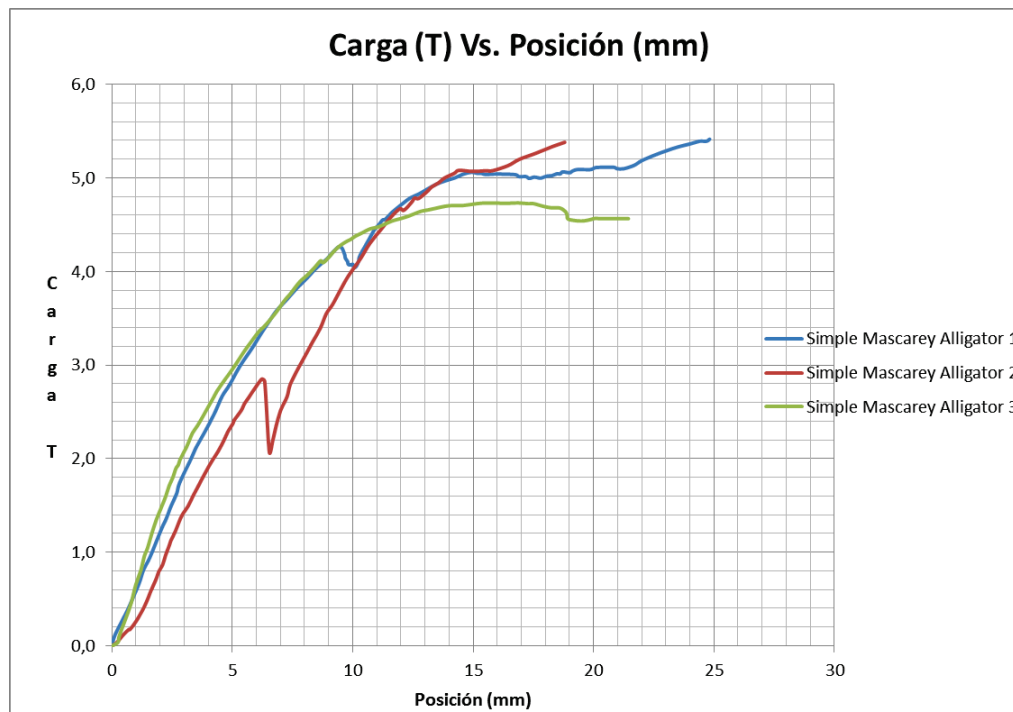
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.3 RESULTADOS EXPERIMENTALES:

3.4.3.1 Probetas de Mascarey Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Mascarey con uniones Tipo Alligator sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.60 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-ALLIGATOR



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.74 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-ALLIGATOR

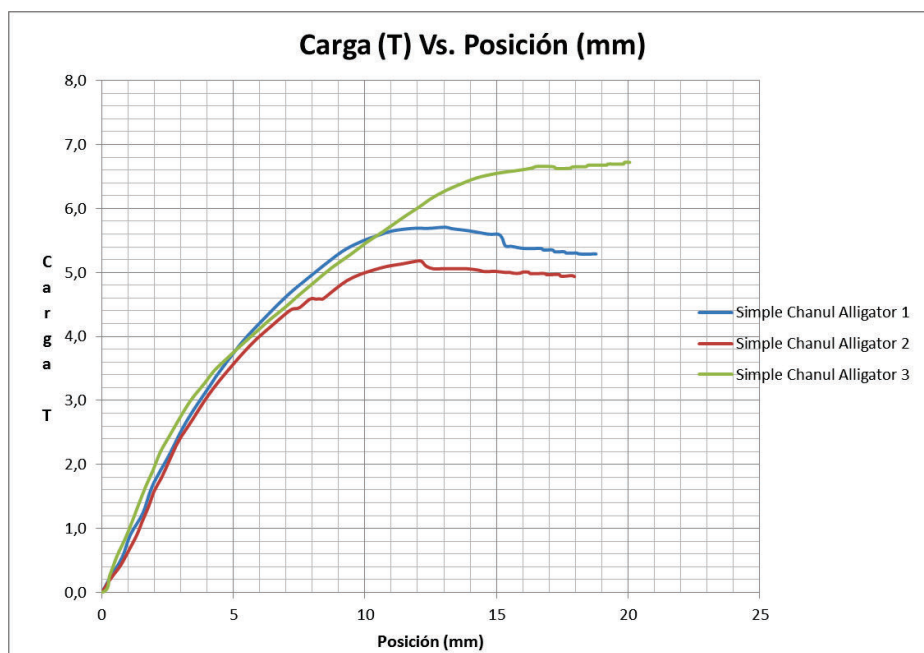
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Mascarey Alligator 1</i>	5,450	24,920	2,850	4,980	0,900
<i>Simple Mascarey Alligator 2</i>	5,400	18,900	2,870	6,200	0,500
<i>Simple Mascarey Alligator 3</i>	4,750	17,480	2,550	3,910	1,100
Cargas Promedio	5,200	20,433	2,757	5,030	0,833
Cargas Mínimas	4,750	17,480	2,550	3,910	0,500

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.3.2 Probetas de Chanul Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Chanul con uniones Tipo Alligator sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.61 CURVA CARGA VS POSICIÓN PROBETAS CHANUL-ALLIGATOR



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.75 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL-ALLIGATOR

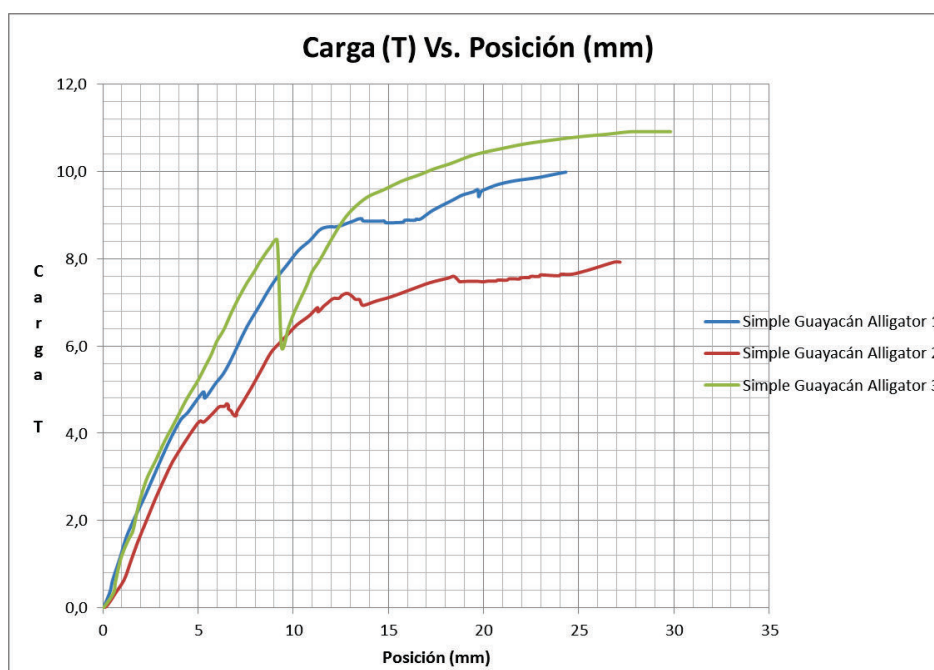
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Simple Chanul Alligator 1</i>	5,750	12,970	3,400	4,360	1,200
<i>Simple Chanul Alligator 2</i>	5,200	12,110	3,200	4,360	1,100
<i>Simple Chanul Alligator 3</i>	6,750	16,550	2,950	3,250	1,500
Cargas Promedio	5,900	13,877	3,183	3,990	1,267
Cargas Mínimas	5,200	12,110	2,950	3,250	1,100

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.3.3 Probetas de Guayacán Simple Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Guayacán con uniones Tipo Alligator sometidas a Simple Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.62 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-ALLIGATOR



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.76 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-ALLIGATOR

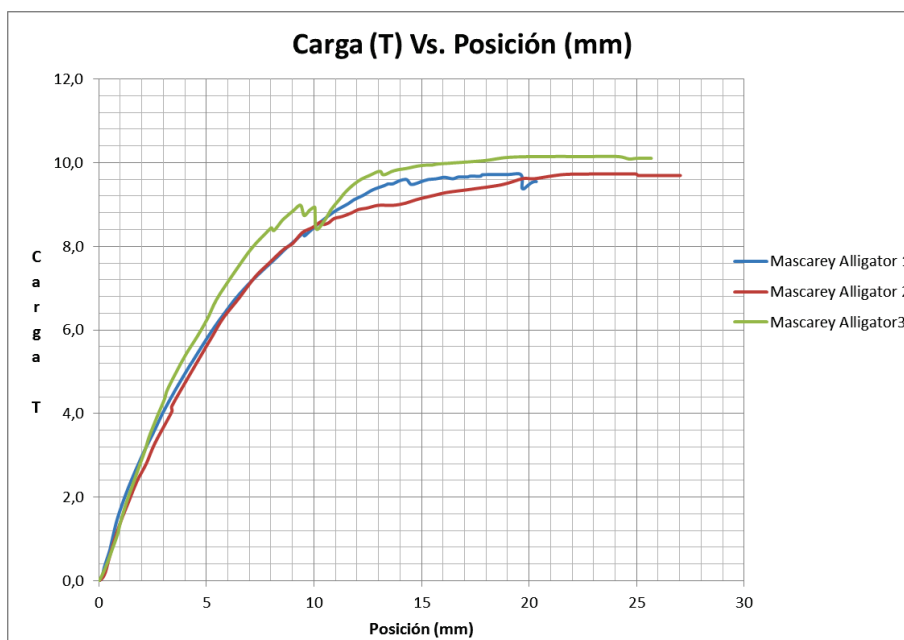
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Sim. Guayacán Alligator 1</i>	10,000	24,270	4,400	4,060	1,900
<i>Sim. Guayacán Alligator 2</i>	8,000	27,200	4,350	5,020	1,200
<i>Sim. Guayacán Alligator 3</i>	10,900	28,170	4,700	4,210	1,700
Cargas Promedio	9,633	26,547	4,483	4,430	1,600
Cargas Mínimas	8,000	27,200	4,350	5,020	1,200

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.3.4 Probetas de Mascarey Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Mascarey con uniones Tipo Alligator sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.63 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-ALLIGATOR



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.77 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS MASCAREY-ALLIGATOR

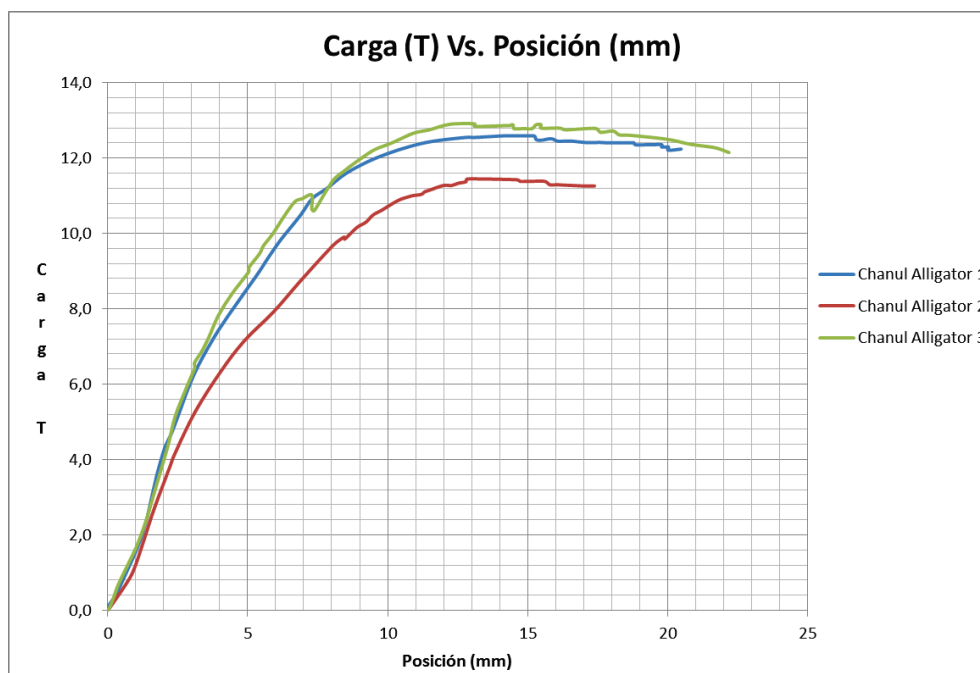
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
Doble Mascarey Alligator 1	9,750	19,580	4,100	3,020	2,400
Doble Mascarey Alligator 2	9,750	21,480	4,800	4,120	2,000
Doble Mascarey Alligator 3	10,200	19,030	4,700	3,280	2,300
Cargas Promedio	9,900	20,030	4,533	3,473	2,233
Cargas Mínimas	9,750	19,580	4,100	3,020	2,000

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.3.5 Probetas de Chanul Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Chanul con uniones Tipo Alligator sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.64 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL-ALLIGATOR



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.78 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS CHANUL-ALLIGATOR

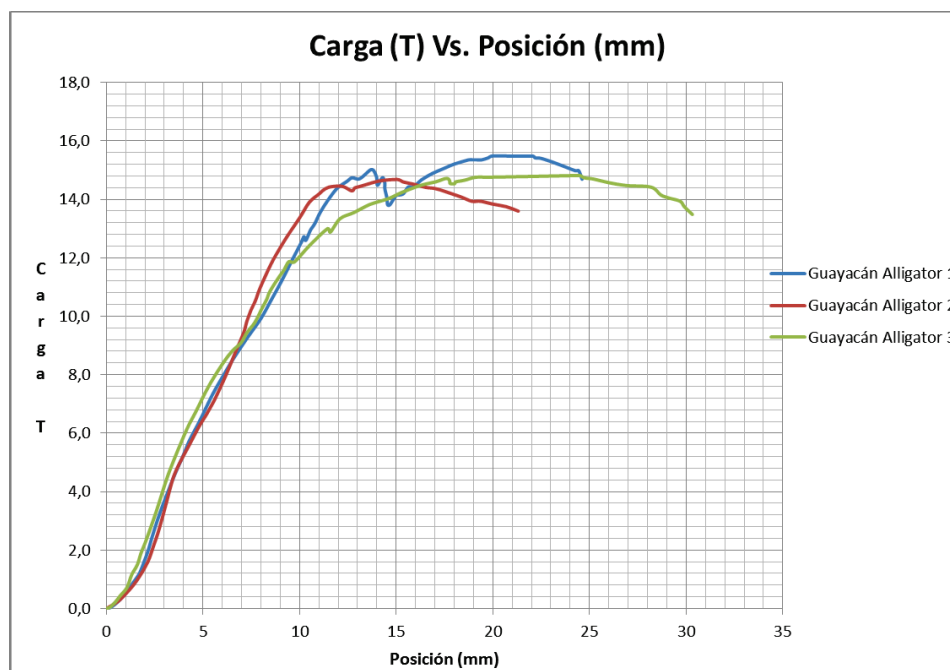
PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
Doble Chanul Alligator 1	12,500	12,640	6,800	3,420	2,800
Doble Chanul Alligator 2	11,500	12,890	6,100	3,760	2,300
Doble Chanul Alligator 3	12,900	13,000	7,100	3,490	2,700
Cargas Promedio	12,300	12,843	6,667	3,557	2,600
Cargas Mínimas	11,500	12,890	6,100	3,760	2,300

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.3.6 Probetas de Guayacán Doble Cizallamiento:

Se han ensayado 3 probetas de Guayacán con uniones Tipo Alligator sometidas a Doble Cizallamiento, las gráficas Carga Vs. Posición resultantes se muestran a continuación:

FIGURA 3.65 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-ALLIGATOR



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a las curvas anteriores se obtiene el valor de carga máxima, carga en el límite elástico y cargas admisibles con sus respectivas deformaciones.

TABLA 3.79 CURVA CARGA VS. POSICIÓN PROBETAS GUAYACÁN-ALLIGATOR

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$
	Ton	mm	Ton	mm	Ton
<i>Doble Guayacán Alligator 1</i>	15,500	20,000	6,800	4,900	1,600
<i>Doble Guayacán Alligator 2</i>	14,700	14,970	6,500	4,700	1,600
<i>Doble Guayacán Alligator 3</i>	14,700	17,620	7,200	5,100	2,000
Cargas Promedio	14,967	17,530	6,833	4,900	1,733
Cargas Mínimas	14,700	14,970	6,500	4,700	1,600

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

3.4.4 ANÁLISIS Y COMENTARIOS:

A partir de los datos experimentales mostrados en las tablas anteriores, se desprende la tabla de resumen siguiente, tomando los valores promedios de los ensayos, y además, se muestra el factor de seguridad resultante de cada caso.

TABLA 3.80 RESUMEN DE PROBETAS CONEXIONES TIPO ALLIGATOR

PROBETA	CARGA MÁXIMA		LÍMITE ELÁSTICO		CARGA ADMISIBLE		
	P. Máx.	δ Máx.	P.L.E.	δ L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$	Factor de Seguridad	P.L.E./2.9
	Ton	mm	Ton	mm	Ton	P.L.E./P. adm	Ton
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	5,200	20,433	2,757	5,030	0,833	3,3	0,964
<i>Simple Chanul Alligator</i>	5,900	13,877	3,183	3,990	1,267	2,5	1,113
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	9,633	26,547	4,483	4,430	1,600	2,8	1,567
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	9,900	20,030	4,533	3,473	2,233	2,0	1,585
<i>Doble Chanul Alligator</i>	12,300	12,843	6,667	3,557	2,600	2,6	2,331
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	14,967	17,530	6,833	4,900	1,733	3,9	2,389
Promedio						2,9	

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

En la tabla anterior se presentan los factores de seguridad para cada probeta, cuyo promedio es **2.9**.

Considerando este valor como factor de seguridad, se obtiene el valor de carga admisible final (P.L.E./2,9).

TABLA 3.81 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P.L.E./2.9

PROBETA	P.ADM = P.L.E./2.9	P. Límite Elástico	P. MÁX.
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	100	286	539
<i>Simple Chanul Alligator</i>	100	286	530
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	100	286	615
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	100	286	625
<i>Doble Chanul Alligator</i>	100	286	528
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	100	286	626

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.82 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y EN EL PUNTO MÁXIMO EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P. CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM

PROBETA	P. ADMISIBLE	P. Límite Elástico	P. MÁX.
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	100	331	624
<i>Simple Chanul Alligator</i>	100	251	466
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	100	280	602
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	100	203	443
<i>Doble Chanul Alligator</i>	100	256	473
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	100	394	864

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.83 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGA ADMISIBLE CUANDO ES IGUAL A P.L.E./2.9 EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P. CUANDO LA DEFORMACIÓN ES 1.5MM

PROBETA	P. ADM. ($\delta = 1.5$)	P.ADM = P.L.E./2.9
	%	%
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	100	116
<i>Simple Chanul Alligator</i>	100	88
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	100	98
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	100	71
<i>Doble Chanul Alligator</i>	100	90
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	100	138

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 3.84 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA DEFORMACIÓN EN EL PUNTO MÁXIMO RESPECTO AL LÍMITE ELÁSTICO.

PROBETA	DEF. EN L.E.	DEF. EN P. MAX.
	%	%
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	100	406
<i>Simple Chanul Alligator</i>	100	348
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	100	599
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	100	577
<i>Doble Chanul Alligator</i>	100	361
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	100	358

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Cuando comparamos la carga máxima con la admisible (P.L.E./2.9), podemos darnos cuenta que su valor es de 5 a 6 veces el de la admisible.
- El valor de la carga máxima en comparación con la admisible (P cuando $\delta = 1.5\text{mm}$) varía en un rango de 4 a 6 veces, a excepción de la probeta de Guayacán doble cizallamiento, la cual es 8 veces el valor de carga admisible.
- Para las probetas con conexiones Alligator el valor de carga admisible (P.L.E./2.9) no difiere por más del 40% respecto a la correspondiente cuando la deformación es 1.5mm.

3.4.4.1 Rigideces de conexiones Tipo Alligator:

La pendiente bajo la curva Carga vs. Deformación en el tramo elástico, representa la rigidez de las conexiones, la cual se resume en la tabla siguiente:

TABLA 3.85 RIGIDECES CONEXIONES TIPO ALLIGATOR.

PROBETA	RIGIDECES
	Ton/mm
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	0,548
<i>Simple Chanul Alligator</i>	0,798
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	1,012
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	1,305
<i>Doble Chanul Alligator</i>	1,874
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	1,394

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

- Para corte simple, la rigidez de las probetas es menor para mascarey, y mayor para guayacán.
- Para corte doble la rigidez de las probetas es menor para guayacán y mascarey, y mayor para chanul.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DEL ESTUDIO TEÓRICO Y EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se comparará los valores obtenidos teóricamente con los experimentales, así mismo se sugerirán factores de seguridad que vayan de acuerdo a los ensayos realizados.

Considerando que la JUNAC no tiene un amplio estudio de conexiones empernadas, y las normas NDS, DIN y EUROCÓDIGO son normas desarrolladas para Estados Unidos, Alemania y Europa, respectivamente, se establecerán factores que afecten los valores de carga teóricos y así puedan ser aplicables para el diseño en el Ecuador, ya que los ensayos experimentales, se han realizado con materiales obtenidos en el mercado local.

Obedeciendo las normas JUNAC, NDS y DIN, se calculan valores de cargas admisibles para las conexiones, las cuales se compararán con las obtenidas experimentalmente. En el capítulo anterior se estableció como carga admisible, la cuarta parte de la carga en el Límite Elástico.

Al utilizar el EUROCÓDIGO, se obtienen valores de carga en el Límite Elástico.

A partir de estos antecedentes para la JUNAC, NDS y DIN, tenemos:

$$\text{Carga admisible} = \text{Factor de relación} * \text{Carga según Código}$$

Mientras que para cargas obtenidas con el EUROCÓDIGO, tenemos:

$$\text{Carga en el Límite Elástico} = \text{Factor de relación} * \text{Carga según Código}$$

Se comparará también la carga que resisten las diferentes conexiones, así mismo el incremento de carga respecto a las conexiones empernadas.

4.1 CONEXIONES CON PERNOS

Del estudio teórico desarrollado en el capítulo II, y el experimental del capítulo III, se desprenden los resultados mostrados en el cuadro siguiente:

TABLA 4.86 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

PROBETA	VALORES EXPERIMENTALES			VALORES TEÓRICOS		
	CARGA EN L.E.	En $\delta = 1.5\text{mm}$	En L.E./2.8	JUNAC	NDS	EUROCÓDIGO
	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton	Ton
<i>Simple Mascarey Perno</i>	0,855	0,405	0,301	0,074	0,252	1,272
<i>Simple Chanul Perno</i>	1,117	0,273	0,380	0,127	0,339	1,626
<i>Simple Guayacán Perno</i>	1,883	0,623	0,662	0,173	0,357	1,703
<i>Doble Mascarey Perno</i>	2,083	0,533	0,733	0,148	0,504	2,545
<i>Doble Chanul Perno</i>	2,050	1,350	0,721	0,253	0,678	3,253
<i>Doble Guayacán Perno</i>	3,300	1,300	1,161	0,345	0,714	3,407

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

A partir del cuadro anterior, se pueden establecer comparaciones entre los valores teóricos en relación a los experimentales.

TABLA 4.87 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (JUNAC, NDS) EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P.L.E./2.8

PROBETA	VALORES EXPERIMENTALES	VALORES TEÓRICOS	
	En L.E./2.8	JUNAC	NDS
	%	%	%
<i>Simple Mascarey Perno</i>	100	25	84
<i>Simple Chanul Perno</i>	100	33	89
<i>Simple Guayacán Perno</i>	100	26	54
<i>Doble Mascarey Perno</i>	100	20	69
<i>Doble Chanul Perno</i>	100	35	94
<i>Doble Guayacán Perno</i>	100	30	61

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

De acuerdo a estas comparaciones, se puede decir que los valores de carga obtenidos con la JUNAC, están son considerablemente bajos de acuerdo a los experimentales, mientras que los obtenidos con la NDS, en su mayoría, se asemejan a los experimentales.

El siguiente cuadro mostrará los factores que deberán ser multiplicados por las cargas teóricas para asemejarse a las experimentales.

Siendo:

$$Factor = \frac{Carga\ Admisible\ experimental}{Carga\ según\ Código}$$

TABLA 4.88 FACTORES DE RELACIÓN JUNAC Y NDS

<i>PROBETA</i>	CARGA ADMISIBLE	FACTOR DE RELACIÓN	
	En L.E./2.8	JUNAC	NDS
<i>Simple Mascarey Perno</i>	1,00	4,06	1,19
<i>Simple Chanul Perno</i>	1,00	3,00	1,12
<i>Simple Guayacán Perno</i>	1,00	3,84	1,86
<i>Doble Mascarey Perno</i>	1,00	4,95	1,45
<i>Doble Chanul Perno</i>	1,00	2,85	1,06
<i>Doble Guayacán Perno</i>	1,00	3,37	1,63
	Promedio	3,68	1,39

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Con los factores mostrados, se puede establecer un solo valor para generalizar la norma, este valor será el promedio de los obtenidos, de acuerdo a lo expuesto, se tiene:

$$\mathbf{FACTOR_{JUNAC} = 3.6}$$

$$\mathbf{FACTOR_{NDS} = 1.3}$$

A continuación se mostrará una tabla comparativa con valores de carga en el Límite Elástico y las del EUROCODIGO.

TABLA 4.89 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (EUROCÓDIGO) EN RELACIÓN A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y FACTOR DE RELACIÓN.

PROBETA	VALORES EXPERIMENTALES	VALORES TEÓRICOS	
	CARGA EN L.E.	EUROCODIGO	
	%	%	FACTOR DE RELACIÓN
<i>Simple Mascarey Perno</i>	100	148	0,67
<i>Simple Chanul Perno</i>	100	150	0,66
<i>Simple Guayacán Perno</i>	100	90	1,11
<i>Doble Mascarey Perno</i>	100	122	0,82
<i>Doble Chanul Perno</i>	100	158	0,63
<i>Doble Guayacán Perno</i>	100	103	0,97
		Promedio	0.81

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Siendo:

$$FACTOR_{EUROCÓDIGO} = \frac{\text{Carga en el Límite Elástico}}{\text{Carga según Eurocódigo}}$$

Se puede evidenciar que las cargas experimentales en general, son inferiores respecto a las obtenidas con el Eurocódigo, de esta manera, el factor de relación sería:

$$\mathbf{FACTOR_{EUROCÓDIGO} = 0.8}$$

4.2 CONEXIONES TIPO BULLDOG

TABLA 4.90 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

<i>PROBETA</i>	VALORES EXPERIMENTALES		VALORES TEÓRICOS
	CARGA EN L.E.	En L.E./2.2	EUROCÓDIGO
	Ton	Ton	Ton
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	1,120	0,520	2,184
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	1,320	0,613	2,570
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	2,467	1,145	2,647
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	2,673	1,241	4,369
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	3,400	1,578	5,140
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	3,533	1,640	5,295

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

A partir del cuadro anterior, se pueden establecer comparaciones entre los valores teóricos (EUROCÓDIGO), en relación a los experimentales (CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO).

TABLA 4.91 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (EUROCÓDIGO) EN RELACIÓN A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO, Y FACTORES DE RELACIÓN

<i>PROBETA</i>	VALORES EXPERIMENTALES	VALORES TEÓRICOS	
	CARGA EN L.E.	EUROCODIGO	
	%	%	FACTOR DE RELACIÓN
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	100	195,04	0,51
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	100	194,72	0,51
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	100	107,31	0,93
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	100	163,44	0,61
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	100	151,19	0,66
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	100	149,87	0,67
		Promedio	0.65

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Siendo:

$$FACTOR_{EUROCÓDIGO} = \frac{\text{Carga en el Límite Elástico}}{\text{Carga según Eurocódigo}}$$

Se puede evidenciar que las cargas experimentales, son inferiores respecto a las obtenidas con el Eurocódigo, de esta manera, el factor de relación sería:

$$FACTOR_{EUROCÓDIGO} = 0.6$$

4.3 CONEXIONES TIPO APPEL

TABLA 4.92 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

PROBETA	VALORES EXPERIMENTALES		VALORES TEÓRICOS
	CARGA EN L.E.	En L.E./2.6	EUROCÓDIGO
	Ton	Ton	Ton
<i>Simple Mascarey Appel</i>	2,917	1,124	2,742
<i>Simple Chanul Appel</i>	5,500	2,119	3,401
<i>Simple Guayacán Appel</i>	6,600	2,542	3,478
<i>Doble Mascarey Appel</i>	5,083	1,958	5,484
<i>Doble Chanul Appel</i>	8,600	3,313	6,803
<i>Doble Guayacán Appel</i>	7,200	2,774	6,957

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

A partir del cuadro anterior, se pueden establecer comparaciones entre los valores teóricos (EUROCÓDIGO), en relación a los experimentales (CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO).

TABLA 4.93 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (EUROCÓDIGO) EN RELACIÓN A LA CARGA EN EL LÍMITE ELÁSTICO, Y FACTORES DE RELACIÓN

PROBETA	VALORES EXPERIMENTALES	VALORES TEÓRICOS	
	CARGA EN L.E.	EUROCODIGO	
	%	%	FACTOR DE RELACIÓN
<i>Simple Mascarey Appel</i>	100	94	1,06
<i>Simple Chanul Appel</i>	100	62	1,62
<i>Simple Guayacán Appel</i>	100	53	1,90
<i>Doble Mascarey Appel</i>	100	108	0,93
<i>Doble Chanul Appel</i>	100	79	1,26
<i>Doble Guayacán Appel</i>	100	97	1,03
		Promedio	1.30

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Siendo:

$$FACTOR_{EUROCÓDIGO} = \frac{\text{Carga en el Límite Elástico}}{\text{Carga según Eurocódigo}}$$

Para este tipo de conexión se puede evidenciar que las cargas experimentales, son semejantes o inferiores a las obtenidas con el Código, a excepción de la probeta de Mascarey sometida a corte doble, la cual no es igual pero se acerca mucho, de esta manera podemos definir el siguiente como factor de relación:

$$\mathbf{FACTOR_{EUROCÓDIGO} = 1.3}$$

4.4 CONEXIONES TIPO ALLIGATOR

TABLA 4.94 RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

<i>PROBETA</i>	VALORES EXPERIMENTALES		VALORES TEÓRICOS
	CARGA EN L.E.	En L.E./2.9	NORMA DIN
	Ton	Ton	Ton
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	2,757	0,964	0,904
<i>Simple Chanul Alligator</i>	3,183	1,113	0,940
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	4,483	1,567	0,940
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	4,533	1,585	1,712
<i>Doble Chanul Alligator</i>	6,667	2,331	1,760
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	6,833	2,389	1,760

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

A partir del cuadro anterior, se pueden establecer comparaciones entre los valores teóricos (DIN), en relación a los experimentales (CARGA ADMISIBLE EN P.L.E./2.9).

TABLA 4.95 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LA CARGAS OBTENIDAS TEÓRICAMENTE (DIN) EN RELACIÓN A LA CARGA ADMISIBLE CON P.ADM.= P.L.E./2.9, Y FACTORES DE RELACIÓN.

<i>PROBETA</i>	CARGA ADMISIBLE	VALORES TEÓRICOS	
	En L.E./2.9	NORMA DIN	
	%	%	FACTOR DE RELACIÓN
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	100	93,79	1,07
<i>Simple Chanul Alligator</i>	100	84,47	1,18
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	100	59,97	1,67
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	100	108,02	0,93
<i>Doble Chanul Alligator</i>	100	75,51	1,32
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	100	73,67	1,36
		Promedio	1.25

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Siendo:

$$FACTOR_{DIN} = \frac{Carga\ Admisible}{Carga\ según\ DIN}$$

Para este tipo de conexión se puede evidenciar que las cargas experimentales, son superiores a las obtenidas con el Código, de esta manera podemos definir el siguiente como factor de relación:

$$FACTOR_{DIN} = 1.2$$

4.5 ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS CONEXIONES CONSIDERADAS

El cuadro siguiente muestra el aumento de rigideces de acuerdo a las conexiones utilizadas.

TABLA 4.96 COMPARACIÓN EN PORCENTAJE DE LAS RIGIDECES DE LAS CONEXIONES ESPECIALES, RESPECTO A LAS EMPERNADAS

TIPO DE CORTE	MADERA	TIPO DE CONEXIÓN							
		PERNO		BULLDOG		APPEL		ALLIGATOR	
		Ton/mm	%	Ton/mm	%	Ton/mm	%	Ton/mm	%
SIMPLE	Mascarey	0,300	100	0,317	106	0,839	280	0,548	183
	Chanul	0,303	100	0,521	172	1,116	368	0,798	263
	Guayacán	0,445	100	0,712	160	1,501	337	1,012	227
DOBLE	Mascarey	0,598	100	0,751	126	1,735	290	1,305	218
	Chanul	0,789	100	0,986	125	2,918	370	1,874	237
	Guayacán	0,862	100	0,979	114	1,412	164	1,438	167

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Se puede evidenciar que las conexiones EMPERNADAS tienen menor rigidez, seguidas por las conexiones tipo BULLDOG, siguen las ALLIGATOR, y finalmente, las conexiones APPEL poseen la mayor rigidez, a excepción de la

probeta de Guayacán sometida a corte doble, ya que esta tiene valores semejantes de rigidez con conexiones tipo APPEL y ALLIGATOR.

De la tabla anterior, se puede ver que para la mayoría de conexiones, las rigideces van aumentando en relación al tipo de madera estructural, en el orden de Mascarey, Chanul, Guayacán, además es mayor para el doble cizallamiento.

4.5.1 PROBETAS DE MASCAREY

TABLA 4.97 MASCAREY SIMPLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.

CONEXIÓN	CARGA MÁXIMA				LÍMITE ELÁSTICO				CARGA ADMISIBLE			
	P. Máx.		δ Máx.		P.L.E.		δ L.E.		En δ = 1.5mm		En L.E./F.S.	
	Ton	%	mm	%	Ton	%	mm	%	Ton	%	Ton	%
PERNO	3,065	100	25,550	100	0,855	100	2,850	100	0,405	100	0,301	100
BULLDOG	3,567	116	30,767	120	1,120	131	3,533	124	0,533	132	0,521	173
APPEL	6,033	197	18,000	70	2,917	341	3,477	122	1,300	321	1,122	373
ALLIGATOR	5,200	170	20,433	80	2,757	322	5,030	176	0,833	206	0,964	320

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Las tablas muestran que la conexión con mayor capacidad de carga es la tipo APPEL, que duplica la carga máxima, es 3.4 veces la carga en el límite elástico, y 3.7 veces la admisible en P.L.E./F.S., con respecto a las empernadas.

TABLA 4.98 MASCAREY DOBLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.

CONEXIÓN	CARGA MÁXIMA				LÍMITE ELÁSTICO				CARGA ADMISIBLE			
	P. Máx.		δ Máx.		P.L.E.		δ L.E.		En δ = 1.5mm		En L.E./F.S.	
	Ton	%	mm	%	Ton	%	mm	%	Ton	%	Ton	%
PERNO	6,432	100	27,000	100	2,083	100	3,483	100	0,533	100	0,733	100
BULLDOG	6,617	103	28,400	105	2,673	128	3,557	102	1,217	228	1,243	170
APPEL	11,650	181	19,107	71	5,083	244	2,930	84	2,633	494	1,955	267
ALLIGATOR	9,900	154	20,030	74	4,533	218	3,473	100	2,233	419	1,585	216

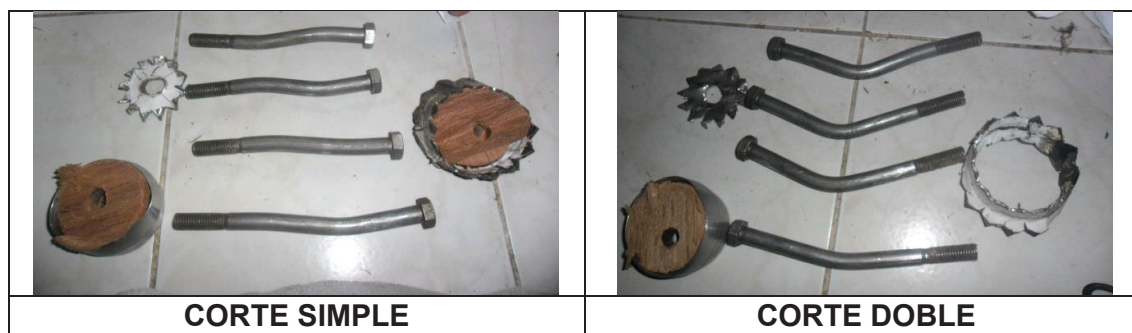
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Las tablas muestran que la conexión con mayor capacidad de carga es la tipo APPEL, que duplica la carga máxima, es 2.5 veces la carga en el límite elástico, y 2.7 veces la admisible en P.L.E./F.S., con respecto a las empernadas.

En las probetas de Mascarey, las conexiones APPEL y ALLIGATOR tienen menor deformación al alcanzar la carga máxima y la carga en el límite elástico, esto se puede atribuir a la forma del conector.

La imagen siguiente muestra la deformación en los 4 tipos de conexiones utilizados en el presente estudio. (De arriba hacia abajo, Empernadas, Bulldog, Alligator, Appel).

FIGURA 4.1 DEFORMACIÓN DE CONECTORES EN MASCAREY



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

4.5.2 PROBETAS DE CHANUL

TABLA 4.99 CHANUL SIMPLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.

CONEXIÓN	CARGA MÁXIMA				LÍMITE ELÁSTICO				CARGA ADMISIBLE			
	P. Máx.		δ Máx.		P.L.E.		δ L.E.		En δ = 1.5mm		En L.E./F.S.	
	Ton	%	mm	%	Ton	%	mm	%	Ton	%	Ton	%
PERNO	3,050	100	23,300	100	1,117	100	3,687	100	0,273	100	0,393	100
BULLDOG	3,933	129	24,033	103	1,320	118	2,533	69	0,883	323	0,614	156
APPEL	9,667	317	22,657	97	5,500	492	4,927	134	1,500	549	2,115	538
ALLIGATOR	5,900	193	13,877	60	3,183	285	3,990	108	1,267	464	1,113	283

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Las tablas muestran que la conexión con mayor capacidad de carga es la tipo APPEL, que triplica la carga máxima, quintuplica la carga en el límite elástico y la admisible en P.L.E./F.S., con respecto a las empernadas

TABLA 4.100 CHANUL DOBLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.

CONEXIÓN	CARGA MÁXIMA				LÍMITE ELÁSTICO				CARGA ADMISIBLE			
	P. Máx.		δ Máx.		P.L.E.		δ L.E.		En δ = 1.5mm		En L.E./F.S.	
	Ton	%	mm	%	Ton	%	mm	%	Ton	%	Ton	%
PERNO	7,333	100	25,810	100	2,050	100	2,597	100	1,350	100	0,722	100
BULLDOG	9,050	123	27,733	107	3,400	166	3,447	133	1,433	106	1,581	219
APPEL	14,133	193	12,803	50	8,600	420	2,947	113	4,800	356	3,308	458
ALLIGATOR	12,300	168	12,843	50	6,667	325	3,557	137	2,600	193	2,331	323

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Las tablas muestran que la conexión con mayor capacidad de carga es la tipo APPEL, que duplica la carga máxima, y es cuatro veces la carga en el límite elástico y la admisible en P.L.E./F.S., con respecto a las empernadas.

En el CHANUL, las conexiones APPEL y ALLIGATOR tienen menor deformación al alcanzar la carga máxima.

La imagen siguiente muestra la deformación en los 4 tipos de conexiones utilizados en el presente estudio. (De arriba hacia abajo, Empernadas, Bulldog, Alligator, Appel).

FIGURA 4.2 DEFORMACIÓN DE CONECTORES EN CHANUL



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

4.5.3 PROBETAS DE GUAYACÁN

TABLA 4.101 GUAYACÁN SIMPLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.

CONEXIÓN	CARGA MÁXIMA				LÍMITE ELÁSTICO				CARGA ADMISIBLE			
	P. Máx.		δ Máx.		P.L.E.		δ L.E.		En δ = 1.5mm		En L.E./F.S.	
	Ton	%	mm	%	Ton	%	mm	%	Ton	%	Ton	%
PERNO	5,517	100	27,433	100	1,883	100	4,233	100	0,623	100	0,663	100
BULLDOG	6,033	109	25,067	91	2,467	131	3,467	82	0,933	150	1,147	173
APPEL	12,400	225	22,333	81	6,600	351	4,397	104	2,933	471	2,538	383
ALLIGATOR	9,633	175	26,547	97	4,483	238	4,430	105	1,600	257	1,567	236

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Las tablas muestran que la conexión con mayor capacidad de carga es la tipo APPEL, que duplica la carga máxima, triplica la carga en el límite elástico, y es 4 veces la carga admisible en P.L.E./F.S., con respecto a las empernadas.

TABLA 4.102 GUAYACÁN DOBLE CIZALLAMIENTO, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DEFORMACIONES MÁXIMAS, EN EL LÍMITE ELÁSTICO Y ADMISIBLES.

CONEXIÓN	CARGA MÁXIMA				LÍMITE ELÁSTICO				CARGA ADMISIBLE			
	P. Máx.		δ Máx.		P.L.E.		δ L.E.		En δ = 1.5mm		En L.E./F.S.	
	Ton	%	mm	%	Ton	%	mm	%	Ton	%	Ton	%
PERNO	10,200	100	25,200	100	3,300	100	3,827	100	1,300	100	1,162	100
BULLDOG	11,833	116	30,013	119	3,533	107	3,607	94	1,667	128	1,643	141
APPEL	15,800	155	14,300	57	7,200	218	5,100	133	1,950	150	2,769	238
ALLIGATOR	14,967	147	17,530	70	7,667	232	5,333	139	1,733	133	2,681	231

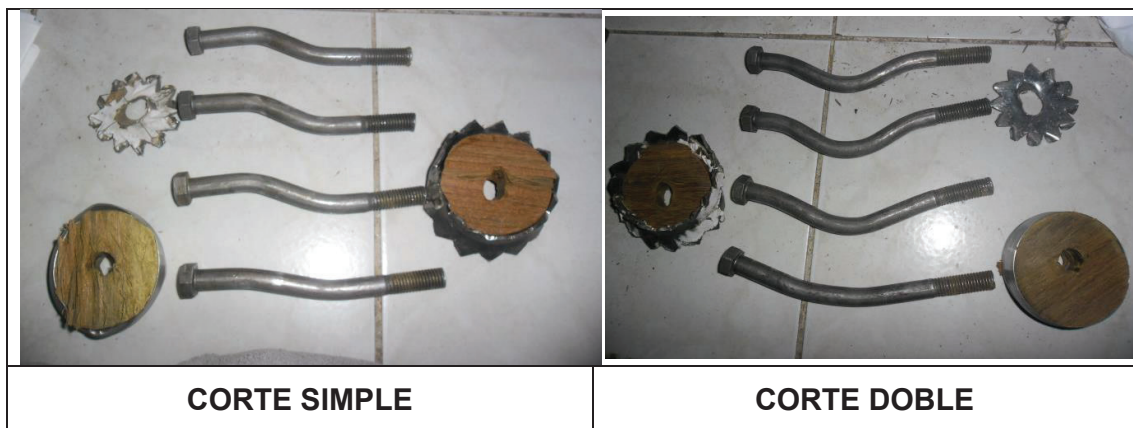
Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Las tablas muestran que la conexión con mayor capacidad de carga es la tipo APPEL, que es 1.5 veces la carga máxima, el doble en el límite elástico y en la carga admisible cuando P.L.E./F.S., con respecto a las empernadas.

En el GUAYACÁN, las conexiones APPEL y ALLIGATOR tienen menor deformación al alcanzar la carga máxima, pero en el límite elástico, las probetas que sufren menor deformación son aquellas con los conectores tipo BULLDOG.

La imagen siguiente muestra la deformación en los 4 tipos de conexiones utilizados en el presente estudio. (De arriba hacia abajo, Empernadas, Bulldog, Alligator, Appel).

FIGURA 4.3 DEFORMACIÓN DE CONECTORES EN GUAYACÁN



Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE CONEXIONES SOMETIDAS A CARGA AXIAL EN SENTIDO PERPENDICULAR Y PARALELO A LA FIBRA

Este capítulo incluye una comparación entre los valores experimentales de las conexiones sometidas a carga axial paralela y perpendicular a la fibra.

Los valores de carga resultantes al someterlas a carga paralela, serán tomados del proyecto titulado ENSAYO DE CONEXIONES ESPECIALES DE MADERA SOMETIDAS A CARGA AXIAL desarrollado en la EPN en el año 2013.

5.1 CONEXIONES EMPERNADAS

Se presentará una tabla comparando las rigideces de las probetas con los 3 tipos de conexiones especiales sometidas a carga paralela, en relación a los valores de rigideces cuando las probetas son sometidas a carga perpendicular.

TABLA 5.103 COMPARACIÓN DE RIGIDECES PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR

TIPO DE CORTE	MADERA	TIPO DE CONEXIÓN																	
		PERNO			BULLDOG			APPEL			ALLIGATOR								
		Perpendicular Ton/mm	Paralela Ton/mm	%	Perpendicular Ton/mm	Paralela Ton/mm	%	Perpendicular Ton/mm	Paralela Ton/mm	%	Perpendicular Ton/mm	Paralela Ton/mm	%	Perpendicular Ton/mm	Paralela Ton/mm	%			
SIMPLE	Mascarey	100	0,300	80	0,317	100	0,420	132	0,839	100	1,730	206	0,548	100	0,420	77			
	Chanul	100	0,303	211	0,521	100	0,510	98	1,116	100	1,550	139	0,798	100	1,030	129			
	Guayacán	100	0,445	119	0,712	100	0,650	91	1,501	100	1,730	115	1,012	100	1,710	169			
DOBLE	Mascarey	100	0,598	67	0,751	100	0,720	96	1,735	100	1,820	105	1,305	100	1,260	97			
	Chanul	100	0,789	151	0,986	100	1,370	139	2,918	100	4,190	144	1,874	100	2,050	109			
	Guayacán	100	0,862	140	0,979	100	1,640	167	1,412	100	4,170	295	1,438	100	2,230	155			

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

TABLA 5.104 CONEXIONES EMPERNADAS, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR

PROBETA	CARGA MÁXIMA						LÍMITE ELÁSTICO						CARGA ADMISIBLE							
	P. Máx.			δ Máx.			P.L.E.			δ L.E.			En δ = 1,5mm							
	Perpend Ton	Paralela Ton	%	Perpend mm	Paralela mm	%	Perpend Ton	Paralela Ton	%	Perpend mm	Paralela mm	%	Perpend Ton	Paralela Ton	%					
Simple Mascarey Perno	3,1	100	3,3	108	25,6	100	48,0	188	0,9	100	0,9	105	2,9	100	3,7	131	0,4	100	0,4	109
Simple Chanul Perno	3,1	100	4,0	131	23,3	100	34,5	148	1,1	100	1,8	167	3,7	100	2,8	76	0,3	100	1,2	432
Simple Guayacán Perno	5,5	100	4,5	82	27,4	100	26,0	95	1,9	100	2,2	117	4,2	100	4,1	98	0,6	100	0,8	122
Doble Mascarey Perno	6,4	100	3,3	51	27,0	100	27,0	100	2,1	100	2,0	96	3,5	100	4,0	115	0,5	100	0,9	159
Doble Chanul Perno	7,3	100	8,6	117	25,8	100	26,9	104	2,1	100	3,8	185	2,6	100	3,2	123	1,4	100	1,7	124
Doble Guayacán Perno	10,2	100	11,8	116	25,2	100	26,2	104	3,3	100	3,9	118	3,8	100	3,2	84	1,3	100	1,5	116

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

5.2 CONEXIONES TIPO BULLDOG

TABLA 5.105 CONEXIONES BULLDOG, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR

PROBETA	CARGA MÁXIMA								LÍMITE ELÁSTICO							
	P. Máx.				δ Máx.				P.L.E.				δ L.E.			
	Perpend		Paralela		Perpend		Paralela		Perpend		Paralela		Perpend		Paralela	
	Ton	%	Ton	%	mm	%	mm	%	Ton	%	Ton	%	mm	%	mm	%
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	3,6	100	3,4	95	30,8	100	45,8	149	1,1	100	1,5	134	3,5	100	3,6	101
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	3,9	100	6,9	175	24,0	100	45,6	190	1,3	100	2,2	167	2,5	100	4,3	170
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	6,0	100	6,5	108	25,1	100	36,9	147	2,5	100	3,1	126	3,5	100	4,8	138
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	6,6	100	5,8	88	28,4	100	24,7	87	2,7	100	2,8	105	3,6	100	3,9	110
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	9,1	100	11,0	122	27,7	100	33,8	122	3,4	100	4,3	126	3,4	100	3,1	91
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	11,8	100	9,8	83	30,0	100	24,5	82	3,5	100	4,5	127	3,6	100	2,7	76

PROBETA	CARGA ADMISIBLE			
	En δ = 1.5mm			
	Perpend		Paralela	
	Ton	%	Ton	%
<i>Simple Mascarey Bulldog</i>	0,5	100	0,8	158
<i>Simple Chanul Bulldog</i>	0,9	100	0,6	67
<i>Simple Guayacán Bulldog</i>	0,9	100	0,9	91
<i>Doble Mascarey Bulldog</i>	1,2	100	0,9	77
<i>Doble Chanul Bulldog</i>	1,4	100	2,2	150
<i>Doble Guayacán Bulldog</i>	1,7	100	2,5	148

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

5.3 CONEXIONES TIPO APPEL

TABLA 5.106 CONEXIONES APPEL, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR

PROBETA	CARGA MÁXIMA								LÍMITE ELÁSTICO							
	P. Máx.				δ Máx.				P.L.E.				δ L.E.			
	Perpend		Paralela		Perpend		Paralela		Perpend		Paralela		Perpend		Paralela	
	Ton	%	Ton	%	mm	%	mm	%	Ton	%	Ton	%	mm	%	mm	%
<i>Simple Mascarey Appel</i>	6,0	100	4,5	75	18,0	100	21,0	117	2,9	100	2,2	75	3,5	100	1,3	37
<i>Simple Chanul Appel</i>	9,7	100	9,0	93	22,7	100	23,4	103	5,5	100	4,6	84	4,9	100	3,0	60
<i>Simple Guayacán Appel</i>	12,4	100	10,0	81	22,3	100	14,6	65	6,6	100	5,2	79	4,4	100	3,0	68
<i>Doble Mascarey Appel</i>	11,7	100	6,9	59	19,1	100	6,9	36	5,1	100	5,0	98	2,9	100	2,7	94
<i>Doble Chanul Appel</i>	14,1	100	16,6	117	12,8	100	18,5	144	8,6	100	8,5	99	2,9	100	2,0	69
<i>Doble Guayacán Appel</i>	15,8	100	26,0	165	14,3	100	18,1	127	7,2	100	12,0	167	5,1	100	2,9	56

PROBETA	CARGA ADMISIBLE			
	En δ = 1.5mm			
	Perpend		Paralela	
	Ton	%	Ton	%
<i>Simple Mascarey Appel</i>	1,3	100	2,5	189
<i>Simple Chanul Appel</i>	1,5	100	2,2	144
<i>Simple Guayacán Appel</i>	2,9	100	2,8	94
<i>Doble Mascarey Appel</i>	2,6	100	2,6	98
<i>Doble Chanul Appel</i>	4,8	100	6,9	144
<i>Doble Guayacán Appel</i>	2,0	100	6,2	316

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

5.4 CONEXIONES TIPO ALLIGATOR

TABLA 5.107 CONEXIONES ALLIGATOR, COMPARACIÓN DE CARGAS Y DESPLAZAMIENTOS DE LAS PROBETAS SOMETIDAS A CARGA PARALELA EN RELACION A LAS SOMETIDAS A CARGA PERPENDICULAR

PROBETA	CARGA MÁXIMA								LÍMITE ELÁSTICO							
	P. Máx.				δ Máx.				P.L.E.				δ L.E.			
	Perpend		Paralela		Perpend		Paralela		Perpend		Paralela		Perpend		Paralela	
	Ton	%	Ton	%	mm	%	mm	%	Ton	%	Ton	%	mm	%	mm	%
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	5,2	100	3,9	75	20,4	100	19,2	94	2,8	100	2,7	98	5,0	100	6,5	129
<i>Simple Chanul Alligator</i>	5,9	100	6,2	105	13,9	100	11,0	79	3,2	100	4,0	126	4,0	100	3,9	98
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	9,6	100	8,8	91	26,5	100	10,6	40	4,5	100	7,0	156	4,4	100	4,1	93
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	9,9	100	7,9	80	20,0	100	10,5	52	4,5	100	5,0	110	3,5	100	4,0	114
<i>Doble Chanul Alligator</i>	12,3	100	13,1	107	12,8	100	12,7	99	6,7	100	7,0	105	3,6	100	3,4	96
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	15,0	100	15,5	104	17,5	100	12,6	72	6,8	100	9,0	132	4,9	100	4,0	82

PROBETA	CARGA ADMISIBLE			
	En δ = 1.5mm			
	Perpend		Paralela	
	Ton	%	Ton	%
<i>Simple Mascarey Alligator</i>	0,8	100	1,0	122
<i>Simple Chanul Alligator</i>	1,3	100	2,0	159
<i>Simple Guayacán Alligator</i>	1,6	100	3,2	197
<i>Doble Mascarey Alligator</i>	2,2	100	1,9	86
<i>Doble Chanul Alligator</i>	2,6	100	3,7	143
<i>Doble Guayacán Alligator</i>	1,7	100	2,9	164

Elaborado por: Cueva Graciela, Panoluisa Iveth

Los resultados obtenidos de la comparación de rigideces, cargas y deformaciones, sugieren concluir que el comportamiento al someter a una conexión a carga perpendicular es independiente de la capacidad al someterlas a carga paralela, es decir, no puede establecerse una relación directa.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 COMENTARIOS GENERALES

- Los resultados arrojados en esta investigación se han obtenido ensayando probetas ensambladas con madera ecuatoriana, y además conectores elaborados artesanalmente con materiales locales, por este motivo se puede decir que los factores obtenidos son aplicables para la industria ecuatoriana, siempre y cuando se cumplan con las especificaciones de conectores y madera señaladas en capítulos anteriores.
- Existe gran variedad en las propiedades de la madera, según el medio y circunstancias en las que se desarrollan, es por eso que se debe seleccionar y tratar adecuadamente a las piezas de madera con el fin de cumplir la densidad y contenido de humedad necesarios para poder considerarlas estructurales.
- Se han considerado 3 probetas de cada tipo de conexión y madera, para así poder tomar el valor promedio de cargas y deformaciones, y con esto no sobreestimar ni subestimar los valores.
- Con el fin de establecer comparaciones entre los tipos de madera utilizada y conectores, se han ensamblado probetas con similares dimensiones y espesores de las piezas de madera, además de distancias al borde y testa. En base a los resultados experimentales tomados cuando la deformación se restringe a 1.5mm, se ha definido un factor de seguridad para cada tipo de conexión, con el fin de establecer la carga admisible en función de la carga en el límite elástico, el cual en todos los casos se tomó como el promedio de las probetas correspondientes a cada tipo. Este dato de carga admisible se ha tomado como referencia para las comparaciones con los resultados experimentales. De esta manera, los factores de seguridad son:

TIPO DE CONECTOR	FACTOR DE SEGURIDAD
PERNOS	2.8
BULLDOG	2.2
APPEL	2.6
ALLIGATOR	2.9

- De acuerdo al estudio realizado, se puede concluir que las conexiones especiales para madera, según su capacidad de carga y rigidez, en orden ascendente, sería:
 1. Conexiones Empernadas
 2. Conexiones tipo Bulldog
 3. Conexiones tipo Alligator
 4. Conexiones tipo Appel
- La diferencia de carga admisible entre conectores, varía de acuerdo al grupo de madera, siendo la probeta de Chanul con conexión tipo Appel, la que mayor diferencia de carga tiene respecto a las conexiones emperradas. Para corte simple su capacidad de carga admisible aumenta en un 500%, mientras que para corte doble aumenta en un 400%.
- Los pernos que sufrieron mayor deformación al alcanzar su máxima carga, fueron los pertenecientes a las conexiones de las probetas de Guayacán, por el contrario las deformaciones de los pernos de las probetas de Mascarey fueron las menores, en todos los tipos de conexiones.
- Al comparar el comportamiento de los conectores en cada tipo de madera, se pudo observar que los pernos menos deformados son los pertenecientes a las conexiones tipo Appel, mientras que la mayor deformación ocurrió en las conexiones emperradas.
- No es posible establecer una relación directa entre los valores de rigidez de las probetas cuando la fuerza se aplica paralela y perpendicularmente a la fibra. Esto puede atribuirse, entre otros factores, a que los valores tomados como referencia, se han obtenido al ensayar probetas de diferente espesor a las del presente estudio.
- Los tipos de conectores del presente estudio, han sido elegidos por su facilidad de elaboración, pero existen otros tipos de conectores descritos

en los códigos estudiados, los cuales necesitan un estudio detallado para su utilización en el país.

- La fabricación industrial de estos tipos de conectores podrá asegurar el cumplimiento de las características y especificaciones técnicas, además fortalecerá el desarrollo de la construcción en madera.

6.2 CONCLUSIONES

6.2.1 CONEXIONES EMPERNADAS

- Las probetas con menor rigidez, son las de Mascarey, tanto en corte doble como simple, por el contrario, la mayor rigidez la poseen las probetas de guayacán (1.5 veces mayor a las de Mascarey), además de ser las que mayor capacidad de carga tienen tanto en corte doble como simple.
- Los resultados de rigidez nos confirman que esta propiedad, es proporcional a la densidad, es decir a mayor densidad mayor rigidez.
- En términos generales, para las conexiones empernadas, la carga máxima es 9 veces la carga admisible (P.L.E./F.S.).
- La deformación en el punto máximo, en promedio, es 8 veces la deformación en el límite elástico.
- Las probetas que tienen mayor carga admisible son las de guayacán, seguidas por el chanul y finalmente las de Mascarey, tanto en corte doble como en corte simple.
- El valor de carga admisible para corte doble, duplica el valor de carga admisible para corte simple, en todas las probetas.
- En el Ecuador, la única norma que rige el diseño en madera es la JUNAC, la cual, se ha podido evidenciar, arroja cargas muy bajas en relación a las reales, alrededor del 30%, es por esto que el factor propuesto para modificar la carga teórica es: **FACTOR JUNAC = 3,6**.
- La norma NDS, arroja valores mayores a los de la JUNC, pero siguen siendo inferiores a los experimentales, tomando en cuenta esto, el factor de modificación es **FACTOR NDS = 1,3**.

- El EUROCÓDIGO, arroja valores de cargas nominales (no están afectadas por un factor de seguridad), es decir cargas en el límite elástico y son mayores que las experimentales, por este motivo, se ha definido como factor de relación el siguiente: **FACTOR EUROCÓDIGO = 0,8**.
- La aplicación del EUROCÓDIGO arroja cargas más cercanas a la realidad, en comparación a la JUNAC y la Norma NDS for Wood Construction.
- Los pernos en las probetas de guayacán, tuvieron mayor deformación, seguidas por las de Chanul, y posteriormente las de Mascarey.
- La carga y deformación máxima de las conexiones empernadas ensayadas a carga axial en sentido paralelo a la fibra es mayor o semejante a las ensayadas en sentido perpendicular, a excepción de la probeta de Mascarey a corte doble, cuya carga es la mitad.
- Para todas las probetas, la carga en el límite elástico y la admisible (P.L.E./F.S.), son mayores o semejantes en sentido paralelo a la fibra en comparación a los valores en sentido perpendicular.
- No es posible establecer una relación directa entre los valores de carga y deformación experimentales cuando la fuerza se aplica paralela y perpendicularmente a la fibra. Esto puede atribuirse, entre otros factores, a que los valores tomados como referencia, se han obtenido al ensayar probetas de diferente espesor a las del presente estudio.

6.2.2 CONEXIONES TIPO BULLDOG

- Para corte simple las probetas con menor rigidez, son las de Mascarey, seguidas por las de Chanul que las superan en un 60% y finalmente las de guayacán superan a las anteriores en un 60%, estas son las de mayor rigidez, cuyo valor asciende a 2.2 veces la rigidez del Mascarey.
- Para corte doble las probetas de Mascarey son de igual manera, las de menor rigidez, las probetas de Chanul y guayacán, tienen valores semejantes superando a las anteriores en un 30%.
- De acuerdo a la **tabla 4.11**, se puede decir que las conexiones tipo Bulldog tienen mayor rigidez respecto a las empernadas, su valor en promedio,

supera en un 130% el valor de las empernadas. Las probetas de chanul, son las que superan en mayor porcentaje a la rigidez de las probetas del perno.

- Los resultados de rigidez nos confirman que esta propiedad, es proporcional a la densidad, es decir a mayor densidad mayor rigidez.
- En términos generales, para las conexiones tipo Bulldog, las carga máxima es 6 veces la carga admisible (P.L.E./F.S.).
- La deformación en el punto máximo, en promedio, es 8 veces la deformación en el límite elástico.
- Las probetas que tienen mayor carga admisible son las de guayacán, seguidas por el chanul y finalmente las de Mascarey, tanto en corte doble como en corte simple.
- El valor de carga admisible para corte doble, en las probetas de Mascarey y chanul, es algo más del doble del valor de carga admisible para corte simple, mientras que en el caso del Guayacán la carga es 1.5 veces la del corte simple.
- En el Ecuador, no existen normas que se apliquen para el diseño de conexiones tipo Bulldog, por este motivo se ha tomado como referencia las normas Europeas EUROCÓDIGO, estas normas arrojan valores de carga en el límite elástico superiores a las experimentales, es por esto que se ha tomado como factor de relación el siguiente valor, **FACTOR EUROCÓDIGO = 0,6.**
- Los pernos en las probetas de guayacán, sufrieron mayor deformación, seguidas por las de Chanul, y posteriormente las de Mascarey.
- La deformación que sufren los pernos en este tipo de conexiones es ligeramente inferior a los de las conexiones empernadas, ya que las conexiones impiden un mayor desplazamiento.
- La carga y deformación máxima de las conexiones Bulldog ensayadas a carga axial en sentido paralelo a la fibra es mayor o semejante a las ensayadas en sentido perpendicular.
- Para todas las probetas, la carga en el límite elástico y la admisible (P.L.E./F.S.), son mayores en sentido paralelo a la fibra en comparación a los valores en sentido perpendicular.

- No es posible establecer una relación directa entre los valores de carga y deformación experimentales cuando la fuerza se aplica paralela y perpendicularmente a la fibra. Esto puede atribuirse, entre otros factores, a que los valores tomados como referencia, se han obtenido al ensayar probetas de diferente espesor a las del presente estudio.

6.2.3 CONEXIONES TIPO APPEL

- Para corte simple las probetas con menor rigidez, son las de Mascarey, seguidas por las de Chanul que las superan en un 35% aproximadamente y finalmente las de guayacán superan a las anteriores en un 40%, estas son las de mayor rigidez, cuyo valor asciende a 1.8 veces la rigidez del Mascarey.
- Para corte doble las probetas con menor rigidez, son las de Guayacán, seguidas por las de Mascarey que las superan en un 20% aproximadamente y finalmente las de chanul que superan a las anteriores en un 70%, estas son las de mayor rigidez.
- De acuerdo a la **tabla 4.11**, se puede decir que las conexiones tipo APPEL poseen la mayor rigidez en todas las clases de madera, respecto a las otras conexiones ensayadas, superan en promedio un 300% de la rigidez de las probetas empernadas. A excepción de la probeta de Guayacán sometida a corte doble, cuya rigidez es semejante a la probeta de Alligator, y supera en un 160% la rigidez de las empernadas.
- Los resultados de rigidez nos confirman que esta propiedad, es proporcional a la densidad, es decir a mayor densidad mayor rigidez.
- En términos generales, para las conexiones tipo Appel, las carga máxima es 5 veces la carga admisible (P.L.E./F.S.).
- La deformación en el punto máximo, en promedio, es 5 veces la deformación en el límite elástico.
- Para corte simple, las probetas que tienen mayor carga admisible son las de guayacán, seguidas por el chanul y finalmente las de Mascarey.
- Para corte doble, las probetas que tienen mayor carga admisible son las de chanul, seguidas por las de guayacán y finalmente las de Mascarey.

- En el Ecuador, no existen normas que se apliquen para el diseño de conexiones tipo Appel, por este motivo se ha tomado como referencia las normas Europeas EUROCÓDIGO, estas normas arrojan valores de carga en el límite elástico superiores a las experimentales, es por esto que se ha tomado como factor de relación el siguiente valor, **FACTOR EUROCÓDIGO = 1,3.**
- Los pernos en las probetas de guayacán, sufrieron mayor deformación, seguidas por las de Chanul, y posteriormente las de Mascarey.
- La deformación que sufren los pernos en este tipo de conexiones es inferior a los de las conexiones empernadas, tipo Bulldog y tipo Alligator ya que la forma de los conectores su espesor impiden un mayor desplazamiento.
- La carga máxima de las conexiones Appel ensayadas a carga axial en sentido paralelo a la fibra es mayor a las ensayadas en sentido perpendicular para las probetas de chanul y guayacán a corte doble, y el valor es menor para todas aquellas sometidas a corte simple, y para el Mascarey a corte simple.
- Para todas las probetas, la carga en el límite elástico y la admisible (P.L.E./F.S.), es menor en sentido paralelo a la fibra en comparación a los valores en sentido perpendicular, a excepción de la probeta de guayacán la cual es mayor en un 170%.
- No es posible establecer una relación directa entre los valores de carga y deformación experimentales cuando la fuerza se aplica paralela y perpendicularmente a la fibra. Esto puede atribuirse, entre otros factores, a que los valores tomados como referencia, se han obtenido al ensayar probetas de diferente espesor a las del presente estudio.

6.2.4 CONEXIONES TIPO ALLIGATOR

- Para corte simple las probetas con menor rigidez, son las de Mascarey, seguidas por las de Chanul que las superan en un 40% aproximadamente y finalmente las de guayacán superan a las anteriores en un 40%, estas son las de mayor rigidez, cuyo valor asciende a 1.8 veces la rigidez del Mascarey.

- Para corte doble las probetas con menor rigidez, son las de Mascarey y Guayacán, seguidas por las de Chanul que superan a las anteriores en un 40% aproximadamente.
- De acuerdo a la **tabla 4.11**, se puede decir que en todas las probetas de madera, las conexiones tipo ALLIGATOR poseen mayor rigidez que las Tipo Bulldog y empernadas, superando en un 200% a estas últimas.
- Los resultados de rigidez nos confirman que esta propiedad, es proporcional a la densidad, es decir a mayor densidad mayor rigidez.
- En términos generales, para las conexiones tipo Appel, las carga máxima es 8 veces la carga admisible (P.L.E./F.S.).
- La deformación en el punto máximo, en promedio, es 6 veces la deformación en el límite elástico.
- Para corte simple y doble, las probetas que tienen mayor carga admisible son las de guayacán, seguidas por el chanul y finalmente las de Mascarey.
- En el Ecuador, no existen normas que se apliquen para el diseño de conexiones tipo Appel, por este motivo se ha tomado como referencia las normas Alemanas DIN, estas normas arrojan valores de cargas admisibles (carga en el límite elástico afectado por un factor de seguridad) inferiores a las experimentales, es por esto que se ha tomado como factor de relación el siguiente valor, **FACTOR_{DIN} = 1,2**.
- Los pernos en las probetas de guayacán, sufrieron mayor deformación, seguidas por las de Chanul, y posteriormente las de Mascarey.
- La deformación que sufren los pernos en este tipo de conexiones es inferior a los de las conexiones empernadas y tipo Bulldog, ya que la forma de los conectores impiden un mayor desplazamiento.
- La carga máxima de las conexiones Alligator ensayadas a carga axial en sentido paralelo a la fibra es mayor a las ensayadas en sentido perpendicular para las probetas de chanul a corte doble y simple, y para el guayacán a corte doble. Para el resto de probetas el valor es menor.
- Para todas las probetas, la carga en el límite elástico y la admisible (P.L.E./F.S.), es menor o similar en sentido paralelo a la fibra en comparación a los valores en sentido perpendicular.

- No es posible establecer una relación directa entre los valores de carga y deformación experimentales cuando la fuerza se aplica paralela y perpendicularmente a la fibra. Esto puede atribuirse, entre otros factores, a que los valores tomados como referencia, se han obtenido al ensayar probetas de diferente espesor a las del presente estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AENOR SOCIEDAD ESPAÑOLA DE LA MADERA. (2006). Diseño y cálculo de uniones en estructuras de madera. Madrid. MADERIA.

AMERICAN FOREST AND PAPER ASSOCIATION. (2001). National Desing Specification for Wood Construction. Estados Unidos.

COMITÉ EJECUTIVO DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN. (2011). Norma Ecuatoriana de la Construcción. Capítulo 7 Construcción con madera. Quito. Dirección de Comunicación Social.

COMITÉ TÉCNICO AEN/CTN 140 EUROCÓDIGOS. (2006). Eurocódigo 5 (Proyecto de estructuras de madera). España.

CRIOLLO, E. y QUIJA, A. (2012). Tesis. Ensayo de Conexiones Especiales de madera sometidas a carga axial. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

DEUTHCHE NORMEN. (1969). DIN Code 152. Alemania.

GALVEZ, B. (2011). Tesis, Madera estructural Tipología y Cálculo de uniones. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

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.

NOLIVOS, J. y YACELGA, J. (2010). Tesis. Estudio de conexiones entre elemento estructurales de caña guadúa sometidos a carga axial. Quito: Escuela Politécnica Nacional.

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

PADT-REPORT / JUNAC. (1984). Manual de diseño para maderas del grupo Andino. Lima. Junta del Acuerdo de Cartagena.

VELOSO, J. (2008). Tesis. Estudio del comportamiento estructural de uniones a escala real de madera Pino Radiata con pernos de acero, caso específico de uniones de cizalle doble sometidas a compresión axial. Concepción: Universidad del Bío-Bío.

VINTIMILLA, JORGE. (1988). "Ingeniería de la construcción en madera", Quito: Escuela Politécnica Nacional.