

ANÁLISIS DE UNIONES PERNADAS ENTRE ELEMENTOS DE MADERA

JUAN SEBASTIÁN LÓPEZ MARTÍNEZ

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

SANTIAGO DE CALI

2012

ANÁLISIS DE UNIONES PERNADAS ENTRE ELEMENTOS DE MADERA

JUAN SEBASTIÁN LÓPEZ MARTÍNEZ

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil

Director

HAROLD CÁRDENAS ORDOÑEZ, Ing. Civil Mag.

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA

SANTIAGO DE CALI

Agosto, 2012

NOTA DE ACEPTACIÓN

Los evaluadores abajo firmantes, certifican que le proyecto: “ANÁLISIS DE UNIONES PERNADAS ENTRE ELEMENTOS DE MADERA”, realizado por el estudiante Juan Sebastián López Martínez, ha sido aceptado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil.

Ing. Harold Cárdenas Ordóñez
Director del Proyecto

Ing.
Jurado

Ing.
Jurado

Santiago de Cali, Agosto de 2012.



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, por todo el apoyo y respaldo incondicional, que me ayudaron a mejorar como persona durante toda mi carrera.

Al profesor Harold Cárdenas, director de tesis por haberme brindado la oportunidad de hacer parte de su grupo de investigación así como por sus valiosas recomendaciones.

A los profesores del programa de Ingeniería Civil por sus contribuciones en mi formación académica.

A la Universidad del Valle por todos estos años de enorme ayuda y formación integral.

A mis amigos y compañeros.



RESUMEN

El objetivo de este trabajo, es sistematizar los métodos de análisis de las uniones entre elementos de madera en cuanto a las características de platina y pernos con base a la Norma Colombiana NSR-10, Título G – Estructuras de madera y estructuras de guadua. Para ello, se desarrolló un software portable, designado DUPEMAD 1.0, mediante la utilización del lenguaje de programación denominado Java a través del programa NetBeans, ejecutable en computadores con sistema operativo Windows (XP, Vista, 7). Se realizaron además ensayos de prueba con el fin de comparar los resultados obtenidos por el producto de programación y los obtenidos mediante el análisis manual, en los que se detectaron diferencias para las uniones en la ubicación de pernos pero que no afectan la capacidad y resistencia de la unión.

Esta sistematización facilita los cálculos en el momento de diseñar uniones entre elementos de madera, economizando tiempo y dinero en cuanto al proceso de análisis y construcción.

Palabras Claves: Análisis de uniones en madera, Desarrollo de software portable, Java.



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. PROBLEMA	2
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2. FORMULACIÓN	3
1.3. OBJETIVOS	3
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	3
2. MARCO DE REFERENCIA.....	4
2.1. ANTECEDENTES.....	4
2.2. MARCO TEÓRICO	5
2.2.1 UNIONES ENTRE ELEMENTOS DE MADERA.....	6
2.2.1.1 ANÁLISIS DE UNIONES PERNADAS	6
2.2.1.2 ANÁLISIS DE UNIONES CLAVADAS	7
2.2.1.1.2 COEFICIENTE DE REDUCCIÓN POR GRUPO	11
2.2.1.1.3 COEFICIENTE POR DURACIÓN DE CARGA (CD)	12
2.2.1.1.4 COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN POR CONTENIDO DE HUMEDAD (Cm)	12
2.2.1.1.5 COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN POR TEMPERATURA (Ct)	13
2.2.1.1.6 COEFICIENTE UTILIZACIÓN DE PLATINAS (Cpl)	13
2.2.1.1.7 CAPACIDAD DE UNA UNIÓN	14
2.2.1.1.8 ESPACIAMIENTOS ENTRE PERNOS	15
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1. TIPO DE ESTUDIO	19
3.2. FASES.....	19
3.2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS	19
3.2.2. SELECCIÓN Y PROGRAMACIÓN.....	19
3.2.3 VERIFICACIÓN	23
3.2.4 RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS Y LA CONSTRUCCIÓN .	23
3.3. PRODUCTOS.....	24



3.3.1 PRODUCTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS.....	24
3.3.2 PRODUCTO DE PROGRAMACIÓN	24
3.3.3 PRODUCTO DE LA VERIFICACIÓN, PRUEBA Y ENSAYOS.....	38
3.3.4 RECOMENDACIONES	67
4. CONCLUSIONES.....	68
5. REFERENCIAS.....	69



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Esfuerzos Admisibles [Mpa] CH=12%	8
Tabla 2. Modulo de Elasticidad Longitudinal [Mpa] CH=12%	9
Tabla 3. Medio Ambiente y Promedio de Corrosión Anual en micras de Galvanización um/año	9
Tabla 4. Cargas Admisible para uniones empernadas con doble cizallamiento	10
Tabla 5. Coeficiente de reducción por grupo, C _g	12
Tabla 6. Duración de carga C _D	12
Tabla 7. Por contenido de humedad C _m	13
Tabla 8. Modificación por temperatura C _t	13
Tabla 9. Distancias entre pernos y bordes de elementos de madera	16
Tabla 10. Distanciamiento unión pernada cargada paralelamente al grano	17
Tabla 11. Distanciamiento unión pernada cargada paralelamente al grano	17
Tabla 12. Datos para prueba de unión 1.....	39
Tabla 13. Resultados del ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 139	
Tabla 14. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 1.....	39
Tabla 15. Datos para prueba de unión 2.....	39
Tabla 16. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 2 40	
Tabla 17. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 2.....	40
Tabla 18. Datos para prueba de unión 3.....	40
Tabla 19. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 3 40	
Tabla 20. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 3.....	41
Tabla 21. Datos para prueba de unión 4.....	41
Tabla 22. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 4 41	
Tabla 23. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 4.....	42
Tabla 24. Datos para prueba de unión 5.....	43
Tabla 25. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 5 43	
Tabla 26. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 5.....	43
Tabla 27. Datos para prueba de unión 6.....	44
Tabla 28. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 6 44	
Tabla 29. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 6.....	45
Tabla 30. Datos para prueba de unión 7.....	46
Tabla 31. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 7 47	
Tabla 32. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 7.....	47



Tabla 33. Datos para prueba de unión 8.....	48
Tabla 34. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 8	48
Tabla 35. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 8.....	48
Tabla 36. Datos para prueba de unión 9.....	49
Tabla 37. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 9	49
Tabla 38. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 9.....	49
Tabla 39. Datos para prueba de unión 10.....	50
Tabla 40. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1050	
Tabla 41. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 10.....	50
Tabla 42. Datos para prueba de unión 11.....	51
Tabla 43. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1151	
Tabla 44. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 11.....	52
Tabla 45. Datos para prueba de unión 12.....	52
Tabla 46. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1253	
Tabla 47. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 12.....	53
Tabla 48. Datos para prueba de unión 13.....	53
Tabla 49. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1354	
Tabla 50. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 13.....	55
Tabla 51. Datos para prueba de unión 14.....	56
Tabla 52. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1456	
Tabla 53. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 14.....	56
Tabla 54. Datos para prueba de unión 15.....	57
Tabla 55. . Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 15.....	57
Tabla 56. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 15.....	57
Tabla 57. Datos para prueba de unión 16.....	57
Tabla 58. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1658	
Tabla 59. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 16.....	58
Tabla 60. Datos para prueba de unión 17.....	58
Tabla 61. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1759	
Tabla 62. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 17.....	59
Tabla 63. Datos para prueba de unión 18.....	60
Tabla 64. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1860	
Tabla 65. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 18.....	60
Tabla 66. Datos para prueba de unión 19.....	61
Tabla 67. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1961	



Tabla 68. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 19.....	61
Tabla 69. Datos para prueba de unión 20.....	62
Tabla 70. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 2062	
Tabla 71. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 20.....	62
Tabla 72. Datos para prueba de unión 21.....	63
Tabla 73. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 2163	
Tabla 74. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 21.....	64
Tabla 75. Datos para prueba de unión 22.....	65
Tabla 76. Resultados de ANÁLISIS por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 2266	
Tabla 77. Resultados del ANÁLISIS manual para unión 22.....	66



LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1 11

Ecuación 2 12

Ecuación 3 14

Ecuación 4 14

Ecuación 5 14



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Uniones apernadas.....	7
Figura 2. Tipos de esfuerzos entre elementos de madera.....	7
Figura 3. Cortante simple clavo o tope paralelo al rano de la madera que contiene la punta.....	8
Figura 4. Cortante simple perpendicular al grano.....	8
Figura 5. Uniones empernadas, cargas inclinadas con relación al grano con N.....	15
Figura 6. Uniones empernadas, cargas inclinadas con relación al grano con N/2..	15
Figura 7. Distancias mínimas para unión pernada de compresión.....	16
Figura 8. Distancias mínimas para unión pernada de tracción.....	17
Figura 9. Algoritmo del ANÁLISIS de uniones pernadas.....	1
Figura 10. Icono del programa DUPEMAD 1.0.....	25
Figura 11. Ventana inicial DUPEMAD 1.0.....	25
Figura 12. Pantalla principal Dupemad1.0.....	26
Figura 13. Grupos estructurales de madera.....	26
Figura 14. Grupos estructurales de madera.....	27
Figura 15. Indicador de grupo del cual pertenece.....	27
Figura 16. Botón para seleccionar tipo de esfuerzo.....	28
Figura 17. Tipos de esfuerzo sin platina.....	29
Figura 18. Tipos de esfuerzo con platina.....	29
Figura 19. Tipo de esfuerzo seleccionado.....	30
Figura 20. Vistas de esfuerzo seleccionado y esquema general de dimensiones ..	31
Figura 21. Campos para ingresar datos.....	32
Figura 22. Campos habilitados y deshabilitados por el programa.....	33
Figura 23. Listado de ciudades e indicador para ingresar valor de temperatura	34
Figura 24. Error al no ingresar ángulo entre elementos.....	34
Figura 25. Error al no ingresar dimensión del elemento A.....	35
Figura 26. Error al no ingresar dimensión del elemento B.....	35
Figura 27. Error al no ingresar carga.....	35
Figura 28. Error al no ingresar temperatura.....	35
Figura 29. Dimension de perno a seleccionar.....	36
Figura 30. Boton para generar resultados.....	36
Figura 31. Boton para reiniciar valores en los campos.....	38



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de programas de cómputo en los procesos de análisis y análisis en ingeniería se ha extendido ampliamente. Particularmente en ingeniería estructural, los programas de análisis cubren un gran campo de aplicaciones, principalmente para estructuras en hormigón y en acero. Estos programas de análisis son desarrollados especialmente por compañías extranjeras, utilizando el inglés como idioma oficial y por consiguiente basando su análisis en normas pertenecientes a cada país.

Al igual que todos los materiales de construcción, la madera tiene propiedades únicas de análisis. Para este material, los análisis buscan dar a conocer las condiciones a las cuales estarán sometidas las estructuras, lo que le permite identificar y seleccionar el sistema estructural adecuado, dentro del que se encuentran el análisis tanto de los elementos como de las uniones que lo componen. Algunos tipos de software conocidos para el análisis de estructuras en madera son:

- ★ Wood Works. Fundamentado en la norma de análisis ANSI /AF & PA NDS-2005 National Design Specification® (NDS ®) Norteamericana, un manual que reúne todos los elementos necesarios para el análisis de estructuras de madera.
- ★ RSTAB 7.xx con su modulo adicional DOWEL 7.xx. Con soporte para las normativas DIN 1052: 2008-12 y DIN 1052: 1988 (Alemana), SIA 164/HBT2 (Suiza) y ÖNorm B4100/2 (Austriaca).¹

En Colombia, las normas legalmente aceptadas son las Normas Colombianas de análisis y Construcciones Sismo resistentes NSR-10 (Titulo G – Estructuras en madera y estructuras en guadua) y el manual de análisis de maderas del grupo Andino, en las que se especifican las condiciones de análisis y construcción de las uniones en madera, pero no se cuenta con un software que facilite el análisis, basado en estas dos normas.

¹ Ing. Software Dlubal, programa principal RSTAB con modulo adicional DOWEL. <http://www.dlubal.com/es/dowel-7xx.aspx> (Consultado: 25 de Julio de 2012)



En este trabajo, se desarrolló un software libre, apoyado en la Norma NSR- 10 para el análisis de uniones entre elementos de madera pernadas con y sin platina.

1. PROBLEMA

Dificultades en el análisis de uniones para la construcción de uniones pernadas con y sin platinas entre elementos de madera.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En nuestro medio no es muy común la utilización de la madera para construcción de viviendas, debido a la poca oferta y demanda que esta tiene, esto ha implicado que los estudios hacia este tipo de material tengan muy poca evolución, es decir sean poco industrializados en nuestro país.

Para análisis y construcciones en madera, Colombia cuenta con la norma NSR10 específicamente el Título G - Estructuras de madera y estructuras de guadua - , cuyo contenido es la única guía para elaborar análisis de uniones entre elementos de madera, y que cuenta con una serie de tablas que especifican las condiciones de carga, longitud y clase de madera, para determinada unión, con sus respectivas dimensiones de pernos, platinas y clavos.

Esto ha producido que en el momento de elaborar un proyecto para una construcción en madera, se hagan solo análisis basados en la norma para los elementos de madera, más no para las uniones, esto debido a la poca comprensión de las tablas y su manejo engorroso, por lo que se termina haciendo de forma empírica.

Como consecuencia de ello, se termina realizando el trabajo de forma empírica, que conlleva problemas estructurales tales como el descabezamiento de pernos y fallos por compresión y/o tensión, además de problemas de inestabilidad en las estructuras, causadas por cargas de viento y peso propio.



1.2. FORMULACIÓN

- ¿Cómo sistematizar el análisis de las uniones en elementos en madera según la NSR-10?

1.3. OBJETIVOS

General:

- ✓ Garantizar el adecuado análisis de platinas y pernos de las uniones en madera, según la norma NSR-10, a través de un programa computacional.

Específico:

- ✓ Sistematizar los métodos de análisis para uniones en elementos de madera según la NSR-10, desarrollando un software mediante la utilización del lenguaje de programación Java a través del programa NetBeans.

1.4. JUSTIFICACIÓN

En el campo de la ingeniería civil, en cuanto al aspecto estructural se refiere, parte del análisis en madera de pórticos, losas, cerchas, cubiertas, entrepisos y uniones, entre otros, encuentran limitaciones, ya que sus cálculos y gráficos deben hacerse manualmente, lo que implica un mayor tiempo de trabajo y dedicación.

Las empresas dedicadas a la construcción en madera, carpinterías y universidades, deberían contar con programas sistematizados en los métodos de análisis de uniones, ya que de esta manera se garantiza que dichas uniones no presenten problemas.

Con el transcurso de los años los procesos de análisis han ido evolucionando haciendo necesaria la utilización de herramientas sistemáticas de fácil aplicación para realizar los cálculos. Ésta sistematización, sirve como material de apoyo para



los distintos grupos de investigación que trabajan en el área de construcciones en las universidades y en el SENA.

2. MARCO DE REFERENCIA

2.1. ANTECEDENTES

1. Ian Smith, Steven T. Craft, and Pierre Quenneville. Design capacities of joints with laterally loaded nails (Capacidades de análisis de uniones con clavos cargados lateralmente). Vol. 28 Canada, 2001; 282-290 p.

Resumen: Se comparan con los datos determinados experimentalmente la capacidad máxima de las uniones de corte simple y doble. Los experimentos abarcaban una amplia gama de combinaciones de espesores de miembros.

Aporte: se tendrán en la sistematización para ingresarlo como factores de seguridad.

2. José G. Fueyo, José A. Cabezas, Manuel Domínguez y Manuel P. Rubio. Análisis de Tensiones en Uniones de Tres Barras de Cerchas Ligeras de Madera Realizadas con Placas-Clavo. Vol. -20 N° 06 Zamora-España, 2009; 45-56 p.

Resumen: Estudio de las variables más significativas como el porcentaje de esfuerzo transmitido por contacto directo entre piezas que trabajan a compresión, el espesor de la placa, el nivel de cargas y el análisis de la unión.

Aporte: muy importante para describir aspectos más importantes y hacer recomendaciones tanto para el diseñador como para el constructor, para conllevar a un diseño más duradero.

3. Canadian Wood Council (CWC). Software Woodworks. <http://www.cwc.ca/WoodWorks+Software/index.htm> (Consultado: 18 de Octubre de 2010).



2.2. MARCO TEÓRICO

La madera es un material natural que se obtiene de los árboles, y posee propiedades características que la hacen apta para su uso en la construcción y en la fabricación de objetos diversos.

Entre las propiedades de la madera existen ventajas como la facilidad de labrado, la baja densidad, su resistencia mecánica, sus propiedades térmicas y acústicas, y su belleza. Los inconvenientes son la alta combustibilidad, la inestabilidad volumétrica, y su putrefacción.

- **Anisotropía:** la madera es un material anisótropo, o sea que se comporta diferente según la dirección de las fibras. Es más fácil cepillarla en el sentido de las fibras que transversalmente. Con el corte sucede lo opuesto.
- **Resistencia:** la madera posee excelentes cualidades para el trabajo a tracción, debido a su estructura de fibras direccionales. Alcanza el máximo de resistencia cuando la tracción tiene dirección paralela al sentido de las fibras, pero cuando es perpendicular a las fibras, presenta una resistencia mínima. La flexión es un esfuerzo compuesto por dos fuerzas, una de tracción y otra de compresión. En este caso, la madera tiene una resistencia máxima cuando la fuerza actuando es perpendicular a la fibra, y la resistencia mínima es cuando los esfuerzos son paralelos al hilo.
- **Flexibilidad:** la madera acepta ser curvada o doblada mediante calor, humedad, o presión. Es más fácil doblar una madera verde que una seca. Las maderas blandas son más flexibles que las duras.
- **Dureza:** es una de las propiedades de la madera por la cual, la dureza se relaciona directamente con la densidad, a mayor densidad, mayor dureza. Por esto, el centro del tronco es la zona más dura. La dureza disminuye cuando aumenta la humedad.
- **Peso específico o densidad:** depende del contenido de agua de la madera.



- **Conductividad térmica:** en la madera seca, quedan células que perdieron el agua y encierran burbujas de aire que hacen que se comporte como aislante térmico. Es más aislante en el sentido de la fibra, que en el sentido perpendicular a la fibra.
- **Higroscopicidad:** es la capacidad de la madera de absorber humedad del medio ambiente. Hay un punto de equilibrio en el cual el material no acepta ni libera.
- **Humedad ambiente:** Si la humedad ambiente es menor de este punto, la madera se seca, y si es mayor. Si es mayor, la madera se humedece.²

2.2.1 UNIONES ENTRE ELEMENTOS DE MADERA

Las estructuras en madera consisten, en dos o más piezas aisladas que deben ensamblarse para responder a las acciones estructurales de todo el sistema. Estas uniones deben ser lo suficientemente rígidas como para que la deformación total no exceda las admisibles. Para realizar el ensamble en la construcción, se logra la mayoría de veces usando algún dispositivo de acero, como: clavos, tornillos, pernos y sujetadores de metal en hoja.

2.2.1.1 ANÁLISIS DE UNIONES PERNADAS

Para efectos de cálculo de uniones apernadas se considera que las uniones con pernos deben realizarse de manera que exista contacto efectivo entre las piezas unidas, las uniones empernadas se utilizan generalmente cuando las solicitudes sobre una conexión son relativamente grandes, requiriendo por lo tanto el uso de pernos, normalmente acompañados de platinas de acero.

² BRICOLAJE EN MADERA. Propiedades de la Madera [en línea]. <<http://elbricolajeenmadera.50webs.com/propiedades-de-la-madera.htm>> (Consultado: 4 de Noviembre de 2012)

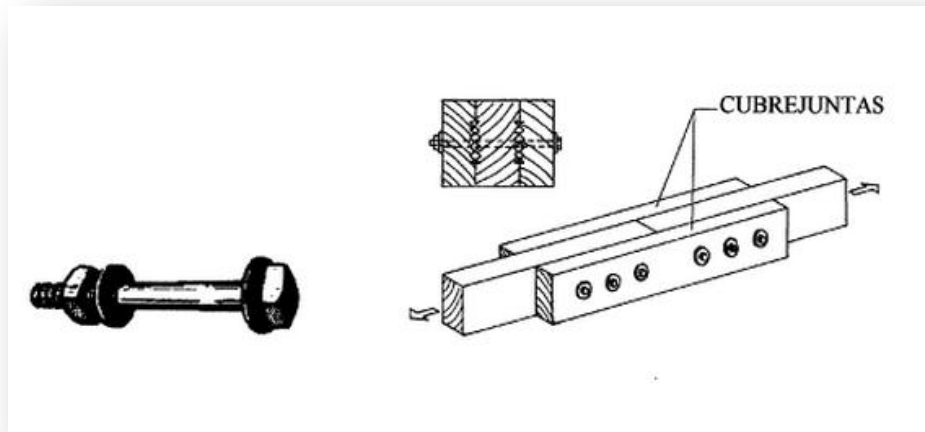


Figura 1. Uniones apernadas.

En este tipo de unión se encuentran varios tipos de esfuerzos entre dos o más elementos (Fig. 2).

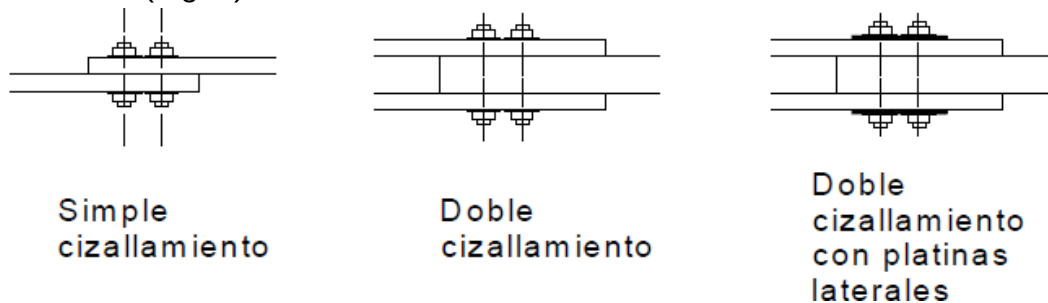


Figura 2. Tipos de esfuerzos entre elementos de madera.

2.2.1.2 ANÁLISIS DE UNIONES CLAVADAS

Es un sistema tradicional que se caracteriza por su sencillez y economía, esta es aplicada a uniones de dos o más elementos de madera estructural. Este tipo de uniones se reservan para solicitaciones relativamente bajas

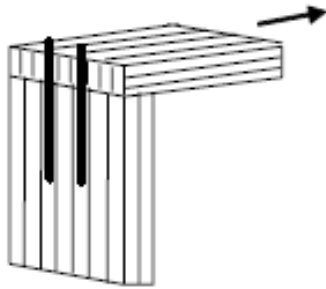


Figura 3. Cortante simple clavo o tope paralelo al rano de la madera que contiene la punta.

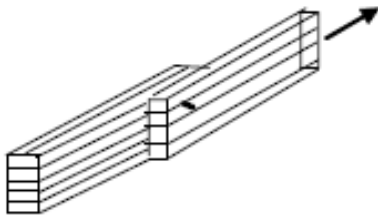


Figura 4. Cortante simple perpendicular al grano.

Los grupos de madera estructural que cumplen las normas de clasificación visual para madera serrada dentro de los parámetros de Estructural Selecta (E.S.), utilizan, para efectos de cálculos, los esfuerzos admisibles y módulos de elasticidad de las siguientes tablas³.

Tabla 1. Esfuerzos Admisibles [Mpa] CH=12%

GRUPO	Fb Flexión	Ft Tensión	Fc Compresión 	Fp Compresión ⊥	Fv Cortante
ES1	29,5	21,0	23,0	6,0	2,0
ES2	28,5	20,0	22,0	4,3	2,0
ES3	23,0	17,0	19,0	3,8	1,6
ES4	17,0	12,0	15,0	2,8	1,5
ES5	15,0	11,0	13,0	2,0	1,1
ES6	12,5	9,0	10,0	1,5	1,3

³ NORMAS COLOMBIANAS DE ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Método de ANÁLISIS Estructural: Esfuerzos Admisibles y Módulos de Elasticidad. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010. 2 h: il. (G-18).



Tabla 2. Modulo de Elasticidad Longitudinal [Mpa] CH=12%

GRUPO	Módulo Promedio E0.5	Módulo Percentil E0.05	5° Módulo Mínimo Emin
ES1	18 000	13 250	7 130
ES2	18 000	13 250	7 130
ES3	14 000	11 000	5 500
ES4	12 500	10 000	5 000
ES5	11 200	8 250	4 435
ES6	9 000	6 500	3 564

Todos los elementos de unión requieren una adecuada protección anticorrosiva, la cual depende del medio ambiente al que queden expuestos.

Tabla 3. Medio Ambiente y Promedio de Corrosión Anual en micras de Galvanización um/año

Humedad relativa media	Medio ambiente ataque tipo	Características	Promedio de corrosión anual um/año
>70 %	1. Industrial - Tipo 1	Atmosfera severamente contaminada con dióxido de azufre y otras sustancias corrosivas	5.6
>70 %	2. Urbano no industrial o Marino - Tipo 2	Atmosfera de ciudad densamente pobladas contaminadas con dióxido de azufre y otros.	1.5
>70%	3. Sub –urbano - Tipo 3	Atmosfera de suburbios menormente poblado con menor grado de contaminación	1.3
<70 %	4. Rural - Tipo 4	Atmosfera propia de estas áreas carentes de contaminación	0.8
<70 %	5. Interiores - Tipo 5	Atmósferas con reducida contaminación	0.5

4

⁴ NORMAS COLOMBIANAS DE ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. ANÁLISIS de Partes Metálicas: Protección Anticorrosiva de Elementos Metálicos. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010. 1 h: il. (G-62).



Las piezas de madera aserradas en las dimensiones requeridas son unidas entre sí para formar componentes. La unión permite la continuidad constructiva y trasmite las fuerzas que actúan entre los elementos, debiendo estas piezas permanecer fijas para conservar la forma original del conjunto⁵.

Los elementos que componen una unión pernada, según la norma colombiana NSR-10 dependiendo de su espesor y densidad básica estos tienen sus respectivas cargas admisibles:

Tabla 4. Cargas Admisible para uniones empernadas con doble cizallamiento

					DB > 0.70		DB > 0.55		DB > 0.40	
							DB > 0.70		DB > 0.55	
L (mm)	d (mm)	d (In)	L/d	lxd (mm ²)	P (N)	Q (N)	P (N)	Q (N)	P (N)	Q (N)
20	6.3	¼"	3.2	127	1.950	880	1.310	580	750	340
	9.5	3/8"	2.1	191	2.970	1.010	1.960	670	1.130	390
	12.7	½"	1.6	254	3.960	1.170	2.610	780	1.510	450
	15.9	5/8"	1.3	318	4.950	1.320	3.260	880	1.880	510
30	6.3	¼"	4.8	189	2.290	1.240	1.790	880	1.130	510
	9.5	3/8"	3.2	285	4.380	1.520	2.940	1.010	1.690	590
	12.7	½"	2.4	381	5.940	1.760	3.920	1.170	2.260	680
	15.9	5/8"	1.9	477	7.430	1.980	4.890	1.320	2.820	770
40	6.3	¼"	6.3	254	2.560	1.440	2.000	1.140	1.280	680
	9.5	3/8"	4.2	381	4.910	2.010	3.860	1.340	2.260	780
	12.7	½"	3.1	508	7.790	2.340	5.220	1.560	3.010	910
	15.9	5/8"	2.6	635	9.900	2.640	6.530	1.750	3.760	1.020
	19,0	¾"	2.1	760	11.880	2.990	7.830	1.990	4.520	1.160
50	9.5	3/8"	5.3	476	5.360	2.260	4.200	1.680	2.680	980
	12.7	½"	3.9	635	8.510	2.930	6.530	1.950	3.760	1.140
	15.9	5/8"	3.1	794	12.170	3.300	8.160	2.190	4.700	1.280
	19,0	¾"	2.6	952	14.850	3.740	9.790	2.480	5.640	1.450
65	9.5	3/8"	6.82	619	5.940	2.600	4.630	2.060	2.970	1.270
	12.7	½"	5.12	825	9.430	3.450	7.390	2.530	4.710	1.480
	15.9	5/8"	4.1	1.032	13.500	4.280	10.610	2.850	6.110	1.660

⁵ MANUAL DE ANÁLISIS PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO. Sistemas Estructurales: Uniones Estructurales. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, Bogotá, 2000. 1 h: il. (4-24).



					DB > 0.70		DB > 0.55		DB > 0.40	
							DB > 0.70		DB > 0.55	
L (mm)	d (mm)	d (In)	L/d	lxd (mm ²)	P (N)	Q (N)	P (N)	Q (N)	P (N)	Q (N)
	19,0	¾"	3.41	1.238	18.090	4.860	12.730	3.230	7.340	1.880
80	9.5	3/8"	8.4	762	6.450	2.890	5.010	2.350	3.180	1.560
	12.7	½"	6.3	1.016	10.240	3.850	7.990	3.030	5.110	1.820
	15.9	5/8"	5.04	1.270	14.650	4.810	11.480	3.510	7.310	2.050
	19,0	¾"	4.2	1.524	19.630	5.950	15.440	3.970	9.030	2.320
90	9.5	3/8"	9.44	858	6.760	3.080	5.230	2.530	3.290	1.690
	12.7	½"	7.09	1.143	10.720	4.090	8.350	3.260	5.350	2.050
	15.9	5/8"	5.69	1.429	15.350	5.120	12.000	3.950	7.660	2.300
	19,0	¾"	4.72	1.714	20.570	6.330	16.140	4.470	10.160	2.610
100	9.5	3/8"	10.5	950	7.040	3.250	5.440	2.700	3.390	1.810
	12.7	½"	7.9	1.270	11.180	4.330	8.690	3.480	5.550	2.270
	15.9	5/8"	6.3	1.590	16.000	5.410	12.480	4.260	7.990	2.560
	19,0	¾"	5.3	1.900	21.440	6.690	16.790	4.970	10.700	2.900

Donde L es la relación que hay entre el espesor de los elementos laterales con el central.

2.2.1.1.2 COEFICIENTE DE REDUCCIÓN POR GRUPO

Cuando una unión requiera más de dos pernos en líneas paralela a la dirección de la carga, la carga admisible será multiplicada por un coeficiente de reducción llamado C_g (coeficiente de reducción por grupo)⁶, de la siguiente manera.

- Para uniones con elementos laterales de madera:

$$C_g = 1.00 - 0.08(n_p - 2)$$

Ecuación 1

⁶ NORMAS COLOMBIANAS DE ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Uniones: Uniones Empernadas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010. 1 h: il. (G-73).



- Para uniones con elementos laterales de acero:

$$C_g = 1.00 - 0.07(n_p - 2)$$

Ecuación 2

n_p = numero de pernos en cada fila

Tabla 5. Coeficiente de reducción por grupo, C_g

CLASE DE UNIÓN	NUMERO DE PERNOS POR LÍNEA				
	2	3	4	5	6
UNIONES CON ELEMENTOS DE MADERA	1.00	0.92	0.84	0.76	0.68
UNIONES CON ELEMENTOS DE ACERO	1.00	0.94	0.87	0.8	0.73

2.2.1.1.3 COEFICIENTE POR DURACIÓN DE CARGA (CD)

Para elementos con solicitudes de cargas diferentes a la normal deberán multiplicarse por los siguientes coeficientes.

Tabla 6. Duración de carga C_D

Duración carga	Flexión F_b	Tensión F_t	Compresión F_c	Compresión ⊥ F_p	Cortante F_v	Típica carga de diseño
Permanente	0.90	0.9	0.90	1.00	0.90	muerta
Diez años	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	viva de ocupación
Dos meses	1.15	1.15	1.15	1.00	1.15	
7 días	1.25	1.25	1.25	1.00	1.25	construcción
Diez minutos	1.60	1.60	1.60	1.00	1.60	viento y terremoto
Impacto	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	Impacto

2.2.1.1.4 COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN POR CONTENIDO DE HUMEDAD (Cm)

Todo tipo de madera contiene una considerable cantidad de agua, comúnmente llamada savia. Las maderas pierden o ganan humedad para alcanzar un estado de



equilibrio con las condiciones del ambiente y este depende de la humedad relativa y temperatura del ambiente.

Tabla 7. Por contenido de humedad C_m

Medio de unión	Condiciones de la madera		Coeficiente de modificación Cm
	Tiempo de fabricación	Tiempo de servicio	
	cargas laterales		
Pernos	≤ 19 %	≤ 19%	1.00
tirafondos, pasantes,	>19%	≤19%	0.40
Clavos	cualquiera	>19%	0.70

2.2.1.1.5 COEFICIENTE DE MODIFICACIÓN POR TEMPERATURA (C_t)

Cada unión tiene un comportamiento variable en su resistencia con respecto a la variación de las condiciones ambientales que se encuentre durante su servicio, para esto el TITULO G de la NSR-10 aporta los coeficientes de reducción para las siguientes condiciones:

Tabla 8. Modificación por temperatura C_t

Condiciones de servicio CH %	Temperatura °C		
	$T \leq 37.8\text{ °C}$	$37.8 < T \leq 51.7\text{ °C}$	$51.7 < T \leq 65\text{ °C}$
CH $\leq 19\%$	1.00	0.80	0.70
CH $> 19\%$	1.00	0.70	0.50

2.2.1.1.6 COEFICIENTE UTILIZACIÓN DE PLATINAS (C_{pl})

Cuando se haga uso de platinas en las uniones, éstas deben ser en acero estructural con un esfuerzo de fluencia no menor a 230 Mpa con su respectiva protección anticorrosiva según lo indica la tabla 3 y un espesor mínimo de 5mm. Al adicionar platinas al análisis de una unión hay un incremento del 25% en la carga admisible solo para las cargas paralelas al grano **P** denotado en la tabla 4.



2.2.1.1.7 CAPACIDAD DE UNA UNIÓN

La capacidad de una unión empernada, esta definida por su capacidad nominal multiplicada por los coeficientes de reducción mencionados anteriormente.

$$P' = PC_D C_t C_{pL} C_g$$

Ecuación 3

$$Q' = PC_D C_t C_{pL} C_g$$

Ecuación 4

P y Q = valores de la tabla 4.

P' y Q' = cargas admisibles modificadas.⁷

Si la carga aplicada sigue la dirección del grano en el elemento central pero forma un ángulo θ con la dirección del grano en los elementos laterales (figura 4), o viceversa (figura 5), la carga admisible N' puede determinarse con la formula de Hankinson:

$$N' = \frac{P'Q'}{P'Sen^2\theta + Q'Cos^2\theta}$$

Ecuación 5

A partir de los valores modificados P' y Q'

⁷ NORMAS COLOMBIANAS DE ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE. Uniones: Uniones Empernadas. Bogotá: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010. 1 h: il. (G-73).

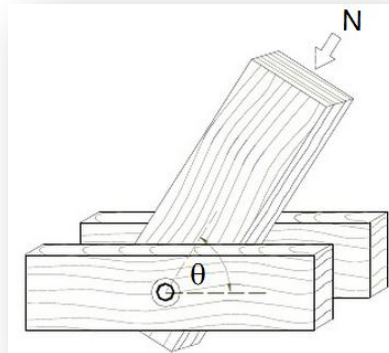


Figura 5. Uniones empernadas, cargas inclinadas con relación al grano con N.

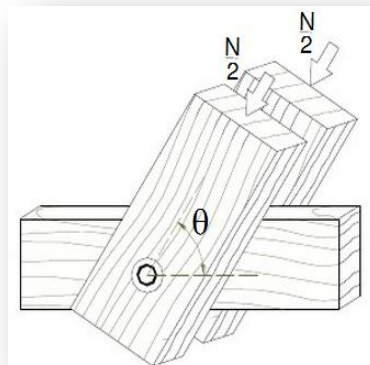


Figura 6. Uniones empernadas, cargas inclinadas con relación al grano con $N/2$.

2.2.1.1.8 ESPACIAMIENTOS ENTRE PERNOS

Las distancias entre pernos y los bordes de los elementos de madera deberán ser suficientes para permitir que cada perno desarrolle toda su capacidad resistente.

**Tabla 9. Distancias entre pernos y bordes de elementos de madera**

Elementos cargados paralelamente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre pernos	$4d$
		Distancia al extremo en tracción	$5d$
		Distancia al extremo en compresión	$4d$
	Perpendicularmente a la dirección del grano	Espaciamiento entre líneas de pernos	$2d$
		Distancia a los bordes	$2d$
Elementos cargados perpendicularmente al grano	A lo largo del grano	Espaciamiento entre líneas de pernos s	$s = 2.5d$
		Para $\leq 2d$	
		Para $\geq 6d$	$s = 5d$
	Perpendicularmente a la dirección del grano.	Para $2 \leq A \leq 6d$	$2.5d \leq s \leq 5d$
		Espaciamiento entre pernos s	$4d$
		Distancia al borde cargado	$4d$
		Distancia al borde no cargado	$2d$

(*) Si el espaciamento entre líneas es mayor de 12.5 cm, es recomendable usar elementos laterales separados para cada fila en las expresiones anteriores:
 d = diámetro del perno

- Compresión

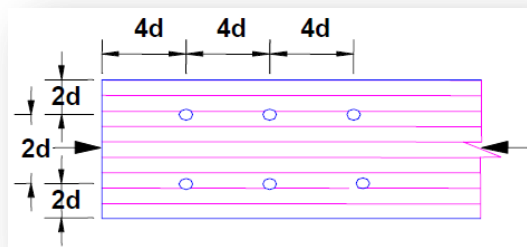
**Figura 7. Distancias mínimas para unión pernada de compresión.**



Tabla 10. Distanciamiento unión pernada cargada paralelamente al grano

Perno		Compresión			
Ø	cm	4d	4d	2d	2d
$\frac{3}{8}$ "	0.95	3.80	3.80	1.90	1.90
$\frac{1}{2}$ "	1.27	5.08	5.08	2.54	2.54
$\frac{5}{8}$ "	1.59	6.36	6.36	3.18	3.18
$\frac{3}{4}$ "	1.90	7.60	7.60	3.80	3.80

- Tracción

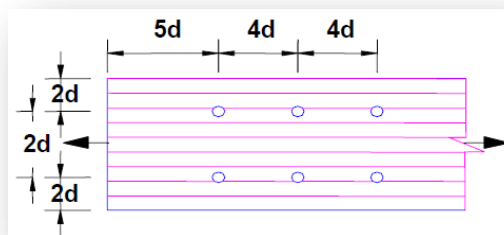


Figura 8. Distancias mínimas para unión pernada de tracción.

Tabla 11. Distanciamiento unión pernada cargada paralelamente al grano

Perno		Tracción			
Ø	cm	5d	4d	2d	2d
$\frac{3}{8}$ "	0.95	4.75	3.80	1.90	1.90
$\frac{1}{2}$ "	1.27	6.36	5.08	2.54	2.54
$\frac{5}{8}$ "	1.59	7.95	6.36	3.18	3.18
$\frac{3}{4}$ "	1.90	9.50	7.60	3.80	3.80



Actualmente se encuentran vigentes dos normas para el análisis de estructuras de madera y para análisis de las uniones entre estos elementos, donde se indican los distintos métodos para diseñar pernos y platinas dependiendo de las solicitudes, las normas citadas anteriormente son el MANUAL DE ANÁLISIS PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO y la NORMAS COLOMBIANAS DE ANÁLISIS Y CONSTRUCCIÓN SISMO RESISTENTE.

Siguiendo entonces las pautas de la norma NSR-10, Titulo G, se presenta a continuación el esquema del proceso de análisis de uniones pernadas con y sin platina, teniendo en cuenta los datos de las Tablas 1- 11:

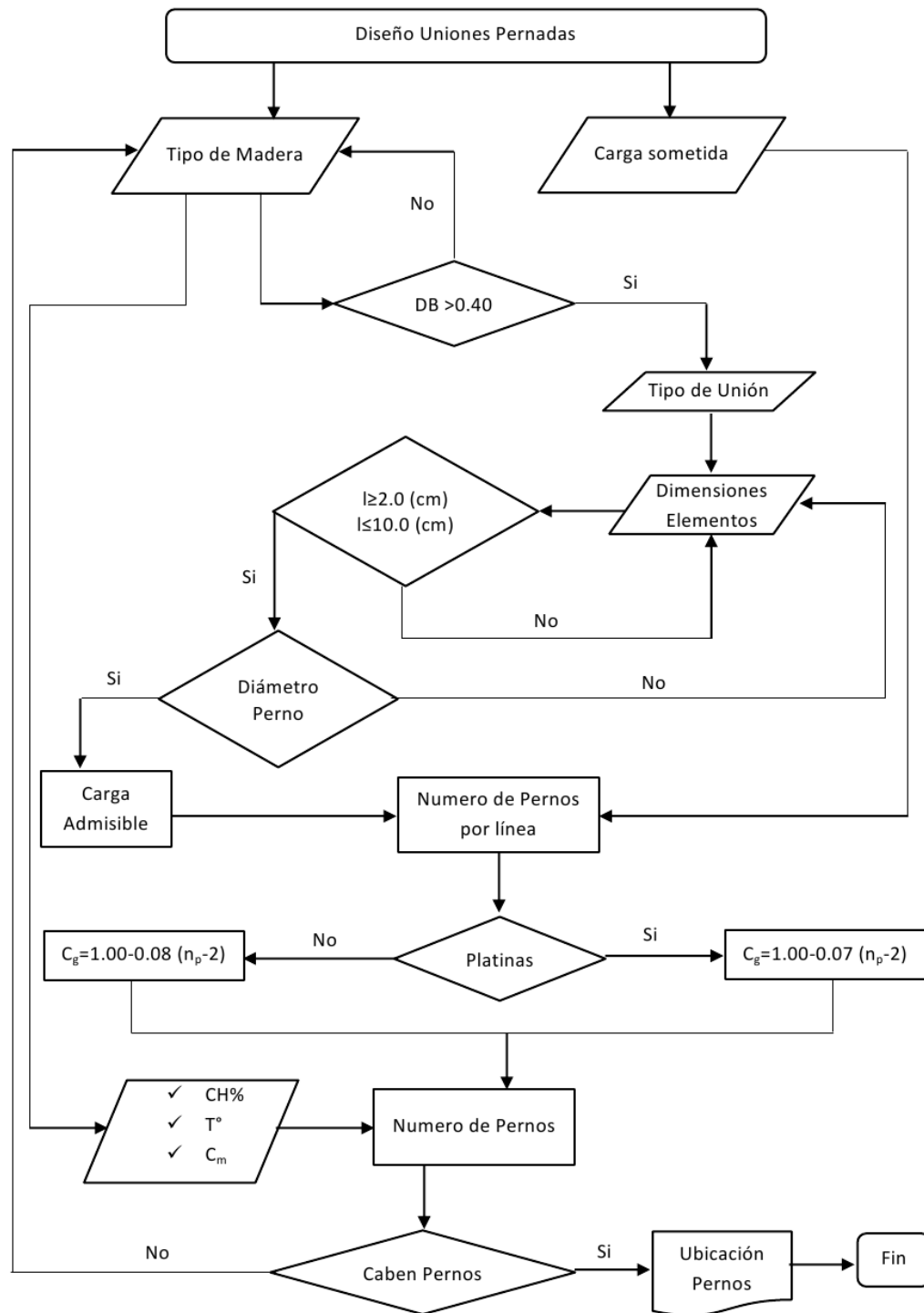


Figura 9. Algoritmo del análisis de uniones pernadas.



3. METODOLOGÍA.

3.1. TIPO DE ESTUDIO

El estudio realizado, consiste en un proyecto de tipo aplicación, enfocado en la creación de un programa computacional, para la sistematización de los métodos de análisis existentes en la norma NSR-10, para el cálculo de pernos y platinas de las uniones en elementos de madera.

3.2. FASES

3.2.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Se partió de la búsqueda de información acerca de métodos de análisis de elementos de madera, dentro de las que se encuentran:

Estados Unidos esta regido por la norma para construcción en madera NDS de 2005, la cual contiene las especificaciones de análisis al nivel nacional.

Colombia está regida por dos métodos de análisis, que son, el Manual de análisis para Maderas del Grupo Andino y la norma Colombiana NSR-10.

3.2.2. SELECCIÓN Y PROGRAMACIÓN

3.2.2.1. LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Java

Java es un lenguaje de programación orientado a objetos desarrollado por Sun Microsystems en 1995. Es la tecnología subyacente que permite el uso de programas punteros, como herramientas, juegos y aplicaciones de negocios. Java se ejecuta en más de 850 millones de ordenadores personales de todo el mundo y en miles de millones de dispositivos, como dispositivos móviles y aparatos de televisión.



Todo comenzó como un proyecto interno de Sun Microsystems en 1990. Los ingenieros de Sun no estaban satisfechos con el rendimiento del lenguaje C++, por lo que James Gosling, Mike Sheridan y Patrick Naughton, junto con otros más, comenzaron a desarrollar un nuevo lenguaje, que en principio pensaron dedicar a la programación de todo tipo de aparatos, tales como microondas, neveras, teléfonos móviles, etc.. Ellos pensaban que éstos generarían muchas e importantes aplicaciones para la tecnología del futuro.

El lenguaje tendría que obviar problemas que presenta C++, en campos tales como la programación distribuida, las aplicaciones multihilo, el manejo de la memoria y ser más sencillo de manejar que C++. Finalmente se deseaba que los programas fueran portables a todo tipo de aparatos.

Inicialmente el lenguaje se llamó Oak este fue presentado a concurso, como solución tecnológica, en varios proyectos para la industria del cine y la televisión, pero no fue elegido. En 1994 John Gage, James Gosling, Bill Joy, Patrick Naughton, Wayne Rosing y Eric Schmidt se reunieron para reorientar Oak. Decidieron orientarlo hacia la tecnología de la Web, pues se pensaba que tras la aparición del navegador Mosaic, ésta evolucionaría hacia la misma clase de interactividad, que la televisión por cable, para la cual habían estado preparando Oak.

Fue asimismo en 1995 cuando se cambió el nombre de Oak a Java. Poco después, aún en 1995, la plataforma Java 1.0, estaba disponible para descarga en la Web.

HERRAMIENTAS PARA DESARROLLO DE APLICACIONES JAVA:

Existen varios editores y diversas herramientas para programar en Java, como Eclipse SDK, JDeveloper, NetBeans, entre otros.

- **Programación Orientada a Objetos**

La programación orientada a objetos es un paradigma de programación que facilita la creación de software de calidad por sus factores que potencian el mantenimiento, la extensión y la reutilización del software generado bajo este



paradigma es realmente un nuevo estilo, el cual, básicamente consiste en definir *clases* y poner a comunicarse o conversar entre sí.⁸

La programación orientada a objetos trata de amoldarse al modo de pensar del hombre y no al de la máquina. Esto es posible gracias a la forma racional con la que se manejan las abstracciones que representan las entidades del dominio del problema, y a propiedades como la jerarquía o el encapsulamiento.

El elemento básico de este paradigma no es la función (elemento básico de la programación estructurada), sino un ente denominado objeto. Un objeto es la representación de un concepto para un programa, y contiene toda la información necesaria para abstraer dicho concepto: los datos que describen su estado y las operaciones que pueden modificar dicho estado, y determinan las capacidades del objeto.

Java incorpora el uso de la orientación a objetos como uno de los pilares básicos de su lenguaje.

- **Los objetos**

Como lenguaje orientado a objetos, este implementa la encapsulación. Este concepto consiste en la ocultación del estado o del dato miembro de un objeto, de forma que sólo es posible modificar los mismos mediante los métodos definidos para dicho objeto.

Se puede definir objeto como el "encapsulamiento de un conjunto de operaciones (métodos) que pueden ser invocados externamente, y de un estado que recuerda el efecto de los servicios". [Piattini et al., 1996].

Un objeto además de un estado interno, presenta una interfaz para poder interactuar con el exterior. Es por esto por lo que se dice que en la programación orientada a objetos "se unen datos y procesos", y no como en su predecesora, la programación estructurada, en la que estaban separados en forma de variables y funciones.

⁸ Flórez Rueda, Roberto. ALGORITMOS, ESTRUCTURAS DE DATOS Y PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS. En: Programación Orientada A Objetos (POO). Introducción. Bogotá D.C.: Ecoe Ediciones, 2005. 307 p.



Cada objeto está aislado del exterior, de forma que la aplicación es un conjunto de objetos que colaboran entre sí mediante el paso de mensajes invocando sus operaciones o métodos.

La encapsulación es una de las principales ventajas que proporciona la programación orientada a objetos.

Un objeto consta de:

- ✓ **Tiempo de vida:** La duración de un objeto en un programa siempre está limitada en el tiempo. La mayoría de los objetos sólo existen durante una parte de la ejecución del programa. Los objetos son creados mediante un mecanismo denominado instanciación, y cuando dejan de existir se dice que son destruidos.
- ✓ **Estado:** Todo objeto posee un estado, definido por sus atributos. Con él se definen las propiedades del objeto, y el estado en que se encuentra en un momento determinado de su existencia.
- ✓ **Comportamiento:** Todo objeto ha de presentar una interfaz, definida por sus métodos, para que el resto de objetos que componen los programas puedan interactuar con él.

El equivalente de un objeto en el paradigma estructurado sería una variable. Así mismo la instanciación de objetos equivaldría a la declaración de variables, y el tiempo de vida de un objeto al ámbito de una variable.

- **Las clases**

Una clase describe a un conjunto de objetos que comparten una estructura y un comportamiento común. Una clase es un modelo o plantilla que indica como será un objeto de dicha clase. En el área de la construcción una clase podría ser el plano de una casa que indica la estructura que debe tener cada una de las casas, y los objetos son la materialización de las casas construidas a partir de dicho plano.⁹

⁹ García Llinas, Luis Fernando. PROGRAMACIÓN BÁSICA ORIENTADA A OBJETOS EN JAVA. En: Tópicos Básicos. Clase. Barranquilla.: Ediciones Uninorte, 2010. 5-7 p.



Los pasos a seguir para la creación de un programa computacional mediante Java, son:

1. Análisis.
2. Interfaz de usuario
3. Definir propiedades de los controles.
4. Generación de códigos asociados a los eventos que incurren en los controles.
5. Generación del código de programa.

3.2.3 VERIFICACIÓN

Una vez concluida la fase 2, se procedió a verificar su funcionamiento, y se comprobó el comportamiento del programa en la instancia de ingresar valores, que se muestra en el literal 3.3.3 PRODUCTO DE LA VERIFICACIÓN, PRUEBA Y ENSAYOS.

3.2.4 RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS Y LA CONSTRUCCIÓN

Terminada la fase de verificación, se elaboró un listado de las capacidades que tiene el programa:

1. Si el contenido de humedad es alto, al efectuarse el montaje de la estructura en cuestión deberán hacerse inspecciones a intervalos no superiores a seis meses hasta verificar que los movimientos por contracciones han dejado de ser significativos.
2. En cada inspección deberán apretarse los elementos de unión hasta lograr un contacto efectivo entre las caras de las piezas unidas.
3. Además se recomienda que todos los elementos metálicos utilizados con madera húmeda tengan un tratamiento anticorrosivo.
4. Las uniones apernadas son particularmente eficientes con maderas de los grupos estructurales con $DB > 0.7$ y $0.55 < DB < 0.7$, pero pueden utilizarse con maderas con $0.40 < DB < 0.55$.
5. Cuando se utilicen piezas metálicas de unión, los agujeros deberán localizarse de manera que queden correctamente alineados con los agujeros correspondientes en las piezas de madera.



6. Se colocará una arandela entre la cabeza o la tuerca del elemento de unión y la madera para evitar esfuerzos de aplastamiento excesivos.
7. Las arandelas podrán omitirse cuando la cabeza o la tuerca del elemento se apoyen directamente sobre una placa de acero.
8. En toda unión empernada que carezca de platinas laterales de acero se deberán utilizar arandelas entre la madera y la cabeza del perno y entre la madera y la tuerca.
9. Los pernos, tuercas y platinas de las conexiones empernadas deberán ser de acero estructural con esfuerzo de fluencia no menor de 230 MPa. El diseñador especificará la calidad del acero de estos elementos.
10. Se debe tener en cuenta que las el coeficiente de duración de carga es el equivalente para 10 años.

3.3. PRODUCTOS

3.3.1 PRODUCTO DE RECOPIACIÓN DE DATOS

Se escogió el método en el cual se basara la sistematización, que será la norma NSR-10.

3.3.2 PRODUCTO DE PROGRAMACIÓN

Como producto se obtuvo un software denominado DUPEMAD 1.0 en medio magnético, que funcionara en computadores con sistema operativo Windows, con aplicaciones JAVA y Adobe Acrobat instaladas, en el que los diseñadores se puedan apoyar para facilitar o corroborar cálculos estructurales de las uniones en los elementos de madera.

De esta manera, el funcionamiento del programa se explica a continuación:



PROGRAMA DUPEMAD 1.0



Figura 10. Icono del programa DUPEMAD 1.0

Al acceder al programa mediante Java se presenta la pantalla de inicio, momento en el cual se cargan las bases de datos e imágenes:

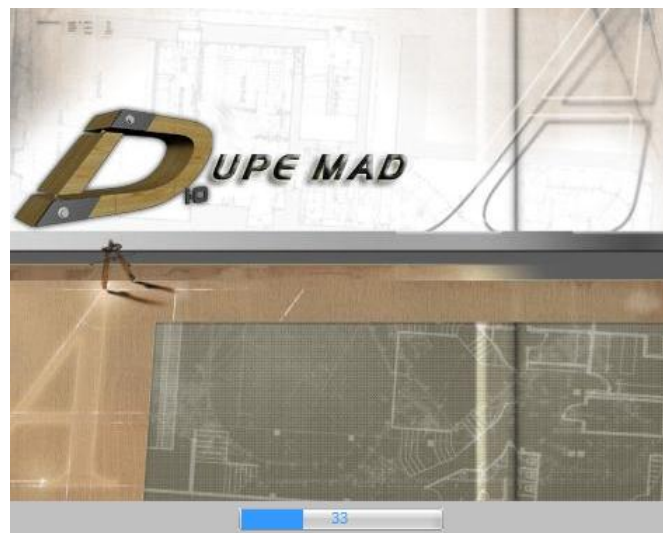


Figura 11. Ventana inicial DUPEMAD 1.0

Posteriormente, se observa la siguiente ventana de dialogo, donde a continuación se procede a dar click en el botón buscar:



Figura 12. Pantalla principal Dupemad1.0.

Seguido, se muestra una lista de los 6 grupos estructurales con su respectiva clasificación de tipos de madera, como indica la norma NRS-10. Para seleccionar tipo de madera deseada, se presiona la pestaña del grupo correspondiente y a continuación se pulsa doble click en el nombre del tipo de madera que se usará en el análisis, como indican las figuras 13 y 14:

Nombre Científico	Nombre Vulgar	DB
LICANIA SP	AMBURE PICHANGILLO	0.766
MYROXYLON BALSAMUN	BALSAMO	0.81
DIPTERYX OLEIFERA	CHOIBA	0.85
ESCHWEILERA PITTIERI	COCO MANTECO	0.744
LECYTHIS SP	COCO MONO	0.751
PLTYMISCIMUM PINNATUM	GUAYACAN TREBOL	0.78
TRIGONIASTRUM SP	MARFIL	0.769
PELTOGYNE PORPHYROCORDIA	NAZARENO	0.89

Figura 13. Grupos estructurales de madera.



Nombre Científico	Nombre Vulgar	DB
COPAIFERA OFFICINALIS	COPAIBA	0.6
PLATYMISCIUM POLYSTACHYWIL	CORAZON FINO	
PENTACLETHRA MACROLOBA	DORMILÓN	0.43
EUCALYPTUS GLOBULUS	EUCALIPTO	0.55
ERISMA UNCINATUM	FLOR MORADO MUERILLO	0.47
CASEARIA OFF SILVESTRIIS	GENEME ESCOBO	0.59
CARAPA GUIANENSIS	GUINO TANGARE	0.49
SYMPHONIA GLOBULIFERA	MACHARE	0.58

DOBLE CLICK EN EL TIPO DE MADERA DESEADO

Figura 14. Grupos estructurales de madera

Al terminar la selección queda el indicador de grupo estructural e inmediatamente se habilita el botón “Tipo de Esfuerzo” (Fig. 15 y 16).

DISEÑO DE UNIONES PERNADAS EN MADERA

Información Inicial

Tipo de Madera: **ES5**

Tipo de Esfuerzo

Ingresar Datos

Mostrar Resultado

Figura 15. Indicador de grupo del cual pertenece

Posteriormente se procede a marcar el tipo de esfuerzo requerido en el análisis:



Figura 16. Botón para seleccionar tipo de esfuerzo

Posteriormente se abre una ventana que muestra figuras de los diferentes tipos de esfuerzo clasificados en “Sin Platina” y “Con Platina” (Fig. 17 y 18), numerados respectivamente de 1 a 22, con el fin de facilitar el análisis de los ensayos de prueba. Seguido se pulsa la ilustración con el tipo de esfuerzo deseado.

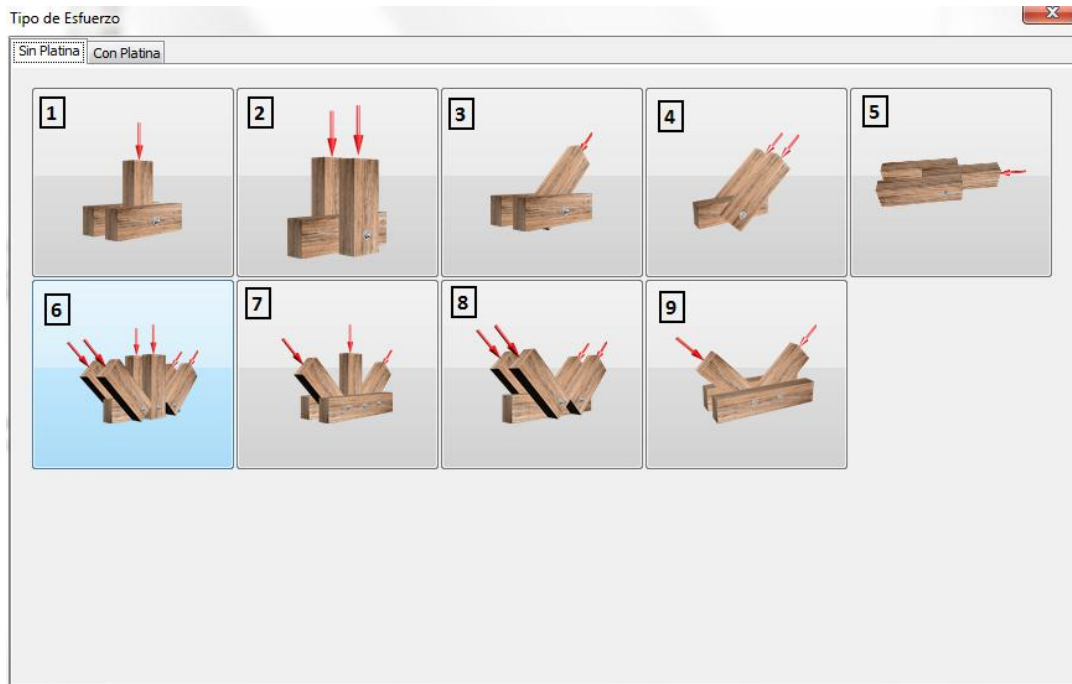


Figura 17. Tipos de esfuerzo sin platina.

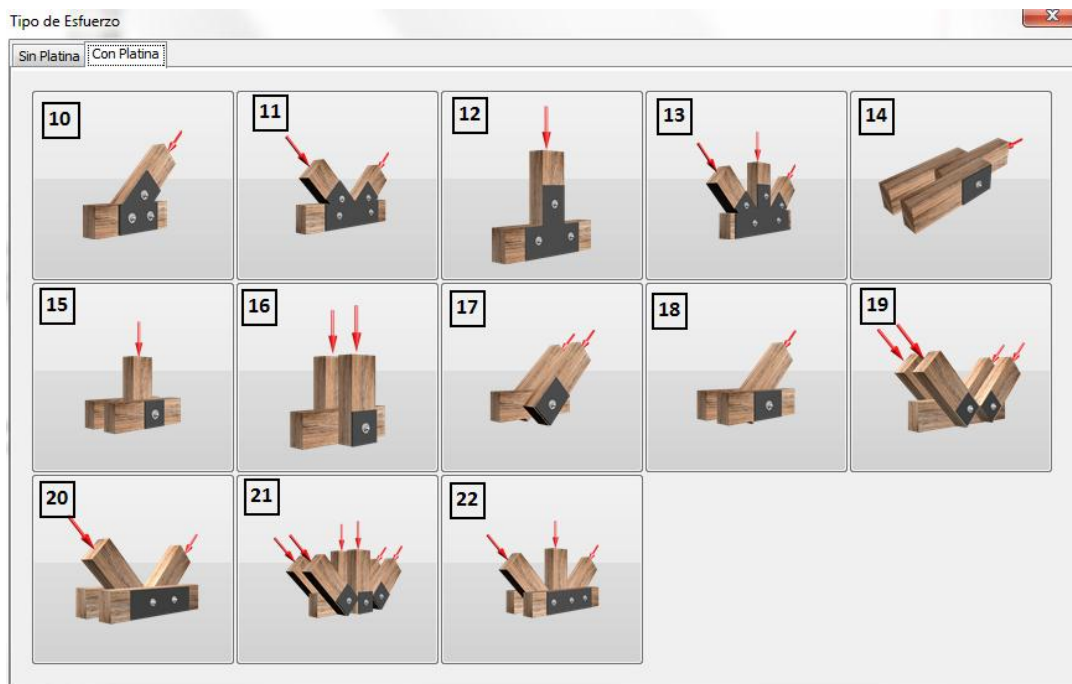


Figura 18. Tipos de esfuerzo con platina.



Seleccionado el tipo de esfuerzo, se habilita el botón “Ingresar Datos” (Fig. 19), que se emplea para colocar los parámetros del análisis.

Figura 19. Tipo de esfuerzo seleccionado

La ventana siguiente muestra dos ilustraciones que indican al usuario las dimensiones respectivas de los elementos que componen la unión. Para la ilustración 1, se tiene el tipo de unión seleccionada indicando y nombrando los elementos que la integran (A, B, C o D), además de las cargas. La ilustración 2 indica las acotaciones en centímetros de cada elemento de la unión.



Tipo de Esfuerzo

1

2

Ángulos

Angulo entre AB (°):

Angulo entre AC (°):

Angulo entre AD (°):

Dimensiones

	E(cm)	H(cm)
A:		
B:		
C:		
D:		

Cargas

Valor carga 1 (kg):

Valor carga 2 (kg):

Valor carga 3 (kg):

Condiciones de la madera

CH(%): ☐ > 19% ☒ ≤ 19%

T(°C):

Dimensión del perno

☐ 1/4"
 ☐ 3/8"
 ☐ 1/2"
 ☐ 5/8"
 ☐ 3/4"

Figura 20. Vistas de esfuerzo seleccionado y esquema general de dimensiones

En la misma ventana se encuentra el formulario para ingresar datos tales como: Ángulos (°), Dimensiones (cm), Cargas (Kg), CH (%) y Temperatura (°C) (Fig. 21).



Tipo de Esfuerzo

Angulos:

Angulo entre AB (°):

Angulo entre AC (°):

Angulo entre AD (°):

Dimensiones:

	E(cm)	H(cm)
A:		
B:		
C:		
D:		

Cargas:

Valor carga 1 (kg):

Valor carga 2 (kg):

Valor carga 3 (kg):

Condiciones de la madera:

CH(%): ☐ > 19% ☒ ≤ 19%

T(°C):

Dimensión del perno:

☐ 1/4" ☐ 3/8" ☐ 1/2" ☐ 5/8" ☐ 3/4"

Figura 21. Campos para ingresar datos

Para llenar los campos adecuadamente, el programa no deja ingresar datos que estén por fuera de los rangos permitidos por él, es decir, los datos que no aplican pues son ilógicos para el análisis.

A continuación se presentan los datos validos para el programa:

- ❖ Ángulos: entre 0° y 90°.
- ❖ Cargas: entre – 20000 Kg y 20000 Kg. (con valores negativos referentes a cargas a tracción y positivos para cargas a compresión).
- ❖ Altura de elementos: entre 3,78 cm y 1000,00 cm
- ❖ Espesor de elementos: entre 2 cm y 30 cm.

Cabe anotar que, según el tipo de unión habrá ciertos campos deshabilitados por defecto ya que no aplican como se indica en la Figura 22.



Tipo de Esfuerzo

Angulos

Angulo entre AB (°):

Angulo entre AC (°):

Angulo entre AD (°):

Dimensiones

	E(cm)	H(cm)
A:		
B:		
C:		
D:		

Cargas

Valor carga 1 (kg):

Valor carga 2 (kg):

Valor carga 3 (kg):

Condiciones de la madera

CH(%): ☐ > 19% ☒ ≤ 19%

T(°C):

Dimensión del perno

☐ 1/4" ☐ 3/8" ☐ 1/2" ☐ 5/8" ☐ 3/4"

CAMPOS DESHABILITADOS POR DEFECTO

CAMPOS A DILIGENCIAR

Figura 22. Campos habilitados y deshabilitados por el programa

Para seleccionar la variable Temperatura se pulsa el botón “Ver” e inmediatamente se presenta una lista con las principales ciudades de Colombia con sus respectivas temperaturas promedio, además de un campo libre para indicar una Temperatura que no se encuentra dentro de las opciones.



Figura 23. Listado de ciudades e indicador para ingresar valor de temperatura

En caso de no diligenciar algún campo, al intentar validarlos con la opción “Guardar”, emergerán avisos de advertencia indicando la ausencia de los datos (Figuras 24-28).

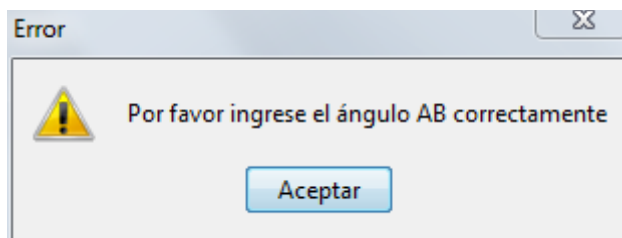


Figura 24. Error al no ingresar ángulo entre elementos.

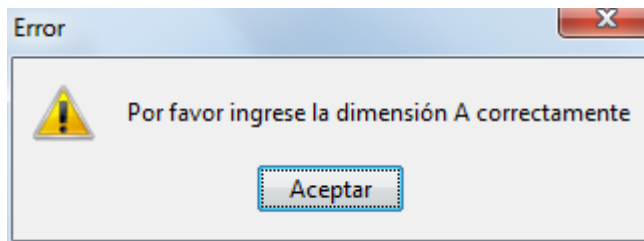


Figura 25. Error al no ingresar dimensión del elemento A.

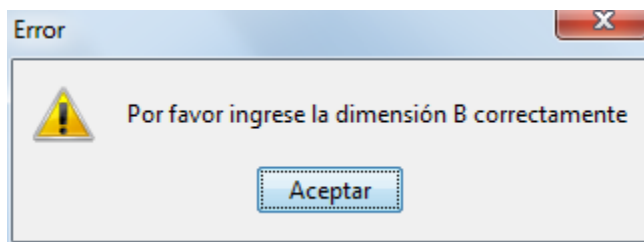


Figura 26. Error al no ingresar dimensión del elemento B.

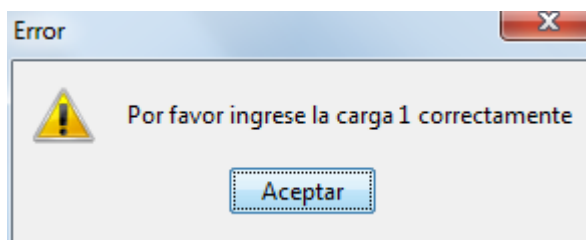


Figura 27. Error al no ingresar carga.

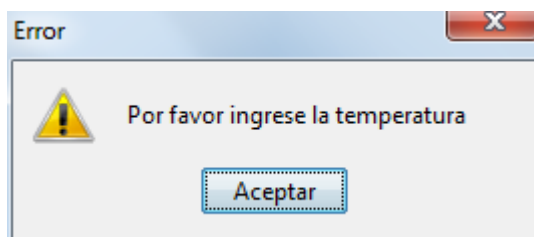


Figura 28. Error al no ingresar temperatura.

Después de diligenciar correctamente los datos se pulsa el botón “Dimensión del perno” que habilita los diámetros dependiendo de los espesores E de los elementos. Se escoge la dimensión requerida.



Tipo de Esfuerzo

Angulos

Angulo entre AB (°):

Angulo entre AC (°):

Angulo entre AD (°):

Dimensiones

	E(cm)	H(cm)
A:	5.0	10.0
B:	7.0	10.0
C:		
D:		

Cargas

Valor carga 1 (kg):

Valor carga 2 (kg):

Valor carga 3 (kg):

Condiciones de la madera

CH(%): ☐ > 19% ☒ ≤ 19%

T(°C): Ver

Dimensión del perno

Dimensión del perno

☐ 1/4" ☐ 3/8" ☐ 1/2" ☐ 5/8" ☐ 3/4"

Figura 29. Dimension de perno a seleccionar

Por último se procede a validar los datos mediante la opción Guardar, que seguido nos dirige a la ventana de inicio, donde el botón “Mostrar Resultado” ya se encuentra habilitado para posteriormente generar un Documento en formato .pdf.

Diseño Uniones Pernadas

DISEÑO DE UNIONES PERNADAS EN MADERA

Información Inicial

Tipo de Madera: ES5

Tipo de Esfuerzo:

Esfuerzo Seleccionado

Figura 30. Boton para generar resultados



El documento .pdf generado arrojará los siguientes datos:

Descripción de la unión:

En este capítulo se muestra la imagen del tipo de unión seleccionado, sus respectivas cargas, uso de platinas si es el caso, el número de líneas de pernos y la distribución de pernos en cada línea.

Descripción de los pernos:

Se especifica la calidad de perno a usar basada en la norma ASTM A-307, donde se proporcionan las respectivas dimensiones del perno y cantidad total utilizada en la unión.

Descripción de las arandelas:

Se especifica la calidad de arandela a usar basada en la norma ASTM A-307, donde se proporciona el diámetro y espesor necesario para el análisis y la cantidad de estas solicitados.

Este capítulo solo aparecerá en caso de que el tipo de unión seleccionado no tenga platina, ya que la función de la arandela es repartir la fuerza en un área mayor.

Descripción de la platina:

Se especifica la calidad de platina a usar basada en la norma ASTM A-307, donde se proporcionan las dimensiones necesarias para el buen funcionamiento de la unión.

Este capítulo solo aparecerá en caso de que el tipo de unión seleccionado tenga platina.

En caso de que se quiera elaborar otro análisis con el mismo tipo de esfuerzo, se presiona el botón “Ingresar Datos” (Fig. 28), el cual nos dirige a la ventana anterior donde al presionar “Limpiar” reiniciara todos los campos (Fig. 29).



Tipo de Esfuerzo

Diagrama de la unión: Muestra una viga horizontal (A) y una viga inclinada (B) unidas por un perno (C). Una flecha roja indica la dirección de la fuerza aplicada.

Ángulos

Angulo entre AB (°):

Angulo entre AC (°):

Angulo entre AD (°):

Dimensiones

	E(cm)	H(cm)
A:		
B:		
C:		
D:		

Cargas

Valor carga 1 (kg):

Valor carga 2 (kg):

Valor carga 3 (kg):

Condiciones de la madera

CH(%): ☐ > 19% ☒ ≤ 19%

T(°C): Ver

Dimensión del perno

☐ 1/4" ☐ 3/8" ☐ 1/2" ☐ 5/8" ☐ 3/4"

Botones: Guardar, Limpiar

Figura 31. Boton para reiniciar valores en los campos

3.3.3 PRODUCTO DE LA VERIFICACIÓN, PRUEBA Y ENSAYOS

Para verificar la exactitud y precisión de los datos arrojados por el programa DUPEMAD 1.0 se realizaron ensayos de prueba comparando estos con los resultados mediante desarrollo manual (Tablas 12 – 77).

De esta forma se conoce el alcance que tiene el software para el análisis de uniones, según el tipo de trabajo al que es sometido.

Prueba Unión 1

Tabla 12. Datos para prueba de unión 1.

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	ø (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,766	24	≤ 19%	3	4	7	7	90	(1/4)	300
2	0,680	11	>19%	4	6,5	11	13	90	(3/8)	700
3	0,594	27	>19%	9	5	14	19	90	(1/2)	1100

Tabla 13. Resultados del análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 1

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Po	PL 1	PL 2
1		144		3	2	1	1,00	1,00	1,00		144		3	2	1
2		206		4	2	2	1,00	1,00	1,00		206		4	2	2
3		195		6	3	3	1,00	1,00	0,92		179,4		7	NO CABEN	

Tabla 14. Resultados del análisis manual para unión 1

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Po	PL 1	PL 2
1		144		3	2	1	1,00	1,00	1,00		144		3	2	1
2		206		4	2	2	1,00	1,00	1,00		206		4	2	2
3		195		6	3	3	1,00	1,00	0,92		179,4		7	NO CABEN	

Prueba Unión 2

Tabla 15. Datos para prueba de unión 2

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	ø (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,492	40	≤19%	10	9	20	16	90	(3/4)	-2000
2	0,740	40	≤19%	10	9	20	16	90	(3/4)	2000
3	0,740	40	≤19%	10	9	20	16	90	(3/4)	4000

Tabla 16. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 2

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2
1		290		4	2	2	0,80	1,00	1,00		232		5	NO CABEN	
2		669		2	1	1	0,80	1,00	1,00		535,2		2	1	1
3		669		3	2	1	0,80	1,00	1,00		535,2		4	2	2

Tabla 17. Resultados del análisis manual para unión 2

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2
1		290		4	2	2	0,80	1,00	1,00		232		5	NO CABEN	
2		669		2	2		0,80	1,00	1,00		535,2		2	2	
3		669		3	2	1	0,80	1,00	1,00		535,2		4	2	2

Prueba Unión 3

Tabla 18. Datos para prueba de unión 3

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	Ø (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,400	25	≤19%	4	8	16	14	38	(3/8)	1500
2	0,400	25	≤19%	4	8	16	14	30	(5/8)	1500
3	0,400	25	≤19%	4	8	50	60	30	(5/8)	6000

Tabla 19. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 3

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7
1			228,2	7	3	3	1					1,00	1,00	0,92			210	8	3	3	2				
2			445,3	4	2	2						1,00	1,00	1,00			445,3	4	2	2					
3			445,3	14		2	2	2	2	2	2	1,00	1,00	1,00			445	14	2	2	2	2	2	2	2

Tabla 20. Resultados del análisis manual para unión 3

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7
1			228,2	7	3	2	2					1,00	1,00	0,92			209,9	8	3	3	2				
2			445,3	4	2	2						1,00	1,00	1,00			445,3	4	2	2					
3			445,3	14	2	2	2	2	2	2	2	1,00	1,00	1,00			445,3	14	2	2	2	2	2	2	2

Prueba Unión 4

Tabla 21. Datos para prueba de unión 4

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,645	18	>19%	4	5,5	30	30	40	(1/4)	10000
2	0,645	18	>19%	4	5,5	60	60	40	(1/4)	10000
3	0,645	18	>19%	4	5,5	30	60	40	(1/2)	10000

Tabla 22. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 4

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10	PL 11	PL 12	PL 13	PL 14	PL 15	PL 16	PL 17
1			153	33	4	4	4	4	4	4	4	4	1								
2			153	33	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
3			265	19	4	4	4	4	3												

Continuación Tabla 22.

Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10	PL 11	PL 12	PL 13	PL 14	PL 15	PL 16	PL 17
1,00	1,00	0,84			128,1	39	5	5	5	5	5	5	5	4									
1,00	1,00	1,00			152,5	33	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
1,00	1,00	0,84			222,6	23	5	5	5	5	3												

Tabla 23. Resultados del análisis manual para unión 4

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10	PL 11	PL 12	PL 13	PL 14	PL 15	PL 16	PL 17
1			153	33	4	4	4	4	4	4	4	4	1								
2			153	33	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
3			265	19	4	4	4	4	3												

Continuación Tabla 23.

Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10	PL 11	PL 12	PL 13	PL 14	PL 15	PL 16	PL 17
1,00	1,00	0,84			128,1	39	5	5	5	5	5	5	5	4									
1,00	1,00	1,00			152,5	33	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
1,00	1,00	0,84			222,6	23	5	5	5	5	3												

Prueba Unión 5

Tabla 24. Datos para prueba de unión 5

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,920	28	>19%	7	6	30	35	180	(1/2)	-7000
2	0,920	28	>19%	7	6	30	35	180	(1/2)	14000
3	0,920	39	>19%	7	6	30	35	180	(1/2)	14000

Tabla 25. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 5

Ensayo	P	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	Ct	CPL	CG	P'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
1	943	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	1,00	1,00	943	8	1	1	1	1	1	1	1	1
2	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1	1,00	1,00	1,00	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1
3	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1	0,70	1,00	1,00	660	22	NO CABEN							

Tabla 26. Resultados del análisis manual para unión 5

Ensayo	P	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	Ct	CPL	CG	P'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
1	943	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	1,00	1,00	943	8	1	1	1	1	1	1	1	1
2	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1	1,00	1,00	1,00	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1
3	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1	0,70	1,00	1,00	660	22	NO CABEN							

Prueba Unión 6

Tabla 27. Datos para prueba de unión 6

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	ED (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	HD (cm)	α AB (°)	α AC (°)	α AD (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)	Carga 3 (Kg)
1	0,810	11	≤19%	5	7	7	7	40	25	25	25	30	90	35	(3/8)	10000	15000	20000
2	0,810	11	≤19%	5	7	7	7	40	25	25	25	30	90	35	(1/2)	10000	15000	20000
3	0,810	11	≤19%	6,5	7	7	7	40	25	25	25	30	90	35	(3/4)	10000	15000	20000

Tabla 28. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 6

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10
AB	1			399,1	13	2	2	2	2	2	2	1			
AC			226		34	4	4	4	4	4	4	4	4	2	
AD				369,3	28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
AB	2			576,5	9	2	2	2	2	1					
AC			293		26	4	4	4	4	4	4	2			
AD				523,2	20	3	3	3	3	3	3	2			
AB	3			1076	5	1	1	1	1	1					
AC			486		16	NO CABEN									
AD				954,3	11	3	3	3	2						

Continuación Tabla 28.

Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10
1,00	1,00	1,00			399,1	13	2	2	2	2	2	2	1			
1,00	1,00	0,8		190		40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1,00	1,00	0,9			339,8	30	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1,00	1,00	1,00			576,5	9	2	2	2	2	1					
1,00	1,00	0,84		246		31	NO CABEN									
1,00	1,00	0,92			481,3	21	3	3	3	3	3	3	3			
1,00	1,00	1,00			1076	5	1	1	1	1	1					
1,00	1,00	0,92			878	12	3	3	3	3						

Tabla 29. Resultados del análisis manual para unión 6

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10
AB	1			399,1	13	2	2	2	2	2	2	1			
AC			226		34	4	4	4	4	4	4	4	4	2	
AD				369,3	28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
AB	2			576,5	9	2	2	2	2	1					
AC			293		26	4	4	4	4	4	4	2			
AD				523,2	20	3	3	3	3	3	3	2			
AB	3			1076	5	1	1	1	1	1					
AC			486		16	NO CABEN									
AD				954,3	11	3	3	3	2						

Continuación Tabla 29.

Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10
1,00	1,00	1,00			399,1	13	2	2	2	2	2	2	1			
1,00	1,00	0,8		190		40	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1,00	1,00	0,9			339,8											
1,00	1,00	1,00			576,5	9	2	2	2	2	1					
1,00	1,00	0,84		246		31	NO CABEN									
1,00	1,00	0,92			481,3	21	3	3	3	3	3	3	3			
1,00	1,00	1,00			1076	5	1	1	1	1	1					
1,00	1,00	0,9			878	12	3	3	3	3						

Prueba Unión 7

Tabla 30. Datos para prueba de unión 7

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	ED (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	HD (cm)	∠ AB (°)	∠ AC (°)	∠ AD (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)	Carga 3 (Kg)
1	0,751	28	≤19%	7	7	7	7	40	35	40	35	33	90	42	(3/8)	7000	-7500	7000
2	0,751	28	≤19%	7	7	7	7	40	35	40	35	33	90	42	(3/8)	13300	14250	13300
3	0,751	28	≤19%	7	7	7	7	40	35	40	35	33	90	42	(1/2)	7000	-7500	7000

Tabla 31. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 7

	Ensayo	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	Ct	CPL	CG	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
AB	1		430,1	17	3	3	3	3	3	2			1,00	1,00	0,92		395,7	18	3	3	3	3	3	3		
AC		260		29	4	4	4	4	4	4	4	1	1,00	1,00	0,84	218		35	5	5	5	5	5	5	5	
AD			377,1	19	3	3	3	3	3	3	1		1,00	1,00	0,92		346,9	21	3	3	3	3	3	3	3	
AB	2		430,1	31	4	4	4	4	4	4	4	3	1,00	1,00	0,84		361,3	37	5	5	5	5	5	5	5	2
AC		260		55	7	7	7	7	7	7	7	6	1,00	1,00	0,60	156		92	NO CABEN							
AD			377,1	36	5	5	5	5	5	5	5	1	1,00	1,00	0,76		286,6	47	6	6	6	6	6	6	6	5
AB	3		622,8	12	2	2	2	2	2	2			1,00	1,00	1,00		622,8	12	2	2	2	2	2	2		
AC		345		22	4	4	4	4	4	2			1,00	1,00	0,84	290		26	4	4	4	4	4	4	2	
AD			530,9	14	2	2	2	2	2	2	2		1,00	1,00	1,00		530,9	14	2	2	2	2	2	2	2	

Tabla 32. Resultados del análisis manual para unión 7

	Ensayo	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	Ct	CPL	CG	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
AB	1		430,1	17	3	3	3	3	3	2			1,00	1,00	0,92		395,7	18	3	3	3	3	3	3		
AC		260		29	4	4	4	4	4	4	4	1	1,00	1,00	0,84	218		35	5	5	5	5	5	5	5	
AD			377,1	19	3	3	3	3	3	3	1		1,00	1,00	0,92		346,9	21	3	3	3	3	3	3	3	
AB	2		430,1	31	4	4	4	4	4	4	4	3	1,00	1,00	0,84		361,3	37	5	5	5	5	5	5	5	2
AC		260		55	7	7	7	7	7	7	7	6	1,00	1,00	0,60	156		92	NO CABEN							
AD			377,1	36	5	5	5	5	5	5	5	1	1,00	1,00	0,76		286,6	47	6	6	6	6	6	6	6	5
AB	3		622,8	12	2	2	2	2	2	2			1,00	1,00	1,00		622,8	12	2	2	2	2	2	2		
AC		345		22	4	4	4	4	4	2			1,00	1,00	0,84	290		26	4	4	4	4	4	4	2	
AD			530,9	14	2	2	2	2	2	2	2		1,00	1,00	1,00		530,9	14	2	2	2	2	2	2	2	

Prueba Unión 8

Tabla 33. Datos para prueba de unión 8

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	∠ AB (°)	∠ AC (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)
1	0,600	24	>19%	8	4	4	35	30	30	23	25	(3/8)	15000	-15000
2	0,600	24	>19%	8	4	4	35	30	15	23	25	(1/2)	15000	-15000
3	0,600	24	>19%	4	2	2	35	30	30	23	25	(1/2)	15000	-15000

Tabla 34. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 8

	Ensayo	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	Ct	CPL	CG	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7
AB	1	427	18	3	3	3	3	3	3		1,00	1,00	0,92	393,0	20	3	3	3	3	3	3	2
AC		417	18	3	3	3	3	3	3		1,00	1,00	0,92	383,4	20	3	3	3	3	3	3	2
AB	2	639	12	3	3	3	3				1,00	1,00	0,92	588,1	13	3	3	3	3	1		
AC		618	13	NO CABEN																		
AB	3	384	20	4	4	4	4	4			1,00	1,00	0,84	322,8	24	4	4	4	4	4	4	
AC		368	21	4	4	4	4	4	1		1,00	1,00	0,76	279,6	27	5	5	5	5	5	2	

Tabla 35. Resultados del análisis manual para unión 8

	Ensayo	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	Ct	CPL	CG	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7
AB	1	427	18	3	3	3	3	3	3		1,00	1,00	0,92	393,0	20	3	3	3	3	3	3	2
AC		417	18	3	3	3	3	3	3		1,00	1,00	0,92	383,4	20	3	3	3	3	3	3	2
AB	2	639	12	3	3	3	3				1,00	1,00	0,92	588,1	13	3	3	3	3	1		
AC		618	13	NO CABEN																		
AB	3	384	20	4	4	4	4	4			1,00	1,00	0,84	322,8	24	4	4	4	4	4	4	
AC		368	21	4	4	4	4	4	1		1,00	1,00	0,76	279,6	27	5	5	5	5	5	2	

Prueba Unión 9

Tabla 36. Datos para prueba de unión 9

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	α AB (°)	α AC (°)	Ø (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)
1	0,460	27	≤19%	5	10	10	30	25	25	20	30	(1/2)	-3000	5000
2	0,460	39	>19%	5	10	10	30	25	25	20	30	(1/2)	-3000	5000
3	0,460	39	>19%	5	10	10	30	25	25	20	30	(1/2)	5700	-9500

Tabla 37. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 9

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4
AB	1			474,8	7	2	2	2	1	1,00	1,00	1,00			474,8	7	2	2	2	1
AC				407,7	13	4	4	4	1	1,00	1,00	0,84			342,5	15	4	4	4	3
AB	2			474,8	7	2	2	2	1	0,70	1,00	1,00			332,3	9	3	3	3	
AC				407,7	13	4	4	4	1	0,70	1,00	0,84			239,7	15	NO CABEN			
	3			474,8	12	3	3	3	3	0,70	1,00	0,92			306	19	NO CABEN			
AC				407,7	24	NO CABEN														

Tabla 38. Resultados del análisis manual para unión 9

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4
AB	1			474,8	7	2	2	2	1	1,00	1,00	1,00			474,8	7	2	2	2	1
AC				407,7	13	4	4	4	1	1,00	1,00	0,84			342,5	15	4	4	4	3
AB	2			474,8	7	2	2	2	1	0,70	1,00	1,00			332,3	9	3	3	3	
AC				407,7	13	4	4	4	1	0,70	1,00	0,84			239,7	15	NO CABEN			
AB	3			474,8	12	3	3	3	3	0,70	1,00	0,92			306	19	NO CABEN			
AC				407,7	24	NO CABEN														

Prueba Unión 10

Tabla 39. Datos para prueba de unión 10

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	∠ AB (°)	ø (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,714	28	≤19%	5	5	25	20	29	(3/8)	950
2	0,714	28	≤19%	5	5	25	20	29	(3/8)	2850
3	0,714	28	≤19%	5	5	25	20	29	(3/8)	11000

Tabla 40. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 10

Ensayo	Elemento	P	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL6	Ct	CPL	CG	P'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL6
1	A		405,3	3	1	1	1				1,00	1,25	1,00		458,3	3	1	1	1			
	B	536		2	1	1					1,00	1,25	1,00	670		2	1	1				
2	A		405,3	7	2	2	2	1			1,00	1,25	1,00		458,3	7	2	2	2	1		
	B	536		6	1	1	1	1	1	1	1,00	1,25	1,00	669		5	1	1	1	1	1	
3	A		405,3	28	5	5	5	5	5	3	1,00	1,25	0,73		334,6	33	6	6	6	6	6	3
	B	536		21	4	4	4	4	4	1	1,00	1,25	0,87	583		19	4	4	4	4	3	

Tabla 41. Resultados del análisis manual para unión 10

Ensayo	Elemento	P	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL6	Ct	CPL	CG	P'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL6
1	A		405,3	3	2	1					1,00	1,25	1,00		458,3	3	2	1				
	B	536		2	2						1,00	1,25	1,00	670		2	2					
2	A		405,3	7	2	2	2	1			1,00	1,25	1,00		458,3	7	2	2	2	1		
	B	536		6	2	2	2				1,00	1,25	1,00	669		5	2	2	1			
3	A		405,3	28	5	5	5	5	5	3	1,00	1,25	0,73		334,6	33	6	6	6	6	6	3
	B	536		21	4	4	4	4	4	1	1,00	1,25	0,87	583		19	4	4	4	4	3	

Prueba Unión 11

Tabla 42. Datos para prueba de unión 11

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	∠ AB (°)	∠ AC (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)
1	0,520	22	≤19%	8	8	8	30	25	25	40	35	(1/2)	6000	7000
2	0,630	28	≤19%	6,5	6,5	6,5	50	20	20	25	33	(1/2)	850	1000
3	0,630	28	≤19%	6,5	6,5	6,5	50	20	20	25	33	(1/2)	1530	1800

Tabla 43. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 11

Ensayo	Elemento	P	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	Ct	CPL	CG	P'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7
1	A1		292,6	21	6	6	6	3				1,00	1,25	0,73		228,9	27	7	7	7	6			
	A2		320,4	22	6	6	6	4				1,00	1,25	0,73		255,4	28	7	7	7	7			
	B	511		12	2	2	2	2	2	2		1,00	1,25	1,00	639,8		10	2	2	2	2	2		
	C	511		14	2	2	2	2	2	2	2	1,00	1,25	1,00	639,8		11	2	2	2	2	2	1	
2	A1		550,2	2	1	1						1,00	1,25	1,00		626,9	2	1	1					
	A2		470,8	3	1	1	1					1,00	1,25	1,00		517,1	2	1	1					
	B	739		2	1	1						1,00	1,25	1,00	923,8		1	1						
	C	739		2	1	1						1,00	1,25	1,00	923,8		1	1						
3	A1		550,2	3	1	1	1					1,00	1,25	1,00		626,9	3	1	1	1				
	A2		470,8	4	1	1	1	1				1,00	1,25	1,00		517,1	4	1	1	1	1			
	B	739		3	1	1	1					1,00	1,25	1,00	923,8		2	1	1					
	C	739		3	1	1	1					1,00	1,25	1,00	923,8		2	1	1					

Tabla 44. Resultados del análisis manual para unión 11

Ensayo	Elemento	P	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	Ct	CPL	CG	P'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7
1	A1		292,6	21	6	6	6	3				1,00	1,25	0,73		228,9	27	7	7	7	6			
	A2		320,4	22	6	6	6	4				1,00	1,25	0,73		255,4	28	7	7	7	7			
	B	511		12	2	2	2	2	2	2		1,00	1,25	1,00	639,8		10	2	2	2	2	2		
	C	511		14	2	2	2	2	2	2	2	1,00	1,25	1,00	639,8		11	2	2	2	2	2	1	
2	A1		550,2	2	2							1,00	1,25	1,00		626,9	2	2						
	A2		470,8	3	2	1						1,00	1,25	1,00		517,1	2	2						
	B	739		2	2							1,00	1,25	1,00	923,8		1	1						
	C	739		2	2							1,00	1,25	1,00	923,8		1	1						
3	A1		550,2	3	2	1						1,00	1,25	1,00		626,9	3	2	1					
	A2		470,8	4	2	2						1,00	1,25	1,00		517,1	4	2	2					
	B	739		3	2	1						1,00	1,25	1,00	923,8		2	2						
	C	739		3	2	1						1,00	1,25	1,00	923,8		2	2						

Prueba Unión 12

Tabla 45. Datos para prueba de unión 12

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	ø (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,920	22	≤19%	5	5	20	15	90	(5/8)	950
2	0,400	22	≤19%	5	5	20	15	90	(5/8)	1425
3	0,400	39	>19%	5	5	20	15	90	(5/8)	1425

Tabla 46. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 12

Ensayo	Elemento	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2
1	A		330		3	2	1	1,00	1,25	1,00		330		3	2	1
	B	1217			1	1		1,00	1,25	1,00	1521,3			1	1	
2	A		128		12	6	6	1,00	1,25	0,73		93,44		16	8	8
	B	470			4	2	2	1,00	1,25	1,00	587,5			3	2	1
3	A		128		12	6	6	0,70	1,25	0,73		65,4		22	11	11
	B	470			4	2	2	0,70	1,25	1,00	411,3			4	2	2

Tabla 47. Resultados del análisis manual para unión 12

Ensayo	Elemento	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2
1	A		330		3	2	1	1,00	1,25	1,00		330		3	2	1
	B	1217			1	1		1,00	1,25	1,00	1521,3			1	1	
2	A		128		12	6	6	1,00	1,25	0,73		93,44		16	8	8
	B	470			4	2	2	1,00	1,25	1,00	587,5			3	2	1
3	A		128		12	6	6	0,70	1,25	0,73		65,4		22	11	11
	B	470			4	2	2	0,70	1,25	1,00	411,3			4	2	2

Prueba Unión 13

Tabla 48. Datos para prueba de unión 13

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	ED (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	HD (cm)	∠ AB (°)	∠ AC (°)	∠ AD (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)	Carga 3 (Kg)
1	0,630	28	≤19%	6,5	6,5	6,5	6,5	50	20	20	20	25	90	33	(1/2)	850	-400	1000
2	0,630	28	≤19%	6,5	6,5	6,5	6,5	50	20	20	20	25	90	33	(1/2)	1530	-720	1800
3	0,400	28	≤19%	4	6,5	6,5	6,5	50	20	20	20	25	90	33	(5/8)	1530	-720	1800

Tabla 49. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 13

Ensayo	Elementos	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5
1	A1			550,2	2	1	1				1,00	1,25	1,00			626,9	2	1	1			
	A2		253		2	1	1				1,00	1,25	1,00		253		2	1	1			
	A3			470,8	3	1	1	1			1,00	1,25	1,00			517,1	2	1	1			
	B	739			2	2					1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
	C	739			1	1					1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
	D	739			2	2					1,00	1,25	1,00	739			1	1				
2	A1			550,2	3	1	1	1			1,00	1,25	1,00			626,9	3	1	1	1		
	A2		253		3	1	1	1			1,00	1,25	1,00		253		3	1	1	1		
	A3			470,8	4	1	1	1	1		1,00	1,25	1,00			517,1	4	1	1	1	1	
	B	739			2	1	1				1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
	C	739			1	1					1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
	D	739			2	1	1				1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
3	A1			254,1	6	2	2	2			1,00	1,25	1,00			285,8	6	2	2	2		
	A2		102		8	2	2	2	2		1,00	1,25	1,00		102		8	2	2	2	2	
	A3			209,3	9	2	2	2	2	1	1,00	1,25	1,00			227	8	2	2	2	2	
	B	376			5	2	2	1			1,00	1,25	1,00	470			4	2	2			
	C	376			2	2					1,00	1,25	1,00	470			2	2				
	D	376			5	2	2	1			1,00	1,25	1,00	470			4	2	2			

Tabla 50. Resultados del análisis manual para unión 13

Ensayo	Elementos	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5
1	A1			550,2	2	2					1,00	1,25	1,00			626,9	2	2				
	A2		253		2	2					1,00	1,25	1,00		253		2	2				
	A3			470,8	3	2	1				1,00	1,25	1,00			517,1	2	2				
	B	739			2	2					1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
	C	739			1	1					1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
	D	739			2	2					1,00	1,25	1,00	739			1	1				
2	A1			550,2	3	2	1				1,00	1,25	1,00			626,9	3	2	1			
	A2		253		3	2	1				1,00	1,25	1,00		253		3	2	1			
	A3			470,8	4	2	2				1,00	1,25	1,00			517,1	4	2	2			
	B	739			2	2					1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
	C	739			1	1					1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
	D	739			2	2					1,00	1,25	1,00	923,8			1	1				
3	A1			254,1	6	2	2	2			1,00	1,25	1,00			285,8	6	2	2	2		
	A2		102		8	2	2	2	2		1,00	1,25	1,00		102		8	2	2	2	2	
	A3			209,3	9	2	2	2	2	1	1,00	1,25	1,00			227	8	2	2	2	2	
	B	376			5	2	2	1			1,00	1,25	1,00	470			4	2	2			
	C	376			2	2					1,00	1,25	1,00	470			2	2				
	D	376			5	2	2	1			1,00	1,25	1,00	470			4	2	2			

Prueba Unión 14

Tabla 51. Datos para prueba de unión 14

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,920	28	>19%	7	6	30	35	180	(1/2)	-7000
2	0,920	28	>19%	7	6	30	35	180	(1/2)	14000
3	0,920	39	>19%	7	6	30	35	180	(1/2)	14000

Tabla 52. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 14

Ensayo	P	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	Ct	CPL	CG	P'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
1	943	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	1,25	1,00	1179	6	1	1	1	1	1	1		
2	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1	1,00	1,25	1,00	1179	12	2	2	2	2	2	2		
3	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1	0,70	1,25	1,00	825,1	17	3	3	3	3	3	2		

Tabla 53. Resultados del análisis manual para unión 14

Ensayo	P	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	Ct	CPL	CG	P'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
1	943	8	1	1	1	1	1	1	1	1	1,00	1,25	1,00	1178,8	6	1	1	1	1	1	1		
2	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1	1,00	1,25	1,00	1178,8	12	2	2	2	2	2	2		
3	943	15	2	2	2	2	2	2	2	1	0,70	1,25	1,00	825,1	17	3	3	3	3	3	2		

Prueba Unión 15

Tabla 54. Datos para prueba de unión 15

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	ø (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,766	24	≤ 19%	3	4	7	7	90	(1/4)	300
2	0,680	11	>19%	4	6,5	11	13	90	(3/8)	700
3	0,594	27	>19%	9	5	14	19	90	(1/2)	1100

Tabla 55. . Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 15

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2
1		144		3	2	1	1,00	1,25	1,00		144		3	2	1
2		206		4	2	2	1,00	1,25	1,00		206		4	2	2
3		195		6	3	3	1,00	1,25	0,94		183		6	3	3

Tabla 56. Resultados del análisis manual para unión 15

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2
1		144		3	2	1	1,00	1,25	1,00		144		3	2	1
2		206		4	2	2	1,00	1,25	1,00		206		4	2	2
3		195		6	3	3	1,00	1,25	0,94		183		6	3	3

Prueba Unión 16

Tabla 57. Datos para prueba de unión 16

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	ø (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,492	40	≤19%	10	9	20	16	90	(3/4)	-2000
2	0,740	40	≤19%	10	9	20	16	90	(3/4)	2000
3	0,740	40	≤19%	10	9	20	16	90	(3/4)	4000

Tabla 58. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 16

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3
1		290		4	2	2		0,80	1,25	1,00		232		5	NO CABEN		
2		669		2	1	1		0,80	1,25	1,00		535		2	1	1	
3		669		3	2	1		0,80	1,25	1,00		535		4	2	2	

Tabla 59. Resultados del análisis manual para unión 16

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3
1		290		4	2	2		0,80	1,25	1,00		232		5	NO CABEN		
2		669		2	2			0,80	1,25	1,00		535		2	2		
3		669		3	2	1		0,80	1,25	1,00		535		4	2	2	

Prueba Unión 17

Tabla 60. Datos para prueba de unión 17

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	ø (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,645	18	>19%	4	5,5	30	30	40	(1/4)	10000
2	0,645	18	>19%	4	5,5	60	60	40	(1/4)	10000
3	0,645	18	>19%	4	5,5	30	60	40	(1/2)	10000

Tabla 61. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 17

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10	PL 11	PL 12	PL 13	PL 14	PL 15	PL 16	PL 17
1			153	33	4	4	4	4	4	4	4	4	1								
2			153	33	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
3			265	19	4	4	4	4	3												

Continuación Tabla 61.

Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10	PL 11	PL 12	PL 13	PL 14	PL 15	PL 16	PL 17
1,00	1,25	0,87			146	35	4	4	4	4	4	4	4	4	3								
1,00	1,25	1,00			168	30	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
1,00	1,25	0,87			245	21	5	5	5	5	1												

Tabla 62. Resultados del análisis manual para unión 17

Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10	PL 11	PL 12	PL 13	PL 14	PL 15	PL 16	PL 17
1			153	33	4	4	4	4	4	4	4	4	1								
2			153	33	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
3			265	19	4	4	4	4	3												

Continuación Tabla 62.

Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10	PL 11	PL 12	PL 13	PL 14	PL 15	PL 16	PL 17
1,00	1,25	0,87			146	35	4	4	4	4	4	4	4	4	3								
1,00	1,25	1,00			168	30	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		
1,00	1,25	0,87			245	21	5	5	5	5	1												

Prueba Unión 18

Tabla 63. Datos para prueba de unión 18

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	HA (cm)	HB (cm)	α AB (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)
1	0,400	25	≤19%	4	8	16	14	38	(3/8)	1500
2	0,400	25	≤19%	4	8	16	14	30	(5/8)	1500
3	0,400	25	≤19%	4	8	50	60	30	(5/8)	6000

Tabla 64. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 18

Ensayo	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	Ct	CPL	CG	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7
1	228,2	7	3	3	1					1,00	1,25	0,94	235,5	7	3	3	1				
2	445,3	4	2	2						1,00	1,25	1,00	490,1	4	2	2					
3	445,3	14	2	2	2	2	2	2	2	1,00	1,25	1,00	490,1	13	2	2	2	2	2	2	1

Tabla 65. Resultados del análisis manual para unión 18

Ensayo	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	Ct	CPL	CG	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7
1	228,2	7	3	2	2					1,00	1,25	0,94	235,5	7	3	3	1				
2	445,3	4	2	2						1,00	1,25	1,00	490,1	4	2	2					
3	445,3	14	2	2	2	2	2	2	2	1,00	1,25	1,00	490,1	13	2	2	2	2	2	2	1

Prueba Unión 19

Tabla 66. Datos para prueba de unión 19

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	∠ AB (°)	∠ AC (°)	∅ (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)
1	0,600	24	>19%	8	4	4	35	30	30	23	25	(3/8)	15000	-15000
2	0,600	24	>19%	8	4	4	35	30	15	23	25	(1/2)	15000	-15000
3	0,600	24	>19%	4	2	2	35	30	30	23	25	(1/2)	15000	-15000

Tabla 67. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 19

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6
AB	1			427,2	18	3	3	3	3	3	3	1,00	1,25	0,94			469,4	16	3	3	3	3	3	1
AC				416,7	18	3	3	3	3	3	3	1,00	1,25	0,94			453,7	17	3	3	3	3	3	2
AB	2			639,2	12	3	3	3	3			1,00	1,25	0,94			695,1	11	3	3	3	2		
AC				618,2	13	NO CABEN																		
AB	3			384,3	20	4	4	4	4	4		1,00	1,25	0,87			382,0	20	5	5	5	5		
AC				367,8	21	4	4	4	4	4	1	1,00	1,25	0,87			361,9	21	4	4	4	4	4	1

Tabla 68. Resultados del análisis manual para unión 19

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6
AB	1			427,2	18	3	3	3	3	3	3	1,00	1,25	0,94			469,4	16	3	3	3	3	3	1
AC				416,7	18	3	3	3	3	3	3	1,00	1,25	0,94			453,7	17	3	3	3	3	3	2
AB	2			639,2	12	3	3	3	3			1,00	1,25	0,94			695,1	11	3	3	3	2		
AC				618,2	13	NO CABEN																		
AB	3			384,3	20	4	4	4	4	4		1,00	1,25	0,87			382,0	20	5	5	5	5		
AC				367,8	21	4	4	4	4	4	1	1,00	1,25	0,87			361,9	21	4	4	4	4	4	1

Prueba Unión 20

Tabla 69. Datos para prueba de unión 20

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	α AB (°)	α AC (°)	Ø (pulg)	Carga 1(Kg)	Carga 2 (Kg)
1	0,460	27	≤19%	5	10	10	30	25	25	20	30	(1/2)	-3000	5000
2	0,460	39	>19%	5	10	10	30	25	25	20	30	(1/2)	-3000	5000
3	0,460	39	>19%	5	10	10	30	25	25	20	30	(1/2)	5700	-9500

Tabla 70. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 20

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4
AB	1			474,8	7	2	2	2	1	1,00	1,25	1,00			559,2	6	2	2	2	
AC				407,7	13	4	4	4	1	1,00	1,25	0,87			398,6	13	4	4	4	1
AB	2			474,8	7	2	2	2	1	0,70	1,25	1,00			391,5	8	2	2	2	2
AC				407,7	13	4	4	4	1	0,70	1,25	0,87			279,1	18	NO CABEN			
AB	3			474,8	12	3	3	3	3	0,70	1,25	0,94			368	16	4	4	4	4
AC				407,7	24	NO CABEN														

Tabla 71. Resultados del análisis manual para unión 20

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4
AB	1			474,8	7	2	2	2	1	1,00	1,25	1,00			559,2	6	2	2	2	
AC				407,7	13	4	4	4	1	1,00	1,25	0,87			398,6	13	4	4	4	1
AB	2			474,8	7	2	2	2	1	0,70	1,25	1,00			391,5	8	2	2	2	2
AC				407,7	13	4	4	4	1	0,70	1,25	0,87			279,1	18	NO CABEN			
AB	3			474,8	12	3	3	3	3	0,70	1,25	0,94			368	16	4	4	4	4
AC				407,7	24	NO CABEN														

Prueba Unión 21

Tabla 72. Datos para prueba de unión 21

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	ED (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	HD (cm)	α AB (°)	α AC (°)	α AD (°)	Ø (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)	Carga 3 (Kg)
1	0,810	11	≤19%	5	7	7	7	40	25	25	25	30	90	35	(3/8)	10000	15000	20000
2	0,810	11	≤19%	5	7	7	7	40	25	25	25	30	90	35	(1/2)	10000	15000	20000
3	0,810	11	≤19%	6,5	7	7	7	40	25	25	25	30	90	35	(3/4)	10000	15000	20000

Tabla 73. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 21

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10
AB	1			399,1	13	2	2	2	2	2	2	1			
AC			226		34	4	4	4	4	4	4	4	4	2	
AD				369,3	28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
AB	2			576,5	9	2	2	2	2	1					
AC			293		26	4	4	4	4	4	4	2			
AD				523,2	20	3	3	3	3	3	3	2			
AB	3			1076	5	1	1	1	1	1					
AC			486		16	NO CABEN									
AD				954,3	11	3	3	3	2						

Continuación Tabla 73.

Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10
1,00	1,25	0,94			449,3	12	2	2	2	2	2	2				
1,00	1,25	0,9		197		39	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
1,00	1,25	0,9			382,5	27	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
1,00	1,25	1,00			641,7	8	2	2	2	2						
1,00	1,25	1,00		255		30	NO CABEN									
1,00	1,25	0,94			536	19	3	3	3	3	3	3	1			
1,00	1,25	1,00			1182	5	1	1	1	1	1					
1,00	1,25	0,94			965,4	11	3	3	3	2						

Tabla 74. Resultados del análisis manual para unión 21

	Ensayo	P	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10
AB	1			399,1	13	2	2	2	2	2	2	1			
AC			226		34	4	4	4	4	4	4	4	4	2	
AD				369,3	28	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1
AB	2			576,5	9	2	2	2	2	1					
AC			293		26	4	4	4	4	4	4	2			
AD				523,2	20	3	3	3	3	3	3	2			
AB	3			1076	5	1	1	1	1	1					
AC			486		16	NO CABEN									
AD				954,3	11	3	3	3	2						

Continuación Tabla 74.

Ct	CPL	CG	P'	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	PL 9	PL 10
1,00	1,25	0,94			449,3	12	2	2	2	2	2	2				
1,00	1,25	0,9		197		39	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3
1,00	1,25	0,9			382,5	27	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
1,00	1,25	1,00			641,7	8	2	2	2	2						
1,00	1,25	1,00		255		30	NO CABEN									
1,00	1,25	0,94			536	19	3	3	3	3	3	3	1			
1,00	1,25	1,00			1182	5	1	1	1	1	1					
1,00	1,25	0,94			965,4	11	3	3	3	2						

Prueba Unión 22

Tabla 75. Datos para prueba de unión 22

Ensayo	DB	T (°C)	%CH	EA (cm)	EB (cm)	EC (cm)	ED (cm)	HA (cm)	HB (cm)	HC (cm)	HD (cm)	α AB (°)	α AC (°)	α AD (°)	ø (pulg)	Carga 1 (Kg)	Carga 2 (Kg)	Carga 3 (Kg)
1	0,751	28	≤19%	7	7	7	7	40	35	40	35	33	90	42	(3/8)	7000	-7500	7000
2	0,751	28	≤19%	7	7	7	7	40	35	40	35	33	90	42	(3/8)	13300	14250	13300
3	0,751	28	≤19%	7	7	7	7	40	35	40	35	33	90	42	(1/2)	7000	-7500	7000

Tabla 76. Resultados de análisis por el programa DUPEMAD 1.0 para unión 22

	Ensayo	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	Ct	CPL	CG	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
AB	1		430,1	17	3	3	3	3	3	2			1,00	1,25	0,94		450,2	16	2	2	2	2	2	2	2	2
AC		260		29	4	4	4	4	4	4	4	1	1,00	1,25	0,87	226,2		31	4	4	4	4	4	4	4	3
AD			377,1	19	3	3	3	3	3	3	1		1,00	1,25	0,94		381,2	19	3	3	3	3	3	3	1	
AB	2		430,1	31	4	4	4	4	4	4	4	3	1,00	1,25	0,87		416,6	32	4	4	4	4	4	4	4	4
AC		260		55	7	7	7	7	7	7	7	6	1,00	1,25	0,66	171,6		83	NO CABEN							
AD			377,1	36	5	5	5	5	5	5	5	1	1,00	1,25	0,80		324,4	41	6	6	6	6	6	6	5	
AB	3		622,8	12	2	2	2	2	2	2			1,00	1,25	1,00		686,6	11	2	2	2	2	2	1		
AC		345		22	4	4	4	4	4	2			1,00	1,25	0,87	300,2		25	4	4	4	4	4	4	1	
AD			530,9	14	2	2	2	2	2	2	2		1,00	1,25	1,00		566,2	13	2	2	2	2	2	2	1	

Tabla 77. Resultados del análisis manual para unión 22

	Ensayo	Q	N	No. Po	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8	Ct	CPL	CG	Q'	N'	No. Pf	PL 1	PL 2	PL 3	PL 4	PL 5	PL 6	PL 7	PL 8
AB	1		430,1	17	3	3	3	3	3	2			1,00	1,25	0,94		450,2	16	2	2	2	2	2	2	2	2
AC		260		29	4	4	4	4	4	4	4	1	1,00	1,25	0,87	226,2		31	4	4	4	4	4	4	4	3
AD			377,1	19	3	3	3	3	3	3	1		1,00	1,25	0,94		381,2	19	3	3	3	3	3	3	1	
AB	2		430,1	31	4	4	4	4	4	4	4	3	1,00	1,25	0,87		416,6	32	4	4	4	4	4	4	4	4
AC		260		55	7	7	7	7	7	7	7	6	1,00	1,25	0,66	171,6		83	NO CABEN							
AD			377,1	36	5	5	5	5	5	5	5	1	1,00	1,25	0,80		324,4	41	6	6	6	6	6	6	5	
AB	3		622,8	12	2	2	2	2	2	2			1,00	1,25	1,00		686,6	11	2	2	2	2	2	1		
AC		345		22	4	4	4	4	4	2			1,00	1,25	0,87	300,2		25	4	4	4	4	4	4	1	
AD			530,9	14	2	2	2	2	2	2	2		1,00	1,25	1,00		566,2	13	2	2	2	2	2	2	1	

Comparando los resultados obtenidos mediante el programa DUPEMAD 1.0 y los obtenidos mediante el tratamiento manual de los datos, se nota que las diferencias entre ellos no son significativamente grandes.

La ubicación de los pernos es el resultado más inexacto a comparación de los otros datos, esto se debe a que la programación del software está ajustada a un método para la ubicación de dichos pernos, no afectando así la cantidad de pernos ni la resistencia de la unión.

Ejemplos de esta diferencia se observan en las pruebas de las uniones 2 (Tablas 16 y 17), 3 (Tablas 19 y 20), 10 (Tablas 40 y 41), 11 (Tablas 43 y 44), 13 (Tablas 49 y 50), 16 (Tablas 58 y 59) y 18 (Tablas 64 y 65).

3.3.4 RECOMENDACIONES

Se recomienda para una próxima versión, incorporar gráficos donde se muestre la ubicación de pernos con sus respectivas dimensiones de platinas y no solo el número de estos, como lo hace esta versión del programa; y además, agregar el método de análisis para uniones clavadas

4. CONCLUSIONES

La aplicación del producto de programación, DUPEMAD 1.0, permitió obtener las siguientes conclusiones, que constituyen conocimiento útil para el área de análisis y construcción en madera:

- ✓ Mediante la utilización del programa DUPEMAD 1.0, se obtuvo una serie de resultados que cumplen con los parámetros de cantidad, calidad y dimensiones de pernos, platinas y arandelas para uniones de madera establecidos en la norma colombiana NSR-10 Título G.
- ✓ Los resultados del análisis utilizando el programa DUPEMAD 1.0 son satisfactorios, pues comparados con los resultados obtenidos mediante el análisis manual no son significativamente diferentes e inclusive en muchos casos son prácticamente idénticos para los dos casos.
- ✓ Aunque en las pruebas de algunos tipos de uniones la distribución de los pernos arrojados por el programa varia con relación al análisis manual, la resistencia de la unión en cualquiera de los casos, refiriéndose al mismo tipo de unión y parámetros, es la misma y no se ve afectada, pues la cantidad, calidad y dimensiones de pernos, platinas y arandelas es igual.

5. REFERENCIAS

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente. NSR-10, Título G – Estructuras de madera y estructuras de guadua. Capítulo G6 Uniones. Bogotá, 2010.
- Corporación Chilena de la madera. La construcción de viviendas en madera (CORMA). Unidad 7: Uniones en la madera. Disponible en: http://www.cttmadera.cl/wp-content/uploads/2007/03/unidad_7-fijaciones_y_union.es.pdf (Consultado: 20 de Diciembre de 2011)
- MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO. Sistemas Estructurales: Uniones Estructurales. JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA. Capítulo 12: Uniones. Bogotá, 2000.
- PARKER, Harry y AMBROSE, James. “Elementos de sujeción para ensamble y accesorios”. Pág:153
- <http://www.awc.org/standards/nds.html> (Consultada: 14 de Diciembre de 2011)
- <http://www.cwc.ca/index.php/en/> (Consultada: 15 de Diciembre de 2011)
- http://www.java.com/es/download/faq/whatis_java.xml (Junio 8 de 2012)
- <http://zarza.usal.es/~fgarcia/doc/tuto2/Index.htm> (Junio 8 de 2012)
- http://es.wikibooks.org/wiki/Programaci%C3%B3n_en_Java/Encapsulamiento (Junio 11 de 2012)
- <http://www.vendo.com.pe/Accesorios/Caracteristicas%20de%20los%20pernos%20imperiales.htm> (Consultada: Junio 2 de 2012)