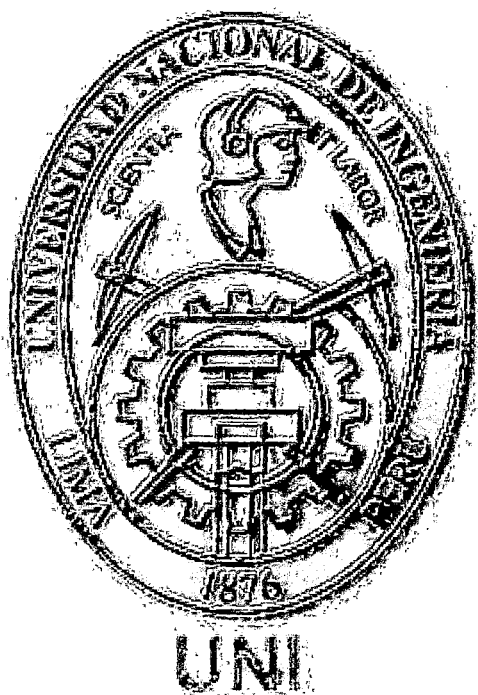


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**UNIONES ESTRUCTURALES CON TIRAFONES EN  
MADERA CAPIRONA (*calycophyllum spruceanum*)**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JANY HURTADO ANGEL**

**LIMA – PERÚ**

**Digitalizado por:**

**2007**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## **AGRADECIMIENTOS**

A todas las personas que me apoyaron desinteresadamente para la realización y sustentación de esta Tesis, a la Ingeniera Isabel Moromi, Dr Hugo Scaletti Farina, al Personal del LEM, Personal Administrativo de la Escuela Profesional, al CITE Madera, y a todos mis amigos que me alentaron a la obtención de esta meta.

## **DEDICATORIA**

A mis Padres por su apoyo incondicional y el haber logrado sacar a sus ocho hijos profesionales con mucha entrega y sacrificio.  
A mis Hermanos por sus consejos constantes y por ser guías permanentes de mi vida.  
A Naura, mi Novia por su aliento total y por estar a mi lado en este momento tan importante de mi vida.

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>INTRODUCCION</b>  | 1  |
| <b>RESUMEN</b>   | 2  |
| <b>CAP I: ANTECEDENTES</b>   | 4  |
| 1.1. La Madera en el Perú  | 4  |
| 1.1.1. La madera como material estructural                               | 7  |
| 1.2. Investigaciones sobre Uniones                                       | 10 |
| 1.3. Factores que afectan el comportamiento de las uniones estructurales | 10 |
| 1.4. Tipos de madera usuales en la Construcción en el Perú               | 13 |
| 1.4.1. Especies Maderables estudiadas en el Perú                         | 14 |
| 1.4.2. Especies Maderables más comercializadas en el Perú                | 17 |
| <b>CAP II: LA CAPIRONA</b>   | 19 |
| 2.1. Aspectos Generales  | 19 |
| 2.1.1. Estructura de la Madera   | 20 |
| 2.1.2. Propiedades Físicas y Mecánicas                                   | 21 |
| 2.2. Descripción de la Madera Capirona                                   | 22 |
| 2.2.1. Características generales de la madera Capirona                   | 23 |
| 2.2.2. Identificación y descripción de la madera Capirona                | 26 |
| <b>CAP III: EL TIRAFON</b>   | 28 |
| 3.1. Definición de Tirafones   | 28 |
| 3.2. Tipos de Tirafones  | 30 |
| 3.3. Características de los Tirafones                                    | 30 |
| 3.4. Perforaciones Guías   | 31 |
| 3.5. Arandelas   | 32 |
| 3.6. Propiedades Mecánicas   | 33 |
| <b>CAP IV: ENSAYOS EN LABORATORIO</b>                                    | 35 |
| 4.1. Métodos y Procedimiento   | 38 |
| 4.1.1. Métodos de Ensayo según Normas ASTM                               | 41 |
| 4.1.2. Materiales y Equipo   | 41 |
| 4.1.3. Número de Probetas por cada tipo de ensayo                        | 46 |
| 4.2. Ensayos para determinar las Propiedades Físicas                     | 48 |
| 4.2.1. Determinación del Contenido de Humedad                            | 48 |
| 4.2.2. Determinación de la Densidad Básica                               | 50 |
| 4.3. Ensayo para Determinar las Propiedades Mecánicas                    | 52 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3.1. Ensayo de Extracción Directa  | 53  |
| 4.3.2. Ensayo de Cizallamiento   | 58  |
| <b>CAP V: ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS</b>                                       | 66  |
| 5.1. Procesamiento de datos obtenidos  | 67  |
| 5.2. Análisis Estadístico de Resultados  | 68  |
| 5.2.2. Análisis de Resultados  | 68  |
| 5.2.3. Síntesis  | 113 |
| 5.3. Comparación con los resultados obtenidos para otras especies                    | 116 |
| <b>CAP VI: DISEÑO ESTRUCTURAL</b>  |     |
| 6.1. Fuerzas admisibles según normas de otros países                                 | 127 |
| 6.2. Recomendaciones para uniones con Tirafones en madera capirona y otras similares | 128 |
| 6.3. Espaciamientos Recomendados   | 129 |
| <b>CONCLUSIONES</b>  | 134 |
| <b>RECOMENDACIONES</b>   | 136 |
| <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | 137 |
| <b>ANEXOS</b>  |     |
| Anexo A: Ensayos Realizados  | 140 |
| Anexo B: Gráficos de Ensayo de Cizallamiento   | 156 |
| Anexo C: Certificado de Calidad – EMPRESA CORONA                                     | 183 |
| Anexo D: Importadora y Distribuidora Vilcanota S.A.                                  | 184 |
| Anexo E: Norma ASTM  | 185 |
| Anexo F: Métodos Extranjeros   | 198 |
| <b>LISTA DE FOTOS</b>  |     |
| Foto 1: Madera Capirona  | 23  |
| Foto 2: Colocación del tirafón   | 29  |
| Foto 3: Tirafones  | 30  |
| Foto 4: Arandelas  | 33  |
| Foto 5: Probetas para ensayos físicos  | 37  |
| Foto 6: Especímenes listos para ensayo de extracción directa                         | 37  |
| Foto 7: Especímenes listos para ensayo de cizallamiento                              | 37  |
| Foto 8: Clasificación visual   | 39  |
| Foto 9: Dimensionamiento de piezas   | 39  |

|  |    |
|--|----|
| Foto 10: Corte y cepillado   | 39 |
| Foto 11: Perforaciones guías   | 40 |
| Foto 12: Colocación de los tirafones                                 | 40 |
| Foto 13: Probetas para ensayo de cizallamiento o corte               | 40 |
| Foto 14: Probetas para ensayo de extracción                          | 41 |
| Foto 15: Vigas de madera capirona                                    | 42 |
| Foto 16: Tirafones usados  | 42 |
| Foto 17: Arandelas usadas  | 43 |
| Foto 18: Maquina universal Amsler                                    | 43 |
| Foto 19: Reloj comparable  | 44 |
| Foto 20: Prensas   | 44 |
| Foto 21: Planchas de acero   | 44 |
| Foto 22: Taladro y herramientas usadas                               | 45 |
| Foto 23: Probeta lista para ensayar                                  | 45 |
| Foto 24: Probetas para ensayo de cizallamiento                       | 46 |
| Foto 25: Probetas para ensayo de extracción directa                  | 46 |
| Foto 26: Horno de secado   | 49 |
| Foto 27: Probetas seleccionadas                                      | 50 |
| Foto 28: Probetas saturándose  | 51 |
| Foto 29: Probetas en el horno  | 51 |
| Foto 30: Probeta seca pesada en la balanza                           | 51 |
| Foto 31: Maquina universal Amsler ensayo extracción directa          | 57 |
| Foto 32: Ensayo de extracción directa                                | 58 |
| Foto 33: Maquina universal Amsler ensayo de cizallamiento            | 63 |
| Foto 34: Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano            | 64 |
| Foto 35: Ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano       | 64 |
| Foto 36: Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano             | 65 |
| Foto 37: Ensayo de cizallamiento doble perpendicular al grano        | 65 |
| Foto 38: Vista en planta de probeta ensayada.                        | 71 |
| Foto 39: Vista Perfil de probeta ensayada.                           | 71 |
| Foto 40: Tirafones cubiertos de grasa.                               | 71 |
| Foto 41: Vista de diferentes direcciones de las fibras de la madera. | 72 |
| Foto 42: Fibra paralela a la dirección del tirafón.                  | 72 |
| Foto 43: Fibra perpendicular a la dirección del tirafón.             | 72 |

|  |     |
|--|-----|
| Foto 44: Probetas inicialmente falladas.   | 73  |
| Foto 45: Probeta ensayada.   | 73  |
| Foto 46: Fibras de madera falladas debido a la carga máxima aplicada.                      | 73  |
| Foto 47: Tirafón falla – rotura total.   |     |
| Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano   | 106 |
| Foto 48: Tirafón falla – rotura parcial.   |     |
| Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano   | 106 |
| Foto 49: Madera falla.   |     |
| Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano   | 107 |
| Foto 50: Tirafón falla – rotura parcial. Ensayo de cizallamiento simple Paralelo al grano  | 107 |
| Foto 51: Tirafón falla – doblado parcial. Ensayo de cizallamiento simple Paralelo al grano | 108 |
| Foto 52: Fallan ambos – Madera (derecha) y Tirafón (izquierda).                            |     |
| Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano   | 108 |
| Foto 53: Falla madera  |     |
| Ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano                                      | 109 |
| Foto 54: Falla tirafón Ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano               | 109 |
| Foto 55: Fallan ambos - madera y tirafón   |     |
| Ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano                                      | 109 |
| Foto 56: Falla tirafón Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano                     | 110 |
| Foto 57: Falla madera en zona mal roscada  |     |
| Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano  | 110 |
| Foto 58: Fallan ambos – madera y tirafón   |     |
| Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano  | 111 |
| Foto 59: Falla tirafón Ensayo de cizallamiento doble perpendicular al grano                | 111 |
| Foto 60: Falla madera en zona mal roscada  |     |
| Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano  | 112 |
| Foto 61: Falla tirafón se dobla  |     |
| Ensayo de cizallamiento doble perpendicular al grano                                       | 112 |

## LISTA DE CUADROS

|   |    |
|---|----|
| Cuadro 1: Perú; Superficie Reforestada y por Reforestar según Departamentos | 06 |
| Cuadro 2: Propiedades Físico – Mecánicas                                    | 09 |

|   |     |
|---|-----|
| Cuadro 3: Propiedades Tecnológicas de Maderas Estudiadas  | 15  |
| Cuadro 4: Dimensiones Mínimas de Arandelas para uniones apernadas Estructurales   | 33  |
| Cuadro 5: Ensayo de Tracción del Tirafón  | 34  |
| Cuadro 6: Características de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos   | 36  |
| Cuadro 7: Ensayos Mecánicos Realizados  | 47  |
| Cuadro 8: Dimensiones de brocas usadas  | 59  |
| Cuadro 9: Calculo estadístico   | 68  |
| Cuadro 10: Resistencia lateral carga al limite de proporcionalidad y Carga máxima a cizallamiento simple paralelo a la fibra                                    | 77  |
| Cuadro 11: Resistencia lateral carga al limite de proporcionalidad y Carga máxima a cizallamiento simple perpendicular a la fibra                               | 86  |
| Cuadro 12: Resistencia lateral - comparación carga al limite de proporcionalidad a cizallamiento simple en paralelo versus perpendicular a la fibra             | 92  |
| Cuadro 13: Resistencia lateral - comparación carga máxima a Cizallamiento simple en paralelo versus perpendicular a la fibra                                    | 95  |
| Cuadro 14: Resistencia lateral carga al limite de proporcionalidad y Carga máxima a cizallamiento doble paralelo a la fibra                                     | 99  |
| Cuadro 15: Resistencia lateral carga al limite de proporcionalidad y Carga máxima a cizallamiento doble perpendicular a la fibra                                | 99  |
| Cuadro 16: Resistencia lateral - comparación carga al limite de proporcionalidad a cizallamiento doble en paralelo versus perpendicular a la fibra              | 101 |
| Cuadro 17: Resistencia lateral - comparación carga máxima a Cizallamiento doble en paralelo versus perpendicular a la fibra                                     | 101 |
| Cuadro 18: Análisis visual de las muestras ensayadas  | 103 |
| Cuadro 19: Resultados de valores de diseño - ensayo de extracción directa en especies maderables estudiadas   | 118 |
| Cuadro 20: Comparación de valores de diseño carga al límite de proporcionalidad ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano especies maderables estudiadas | 122 |



|   |     |
|---|-----|
| Cuadro 21: Comparación de valores de diseño carga al límite de proporcionalidad ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano en especies maderables estudiadas | 125 |
| Cuadro 22: Espaciamientos mínimos para pernos   | 129 |
| Cuadro 23: Espaciamientos mínimos para pernos y tirafones   | 131 |
| Cuadro 24: Valor de diseño de extracción directa permisible   | 133 |
| Cuadro 25: Densidad básica  | 140 |
| Cuadro 26: Contenido de humedad   | 141 |
| Cuadro 27: Extracción directa   | 142 |
| Cuadro 28: Ensayo de cizallamiento  | 145 |

### LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura 1: Planos de Corte  | 13  |
| Figura 2: Principales Especies por Producción Enero-Junio del 2006 (m <sup>3</sup> ) | 18  |
| Figura 3: Estructura de la Madera  | 20  |
| Figura 4: Típica unión utilizando Tirafón  | 28  |
| Figura 5: Esquema - ensayo extracción directa  | 56  |
| Figura 6: Ensayos de cizallamiento realizados  | 60  |
| Figura 7: Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas paralelas al grano.            | 130 |
| Figura 8: Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas perpendiculares al grano       | 130 |
| Figura 9: Carga paralela al grano  | 131 |
| Figura 10: Carga perpendicular al grano  | 132 |
| Figura 11: Carga perpendicular al grano  | 132 |

### LISTA DE GRAFICOS

|  |    |
|--|----|
| Grafica 1: Comportamiento del ensayo de extracción carga máxima vs diámetro Profundidad constante        | 69 |
| Grafica 2: Comportamiento del ensayo de extracción carga máxima vs diámetro Comparación de profundidades | 70 |
| Grafica 3: Comportamiento de la unión  | 74 |
| Grafica 4: Curva de ajuste al límite proporcional  | 75 |

|  |    |
|--|----|
| Grafica 5: Relación espesor pieza lateral/diámetro versus carga admisible en el límite proporcional - diámetro variable Cizallamiento simple paralelo a la fibra | 78 |
| Grafico 6: Relación espesor pieza lateral/diámetro versus carga admisible en el límite de proporcionalidad cizallamiento simple paralelo a la fibra              | 79 |
| Grafico 7: Relación espesor pieza lateral/diámetro versus carga máxima cizallamiento simple paralelo a la fibra  | 80 |
| Grafica 8: Comparación carga en el límite de proporcionalidad versus carga máxima cizallamiento simple paralelo al grano   | 81 |
| Grafico 9: Relación espesor pieza lateral/diámetro versus deformación en el límite de proporcionalidad cizallamiento simple paralelo a la fibra                  | 82 |
| Grafico 10: Relación espesor pieza lateral/diámetro versus deformación en la carga máxima cizallamiento simple paralelo a la fibra                               | 83 |
| Grafica 11: Comparación deformación en el limite de proporcionalidad v/s deformación máxima cizallamiento simple paralelo al grano                               | 84 |
| Grafico 12: Comparación capirona, quinilla y tornillo cizallamiento simple perpendicular a la fibra  | 87 |
| Grafico 13: Relación espesor pieza lateral/diámetro versus carga admisible en el límite de proporcionalidad cizallamiento simple perpendicular a la fibra        | 88 |
| Grafico 14: Relación espesor pieza lateral/diámetro versus carga máxima cizallamiento simple perpendicular a la fibra  | 89 |
| Grafica 15: Comparación carga en el límite de proporcionalidad v/s carga máxima cizallamiento simple perpendicular al grano                                      | 90 |
| Grafico 16: Comparación deformación en el límite de proporcionalidad v/s deformación máxima cizallamiento simple perpendicular al grano                          | 91 |
| Grafico 17: Comparación de carga al límite de proporcionalidad a cizallamiento simple en paralelo versus perpendicular a la fibra                                | 93 |
| Grafico 18: Comparación de carga al límite de proporcionalidad a cizallamiento simple en paralelo versus perpendicular a la fibra                                | 94 |
| Grafico 19: Comparación de carga máxima a cizallamiento simple en paralelo versus perpendicular a la fibra   | 96 |
| Grafico 20: Comparación de carga máxima a cizallamiento simple en paralelo versus perpendicular a la fibra   | 97 |

---

|   |     |
|---|-----|
| Grafico 21: Comparación carga en el límite de proporcionalidad con la carga máxima cizallamiento doble paralelo al grano      | 100 |
| Grafico 22: Comparación carga en el límite de proporcionalidad con la carga máxima cizallamiento doble perpendicular al grano | 100 |
| Grafico 23: Comparación carga al límite de proporcionalidad a cizallamiento doble en paralelo versus perpendicular a la fibra | 102 |
| Grafico 24: Comparación carga máxima a cizallamiento doble en paralelo versus perpendicular a la fibra                        | 102 |
| Grafico 25: Comportamiento de la capirona respecto de otras especies estudiadas - ensayo de extracción directa                | 119 |
| Grafico 26: Comparación de las especies estudiadas ensayo de extracción directa – valores de diseño                           | 120 |
| Grafico 27: Comparación de las especies estudiadas ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano                           | 123 |
| Grafico 28: Comparación de las especies Capirona – Quinilla ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano                  | 124 |
| Grafico 29: Comparación de las especies Capirona – Quinilla ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano             | 126 |

## INTRODUCCION

Hasta la fecha, las construcciones en madera no poseen un uso comercial relevante en nuestro país, más aún teniendo en cuenta que este recurso existe en forma abundante en una extensión territorial de más de 65 000 000 hectáreas de bosques tropicales y sobre todo siendo un recurso renovable. Esta situación se debe a diferentes factores, algunos de los más importantes son la poca información y difusión sobre las construcciones en madera, la limitada capacitación de personal técnico, así como la escasa inversión tanto interna como externa para su aprovechamiento.

Para la realización de construcciones en madera es de vital importancia el estudio de las uniones estructurales, los cuales son esenciales para el correcto desarrollo constructivo de módulos en madera.

El presente trabajo trata de una especie maderable que existe en gran cantidad en los departamentos de Amazonas, Huánuco, Loreto, Ucayali, Madre de Dios y San Martín, conocida comúnmente con el nombre de CAPIRONA y que el Departamento de Manejo Forestal, Sección Dendrológica de la Universidad Nacional Agraria de la Molina, ha identificado con el nombre científico de *calycophyllum spruceanum* (Benth) Hook.

Este trabajo comprende la investigación y determinación de sus propiedades físico – mecánicas, resistencia a la extracción directa y cizallamiento en uniones estructurales con tirafones, con el propósito de determinar su comportamiento estructural, o su aprovechamiento en la construcción en general, para posteriormente asignarle los usos más favorables.

Las uniones estructurales tienen como finalidad unir diferentes elementos para lograr un conjunto complejo, o longitudes mayores que las piezas disponibles. Las principales uniones estructurales están fabricadas con tirafones, pernos, clavos, placas metálicas, entre otros, siendo las uniones con clavos las más fáciles de realizar. La mayoría de las uniones en construcción "liviana" se hacen con clavos, los cuales no tienen las mismas ventajas en construcciones

con especies de propiedades físicas y mecánicas muy diferentes. Por ejemplo, especies con densidades elevadas resultan poco trabajables en uniones clavadas, por lo que se utilizan los pernos, pero hay casos en los que son difíciles de colocarlos por lo que una alternativa es el uso de tirafones.

Según referencias de E.E.U.U. los tirafones son comúnmente usados para estos fines, poseen puntas agudas y los hilos de rosca gruesos son diseñados para penetrar y para agarrar la fibra de madera alcanzando una alta resistencia con una colocación especializada pueden resultar más eficientes que las diferentes uniones ya mencionadas en construcciones con especímenes de alta densidad y resistencia.

La importancia de este estudio radica en conocer las propiedades físicas y mecánicas de la madera Capirona, para ello los ensayos de las propiedades físicas fueron realizados según normas INDECOPÍ y para las propiedades mecánicas las recomendaciones dadas por las especificaciones de la A.S.T.M.

Se espera que el presente trabajo contribuya a incentivar el estudio de las uniones con tirafones como una alternativa en la construcción de madera, ya sea Capirona, Quinilla u otras que cumplan los requerimientos indicados, así como alentar los trabajos de investigación con otros especímenes maderables que posean características idóneas para la construcción, y así poder encontrar valores adecuados de diseño en uniones con tirafones en nuestro país.

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo analizar el comportamiento de las uniones estructurales con tirafones en maderas de alta resistencia como es la Capirona (*calycophyllum spruceanum*), encontrando sus propiedades mecánicas y comprobando sus propiedades físicas, las cuales la caracterizan como un material resistente; para ello la presente investigación consta de 6 capítulos.

En el Capítulo I indica a rasgos generales la situación actual de la madera en el Perú; de la misma manera se describe a la madera como un material estructural, los tipos de madera más usuales en la construcción y una breve síntesis de las investigaciones sobre uniones realizadas en nuestro país.

En el Capítulo II trata de las características y propiedades de la madera Capirona, procedimientos considerados para su identificación y diferencias con otras especies maderables.

En el Capítulo III define lo que es el tirafón, sus características, propiedades mecánicas y además las recomendaciones que se tienen que considerar para utilizarlos correctamente en las uniones de madera.

En el Capítulo IV se presentan las normas a seguir, y se describen los ensayos realizados para encontrar las propiedades, tanto físicas como mecánicas.

En el Capítulo V se muestran los ensayos realizados en el laboratorio de la UNI (LEM), se analizan las propiedades físicas y mecánicas y se comparan con estudios realizados anteriormente con otras especies.

En el Capítulo VI se presentan algunos métodos de diseño en uniones con tirafones realizados en otros países. Así mismo indica recomendaciones para las uniones con tirafones y por último los espaciamientos recomendados en las uniones.

# CAPITULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1. LA MADERA EN EL PERU

Los primeros materiales de construcción que la naturaleza proporcionó al hombre primitivo cuando salió de las cavernas fueron la madera, la tierra y la piedra. Después de diez mil años estos mismos materiales siguen usándose, en algún lugar del mundo, con las mismas técnicas de entonces, mientras que en la mayor parte de nuestro planeta los modernos procesos de construcción obtienen de ellos el mejor provecho, en competencia con los derivados del cemento, los metales o los plásticos. De los tres materiales arcaicos, la madera ha mantenido la preferencia del constructor a través de los siglos por las múltiples ventajas que ofrece, y es seguro que con el transcurso del tiempo seguirá conservando su vigencia.

El Perú ocupa el segundo lugar en extensión boscosa en América del Sur y el séptimo lugar en el mundo; sin embargo en el ámbito nacional, el sector forestal no refleja la importancia debida con generación de divisas y de empleo sobre la clara ventaja comparativa que ofrece el sector.

Según la Dirección General Forestal y de Fauna (DGFF), la superficie boscosa del Perú tiene aproximadamente 73 millones de ha de bosques tropicales, que corresponden a poco más del 57% de la superficie total del país. Se estima que de estos 73 millones de ha sólo 46.4 millones son de vocación para la producción forestal permanente y pueden considerarse comerciales por ser accesibles y contar con volúmenes y calidades de madera que justifiquen su explotación. Además, hay que incluir 6.9 millones de ha en la sierra y selva

peruana aptas para plantaciones forestales. En total los 53.3 millones de ha con potencial actual y futuro para la producción forestal permanente representando el 42% de la superficie total del país.

Las estadísticas del consumo anual de madera a nivel de Latinoamérica, provenientes de la FAO (Food Agricultura Organization of the United Nations), indican para la región algo así como 1.6m<sup>3</sup> por habitante, en promedio, pero para el Perú señalan menos de 0.6m<sup>3</sup> por habitante, que viene a ser uno de los consumos más bajos.

En realidad resulta paradójico que un país como el Perú, que tiene casi las dos terceras partes de su territorio bajo cubierta forestal, tenga tan bajo consumo de madera por habitante, más aún si analizamos la milenaria vocación artesanal de nuestros pueblos, y que nuestra cultura y costumbres son muy similares a las de los otros pueblos latinoamericanos, que por el contrario le dan mayor importancia a este valioso recurso.

En el CUADRO 1 se observa la preocupante diferencia entre la superficie reforestada y la superficie que falta reforestar de nuestro país en el año 2005.



**Cuadro 1: PERÚ; SUPERFICIE REFORESTADA Y POR REFORESTAR  
SEGÚN DEPARTAMENTOS, AÑO 2005**

| DEPARTAMENTO  | SUPERFICIE TERRITORIAL (ha) | TIERRAS APTAS PARA REFORESTACION (ha) | SUPERFICIE REFORESTADA HASTA EL 2005 (ha) | SUPERFICIE POR REFORESTAR (ha) |
|---------------|-----------------------------|---------------------------------------|---|--------------------------------|
| Amazonas      | 4,129,700.00                | 305,100.00                            | 9,406.62                                  | 295,693.38                     |
| Ancash        | 3,666,900.00                | 554,016.00                            | 68,296.99                                 | 485,719.01                     |
| Apurimac      | 2,055,000.00                | 78,300.00                             | 62,597.86                                 | 15,702.14                      |
| Arequipa      | 6,352,800.00                | 360,200.00                            | 7,630.21                                  | 352,569.79                     |
| Ayacucho      | 4,418,100.00                | 539,400.00                            | 55,517.21                                 | 483,882.79                     |
| Cajamarca     | 3,493,000.00                | 790,000.00                            | 84,902.27                                 | 705,097.73                     |
| Cusco         | 7,632,900.00                | 1,414,582.00                          | 106,051.27                                | 1,308,530.73                   |
| Huancavelica  | 2,107,900.00                | 62,000.00                             | 36,012.98                                 | 25,987.02                      |
| Huanuco       | 3,409,400.00                | 660,000.00                            | 36,013.31                                 | 623,986.69                     |
| Ica           | 2,125,100.00                | 25,400.00                             | 2,749.01                                  | 22,650.99                      |
| Junin         | 4,129,600.00                | 1,010,291.00                          | 62,493.76                                 | 947,797.24                     |
| La Libertad   | 2,324,100.00                | 352,500.00                            | 37,217.34                                 | 315,282.66                     |
| Lambayeque    | 1,372,700.00                | 82,300.00                             | 18,542.47                                 | 63,757.53                      |
| Lima          | 3,396,900.00                | 452,600.00                            | 12,636.22                                 | 439,963.78                     |
| Loreto        | 37,902,500.00               | 659,900.00                            | 23,479.87                                 | 636,420.13                     |
| Madre de Dios | 7,840,300.00                | 512,100.00                            | 8,467.01                                  | 503,632.99                     |
| Moquegua      | 1,570,900.00                | 128,100.00                            | 2,882.08                                  | 125,217.92                     |
| Pasco         | 2,403,600.00                | 522,511.00                            | 14,999.75                                 | 507,511.25                     |
| Piura         | 3,640,300.00                | 89,700.00                             | 39,034.15                                 | 50,665.85                      |
| Puno          | 7,238,200.00                | 1,120,400.00                          | 32,979.03                                 | 1,087,420.97                   |
| San martin    | 5,230,900.00                | 435,700.00                            | 18,177.65                                 | 417,522.35                     |
| Tacna         | 1,523,200.00                | 24,900.00                             | 4,944.40                                  | 19,955.60                      |
| Tumbes        | 473,200.00                  | 100,100.00                            | 3,979.51                                  | 96,120.49                      |
| Ucayali       | 10,083,100.00               | 219,900.00                            | 31,889.99                                 | 188,010.01                     |
| <b>TOTAL</b>  | <b>128,520,300.00</b>       | <b>10,500,000.00</b>                  | <b>780,900.96</b>                         | <b>9,719,099.04</b>            |

**Fuente: INRENA, Forestal y Fauna Silvestre, Centro Información Forestal, Perú  
Forestal en Números 2005**

### **1.1.1. LA MADERA COMO MATERIAL ESTRUCTURAL**

La madera es un material de estructura compleja y de carácter anisótropo, que forma parte del tejido leñoso de los árboles, el cual es muy diferente a otros materiales estructurales.

A diferencia de muchos materiales de construcción, la madera no es un material elaborado, sino orgánico, que generalmente se usa en estado natural. De los numerosos factores que influyen en su resistencia, los más importantes son: la densidad, los defectos naturales, la humedad.

Para que la madera se considere estructural debe satisfacer las siguientes condiciones:

- ❖ Debe ser madera proveniente de las especies forestales consideradas adecuadas para construir y que se presenten agrupadas en tres grupos estructurales.
- ❖ Deben ser piezas de maderas con dimensiones apropiadas según normas realizadas y estudios desarrollados en el tema.
- ❖ Así como también debe de ser clasificado como de calidad estructural, para lo cual debe de cumplir con la Norma de Clasificación Visual por Defectos.

#### **Clasificación Estructural de la Madera**

En base a los estudios realizados por la Junta del Acuerdo de Cartagena se determino que existe un gran número de especies con características apropiadas para ser empleadas en la construcción. Sin embargo, hay una gran selectividad por parte del usuario hacia determinadas maderas, aún cuando existen otras de características similares que podrían ser empleadas con el mismo fin. Para evitar este problema se realizó la agrupación de especies en tres grupos estructurales denominados A, B y C, cada uno con diferentes características de resistencia.

Los grupos estructurales A, B y C, son alternativas más eficientes para diseñar las estructuras de la madera separando o agrupando las piezas que tienen

Cada uno de estos grupos se asocian de acuerdo a ciertas propiedades físico-mecánicas (flexión, compresión paralela, cizalle; etc.).

Existen dos sistemas para clasificar estructuralmente la madera. El más conocido es el denominado como clasificación estructural visual, basado en la identificación del defecto en forma visual

Al segundo se le ha denominado clasificación estructural mecánica y se basa en la realización de ensayos no destructivos con el fin de determinar la rigidez de la pieza la cual identifica las propiedades resistentes.

### **Agrupamiento Según las Propiedades Físico - Mecánicas**

En la norma E-101 del ININVI (Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda) se propone una metodología para el agrupamiento provisional para especies todavía no ensayadas en la forma siguiente:

- ❖ El agrupamiento está basado en valores de la densidad básica y de la resistencia mecánica.
- ❖ Los valores de la densidad básica, módulos de elasticidad y esfuerzos admisibles para los grupos A, B y C será presentado en la Cuadro 2.

**Cuadro 2: PROPIEDADES FÍSICO - MECÁNICAS  
DE LOS GRUPOS ESTRUCTURALES DE LA MADERA**

| GRUPO | MODULO DE ELASTICIDAD (E)<br>Mpa (kg/cm <sup>2</sup> ) |                |
|-------|--|----------------|
|       | E (minimo)   | E (promedio)   |
| A     | 9316 (96000)   | 12748 (130000) |
| B     | 7355 (75000)   | 9806 (100000)  |
| C     | 5394 (55000)   | 8826 (90000)   |

| GRUPO | DENSIDAD BASICA<br>g/cm <sup>3</sup> |
|-------|--------------------------------------|
| A     | ≥ 0.71                               |
| B     | 0.56 - 0.70                          |
| C     | 0.40 - 0.55                          |

| GRUPO | ESFUERZOS ADMISIBLES<br>Mpa (kg/cm <sup>2</sup> ) |                              |                                  |                                     |                           |
|-------|---|------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
|       | Flexion<br>(fm)                                   | Traccion<br>Paralela<br>(ft) | Compresion<br>Paralela<br>(fc/l) | Compresion<br>Perpendicular<br>(fc) | Corte<br>Paralelo<br>(fv) |
| A     | 20.6 (210)  | 14.2 (145)                   | 14.2 (145)                       | 3.9 (40)                            | 1.5 (15)                  |
| B     | 14.7 (150)  | 10.3 (105)                   | 10.8 (110)                       | 2.7 (28)                            | 1.2 (12)                  |
| C     | 9.8 (100)   | 7.3 (75)                     | 7.8 (80)                         | 1.5 (15)                            | 0.8 (8)                   |

**Fuente: NORMAS PERUANAS E – 101**

## 1.2. INVESTIGACION SOBRE UNIONES

Hasta el momento se han encontrado dos estudios de uniones estructurales con Tirafones en madera Tornillo y Quinilla realizados en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria de la Molina y en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería respectivamente; se cuenta también con el "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino" ejecutado por la Junta del Acuerdo de Cartagena siendo su última Edición en el año 1984, en el cual se señala solo dos dispositivos para uniones estructurales que son clavos y pernos. Así mismo se encontraron algunos estudios realizados en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería acerca de Uniones estructurales en Madera Capirona con Uniones Clavadas.

Por otra parte encontramos estudios acerca del comportamiento de tirafones en uniones estructurales en madera realizados en Norte América; específicamente realizados por el departamento de Agricultura del Estado de Washington.

Para la realización de construcciones en madera es de vital importancia el estudio de las uniones estructurales, esto conlleva a realizar estudios apropiados para el buen desarrollo constructivo de este material.

## 1.3. FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES ESTRUCTURALES

La madera al comportarse como un sistema estructural mediante uniones, puede no comportarse de manera adecuada por diversos factores, los cuales lo mencionamos a continuación:

1. **Madera.-** es de suma importancia que las características físico-mecánicas sean determinadas para que unidas con los requerimientos de uso, pueda establecerse el uso adecuado de este material. Además, se tienen que conocer los factores que afectan la resistencia antes de diseñar las

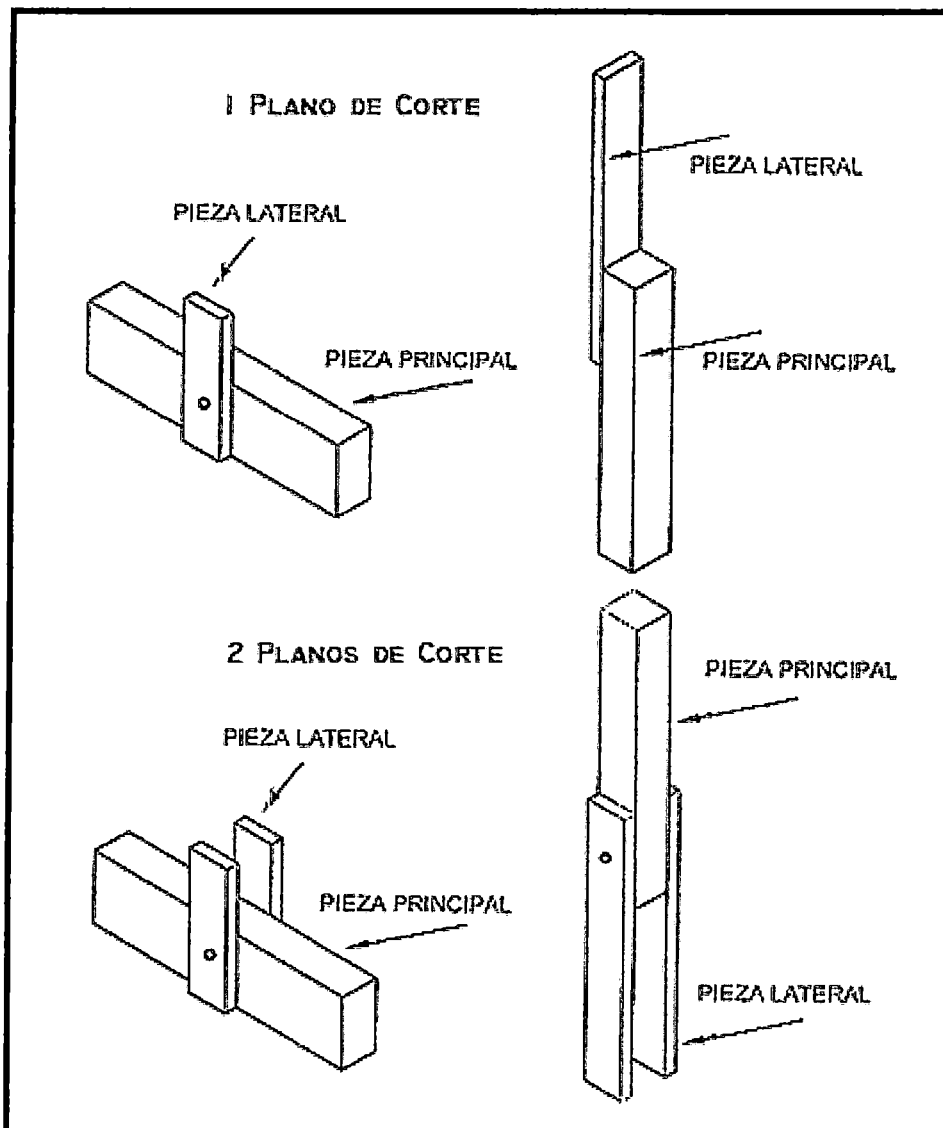
estructuras. La madera como todo material presenta ventajas y desventajas para su utilización. Entre las primeras podemos citar: su gran resistencia a pesar de tener baja densidad y su facilidad de manipuleo y trabajabilidad.

2. **Densidad.**- se sabe que la unión estructural resiste la acción de la carga por medio del elemento de unión y la madera. El elemento de unión transmite la carga a la madera produciéndose comprensión paralela o perpendicular a las fibras, en esta etapa interviene la resistencia que opone la madera a estas fuerzas. Las resistencias mecánicas están en relación directa a las densidades de la madera y existe la tendencia de utilizar a esto como base para agrupar las especies.
3. **Contenido de Humedad.**- Hansen (13), Canadian Wood Construction (15), señalan que, la humedad, afecta la resistencia, entre el punto de saturación de las fibras y contenido de humedad equilibrio. A medida que aumente la humedad y se acerca al punto de saturación de las fibras de la madera resulta menos resistente; después de este punto, permanece constante. El grado de disminución de la resistencia por aumento del contenido de humedad varía entre las especies.
4. **Dirección de las Fibras.**- de las pruebas realizadas en diversos estudios tecnológicos del Timber Engineering Company (11), se puede afirmar que la resistencia de la madera a la comprensión, flexión y tracción disminuyen si las fibras se desvían del paralelismo, encontrándose que a desviaciones de 90° el eje de carga se estabilizan y solo alcanzan porcentajes pequeños de los obtenidos para cargas paralelas a las fibras.
5. **Planos de Corte.**- se tienen tres tipos de planos: simple, doble y múltiple. Hansen (13), indica que si los miembros laterales de una unión compuesta de tres miembros tiene cada uno un espesor mayor que la mitad del espesor correspondiente el miembro principal, la carga permisible de la unión se calculara en la misma forma que se hace para una unión en la que los miembros laterales tienen un espesor igual a la mitad de la correspondiente al miembro principal. Indica además que si los miembros laterales tienen un espesor menor de la mitad del miembro principal (central), se tomara igual a

dos veces el espesor del miembro lateral mas delgado empleado. En caso de que una unión este formada por dos miembros desiguales se calculara la carga permisible considerando un miembro principal cuyo espesor será el de uno de los miembros reduciéndose el resultado en un 50%. Si los miembros en una unión formada por dos miembros son de espesores desiguales se calculara la carga permisible tomando como base una pieza de dos veces el espesor del miembro mas delgado y reduciendo esta carga en un 50%. El estudio aquí presentado se baso en uniones de 2 miembros (1 plano de corte) y de 3 miembros (2 planos de corte). Ver figura 1.

6. **Duración de la Carga.-** La madera tiene la propiedad de soportar cargas grandes en tiempos reducidos y menores en tiempos prolongados.
7. **Sección Crítica.-** es el área del miembro tomada en ángulo recto hacia la dirección de la carga, la cual da el máximo esfuerzo, basado sobre el área neta sobrante, después de reducir la sección de los agujeros del elemento de unión.
8. **Espaciamientos.-** Los espaciamientos mínimos dependen del diámetro del elemento, éstas son distancias medidas del centro del tirafon al borde, al extremo de la unión o medidas también entre tirafones.

Figura 1: PLANOS DE CORTE



#### 1.4. TIPOS DE MADERAS USUALES EN LA CONSTRUCCION EN EL PERU

La madera en general es un material que reúne condiciones propicias y casi ideales para la construcción, pues es un material natural, trabajable y económica, ya que el proceso previo a su utilización es en forma natural (extracción) e industrial (secado, aserrado y transporte), existiendo una diferencia notable con los montos presupuestales de otros materiales como el acero, el ladrillo, y el mismo concreto.



### **1.4.1. ESPECIES MADERABLES ESTUDIADAS EN EL PERU**

Se conocen más de 2500 especies en árboles identificadas en nuestra amazonia, de las cuales alrededor de 205 de estas especies han recibido algún tipo de atención científica o estudio preliminar.

Menos alentador es el número de especies que se comercializan con frecuencia, como veremos en el siguiente punto. Con el esfuerzo de algunas entidades como: La Organización Internacional de las Maderas Tropicales (OIMT), la JUNAC, el INRENA, SENCICO y otros colaboradores particulares, se tienen registros de propiedades de árboles por especies. Ver Cuadro 3.

Sin embargo, la mayoría de estos trabajos no avalan que sean maderas para uso estructural, pues el estudio que se les dio tenía la finalidad de clasificarlas como especie maderera, y los ensayos a que fueron sometidos estuvieron bajo las exigencias de normas como las de INDECOPI referidas a determinar solo sus propiedades tecnológicas.

**Cuadro 3: PROPIEDADES TECNOLOGICAS DE MADERAS ESTUDIADAS**

| N° | NOMBRE COMÚN       | DENSIDAD BASICA (g/cm <sup>3</sup> ) | CONTRACCIONES (%) |        |             | RELACION T/R | DUREZA     | FORMA DE TROZA     | COLOR                             | GRANO                | TEXTURA  |
|----|--------------------|--------------------------------------|-------------------|--------|-------------|--------------|------------|--------------------|-----------------------------------|----------------------|----------|
|    |                    |                                      | TANGENCIAL        | RADIAL | VOLUMETRICA |              |            |                    |                                   |                      |          |
| 1  | Aguano Masha       | 0.73                                 | 4.9               | 2.71   | 7.47        | 1.81         | Alta       | Irregular          | Albura amarillenta duramen marron | Recto a entrecruzado | Fina     |
| 2  | Ana Caspi          | 0.8                                  | N.D.              | N.D.   | N.D.        | N.D.         | Alta       | Cilindrica         | Pardo amarillento                 | Oblicuo              | Fina     |
| 3  | Andiroba           | 0.54                                 | 8                 | 3.9    | 12.2        | 2.05         | Media      | Regular            | Pardo rojizo                      | Recto a entrecruzado | Media    |
| 4  | Azucar Huayo       | 0.62                                 | 7.3               | 3.3    | 11.2        | 2.2          | Alta       | Regular Cilindrica | Pardo oscuro                      | Entrecruzado         | Media    |
| 5  | Bolaina Blanca     | 0.41                                 | 5.5               | 3.5    | N.D.        | 1.57         | Media      | Cilindrica         | Blanco                            | Recto                | Media    |
| 6  | Cachimbo Blanco    | 0.59                                 | 7.58              | 4.96   | 12.1        | 1.5          | Media/Alta | Regular            | Pardo claro                       | Recto                | Media    |
| 7  | Cafecillo Huayruro | N.D.                                 | N.D.              | N.D.   | N.D.        | N.D.         | Media      | Cilindrica         | Pardo marron                      | Entrecruzado         | Media    |
| 8  | Capirona           | 0.76                                 | 9                 | 5      | 15          | 1.8          | Alta       | Conica Regular     | Blanco pardusco                   | Recto a entrecruzado | Muy Fina |
| 9  | Carahuasca         | 0.52                                 | 7.98              | 3.91   | 11.5        | 2.04         | Baja       | Irregular          | Marron rojizo                     | Recto                | Media    |
| 10 | Caraña             | N.D.                                 | N.D.              | N.D.   | N.D.        | N.D.         | Media      | Cilindrica         | Belge                             | Entrecruzado         | Media    |
| 11 | Catahua            | 0.41                                 | 5.81              | 3.43   | 9           | 1.69         | Media      | Cilindrica         | Amarillo cremoso                  | Recto a entrecruzado | Media    |
| 12 | Cedrillo           | 0.49                                 | 7.62              | 4.13   | 11.8        | 1.84         | Media      | Regular            | Pardo rojizo                      | Recto                | Media    |
| 13 | Copaiba            | 0.61                                 | 3.4               | 7      | 10.7        | 1.9          | Media      | Cilindrica         | Marron rojizo                     | Recto a entrecruzado | Media    |
| 14 | Copal              | 0.56                                 | 5.3               | 4.5    | 10.3        | 1.18         | Media      | Cilindrica         | Pardo medio                       | Recto a entrecruzado | Media    |
| 15 | Estoraque          | 0.78                                 | 6.52              | 4.16   | 9.97        | 1.57         | Alta       | Cilindrica         | Marron rojizo                     | Recto a entrecruzado | Media    |
| 16 | Higuerilla         | 0.52                                 | 10.52             | 6.53   | 17.75       | 1.61         | Media      | Cilindrica         | Albarga belge, duramen rojo       | Recto                | Media    |
| 17 | Hualaja            | 0.47                                 | 7.98              | 4.29   | 11.4        | 1.9          | Media      | Irregular          | Amarillo                          | Entrecruzado         | Media    |
| 18 | Huangana Casha     | N.D.                                 | N.D.              | N.D.   | N.D.        | N.D.         | Media/Alta | Irregular          | Pardo                             | Entrecruzado         | Media    |
| 19 | Huayruro           | 0.61                                 | 6.3               | 3.19   | 9.4         | 1.98         | Alta       | Cilindrica         | Belge rojizo                      | Entrecruzado         | Gruesa   |
| 20 | Machinga           | 0.68                                 | 8.13              | 4.98   | 12.4        | 1.6          | Alta       | Irregular          | Blanco amarillento                | Recto a entrecruzado | Fina     |

## Continua Cuadro 3.

| N° | NOMBRE COMÚN     | DENSIDAD<br>BASICA<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | CONTRACCIONES (%) |        |             | RELACION<br>T/R | DUREZA     | FORMA DE<br>TROZA | COLOR                                 | GRANO                   | TEXTURA  |
|----|------------------|--|-------------------|--------|-------------|-----------------|------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------|
|    |                  |  | TANGENCIAL        | RADIAL | VOLUMETRICA |                 |            |                   |                                       |                         |          |
| 21 | María Buena      | 0.36                                       | 6.51              | 2.66   | 9.3         | 2.44            | Baja       | Irregular         | Blanco cremoso                        | Oblicuo                 | Media    |
| 22 | Marí Marí        | 0.57                                       | 7.14              | 3.57   | 10.8        | 2               | Media/Alta | Cilíndrica        | Amarillo fuerte                       | Recto                   | Gruesa   |
| 23 | Marupa           | 0.36                                       | 6.95              | 2.91   | 8.6         | 2.38            | Baja       | Cilíndrica        | Crema                                 | Recto                   | Media    |
| 24 | Mashonaste       | 0.56                                       | 6.3               | 3      | 9.4         | 2.1             | Media      | Cilíndrica        | Amarillo fuerte                       | Recto                   | Gruesa   |
| 25 | Moena amarilla   | 0.56                                       | 9                 | 4.3    | 9.4         | 2.09            | Media      | Regular           | Amarillo                              | Entrecruzado            | Media    |
| 26 | Ojé Blanco       | 0.36                                       | 6.4               | 2.2    | 8.6         | 2.9             | Baja       | Regular           | Blanco                                | Recto a<br>entrecruzado | Media    |
| 27 | Ojé Renaco       | 0.43                                       | 5.56              | 2.11   | 7.55        | 2.64            | Alta       | Cilíndrica        | Blanco amarillento                    | Recto                   | Media    |
| 28 | Ojé Rosado       | 0.42                                       | 8.69              | 4.17   | 12.49       | 2.08            | Alta       | Cilíndrica        | Beige claro                           | Recto a<br>entrecruzado | Muy Fina |
| 29 | Panguana         | 0.49                                       | 6.88              | 3.71   | 9.69        | 1.9             | Alta       | Cilíndrica        | Pardo claro                           | Recto a<br>entrecruzado | Media    |
| 30 | Pashaco          | 0.45                                       | 7.25              | 3.21   | 9.49        | 2.26            | Media      | Cilíndrica        | Blanco pardusco                       | Entrecruzado            | Media    |
| 31 | Pasahco (quitos) | 0.53                                       | 5.57              | 2.98   | 8.65        | 1.66            | Media      | Irregular         | Rosado pardo claro                    | Recto a<br>entrecruzado | Media    |
| 32 | Paujil Ruro      | 0.62                                       | 9.34              | 4.22   | 12.8        | 2.2             | Media      | Irregular         | Blanco cremoso                        | Entrecruzado            | Media    |
| 33 | Pumaquiro        | 0.67                                       | 8.08              | 4.1    | 12.38       | 1.97            | Alta       | Cilíndrica        | Pardo rojizo                          | Entrecruzado            | Fina     |
| 34 | Quillosisa       | 0.51                                       | 10.48             | 4.44   | 15.5        | 2.36            | Media      | Regular           | Pardo claro                           | Recto a<br>entrecruzado | Media    |
| 35 | Requia           | 0.6  | 10.14             | 5.59   | 14.9        | 1.81            | Media      | Irregular         | Rojizo                                | Recto                   | Media    |
| 36 | Shihuahuaco      | 0.87                                       | 9.1               | 5.5    | 15          | 1.6             | Alta       | Regular           | Marrón                                | Entrecruzado            | Gruesa   |
| 37 | Shiringarana     | 0.39                                       | 8.51              | 3.51   | 10.3        | 1.85            | Baja       | Regular           | Rosado amarillento                    | Recto                   | Media    |
| 38 | Tahuari          | 0.92                                       | 8.88              | 5.69   | 13.85       | 1.56            | Alta       | Regular           | Albura amarillenta,<br>duramen marron | Entrecruzado            | Fina     |
| 39 | Ubos             | 0.35                                       | 7.44              | 3.18   | 10          | 2.34            | Baja       | Irregular         | Blanco cremoso                        | Recto a<br>entrecruzado | Gruesa   |
| 40 | Utucuro          | 0.61                                       | N.D.              | N.D.   | N.D.        | N.D.            | Media      | Regular           | Pardo                                 | Recto                   | Media    |
| 41 | Yacushapana      | 0.73                                       | 8.59              | 4.93   | 12.3        | 1.7             | Alta       | Regular           | Pardo oscuro                          | Entrecruzado            | Media    |

Fuente: CNF-INRENA-OIMT

## 1.4.2. ESPECIES MADERABLES MAS COMERCIALIZADAS EN EL PERU

Aún cuando la mayoría de esas 41 especies del cuadro 3 figuran en los catálogos de las diferentes madereras en Lima (inclusive figuran algunas otras), solo se comercializan el 50% de ellas. Esto se entiende debido a diversos factores, como:

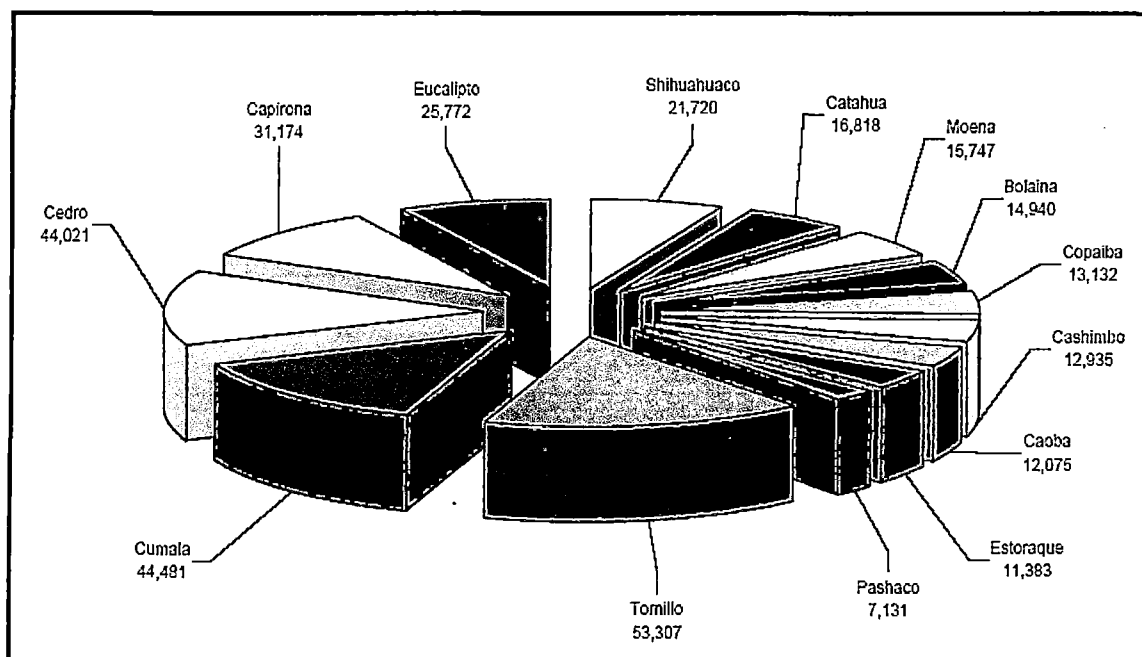
- ❖ La pobre inversión privada, lo cual trae como consecuencia el escaso apoyo que tienen los productores de madera. Ello impide que puedan desarrollar de manera óptima el recurso que explotan.
- ❖ El poco conocimiento de las propiedades que se tienen en maderas estudiadas, como se dijo anteriormente, estos estudios fueron realizados solo a sus propiedades físicas, mas no se profundizo en sus propiedades mecánicas.
- ❖ Al poco interés del mercado, productores y consumidores, de valorar los esfuerzos que se hacen en el campo de la investigación, ya que están acostumbrados a coger lo que está al alcance de la mano, priorizando el aspecto económico al de la calidad.
- ❖ Probablemente el mayor indicativo de este bajo consumo de madera se refleje en un alarmante déficit habitacional del Perú, que excede el millón y medio de viviendas, siendo dicha actividad el principal potencial consumidor de madera.

Entre las maderas más comercializadas (Lima y provincias), podemos mencionar:

- Bolaina
- Caoba
- Cachimbo
- Capirona
- Cedro
- Cedro virgen
- Copaiba
- Catahua amarilla
- Cumala Dorada
- Diablo Fuerte
- Eucalipto
- Estoraque
- Huayruro
- Higuerrilla
- Ishpingo
- Lupuna
- Moena amarilla
- Moena negra
- Nogal
- Pino (chileno)
- Pumaquiro
- Shihuahuaco
- Tornillo
- Utucuro

En la Figura 2 se ven las principales especies por producción durante el periodo Enero-Junio del 2006 según El INRENA, en su último anuario (2006).

**Figura 2: PRINCIPALES ESPECIES POR PRODUCCION  
ENERO-JUNIO DEL 2006 (m<sup>3</sup>)**



**Fuente: INRENA-Boletín 2006-1**

## CAPITULO II

### LA CAPIRONA

#### 2.1. ASPECTOS GENERALES

La madera es un material duro y resistente que constituye el tronco de los árboles; se ha utilizado durante miles de años como combustible, materia prima para la fabricación de papel, mobiliario, construcción de viviendas y una gran variedad de utensilios para diversos usos. Este noble material, fabricado por la naturaleza con un elevado grado de especialización, debe sus atributos a la complejidad de su estructura.

En composición media se compone de un 50% de carbono (C), un 42% de oxígeno (O), un 6% de hidrógeno (H) y el 2% de resto de nitrógeno (N) y otros elementos.

La madera, como recurso natural renovable, ofrece grandes ventajas ambientales favoreciendo procesos de soporte al ecosistema y brindando enormes garantías como materia prima de alto potencial físico, mecánico y estético para la construcción.

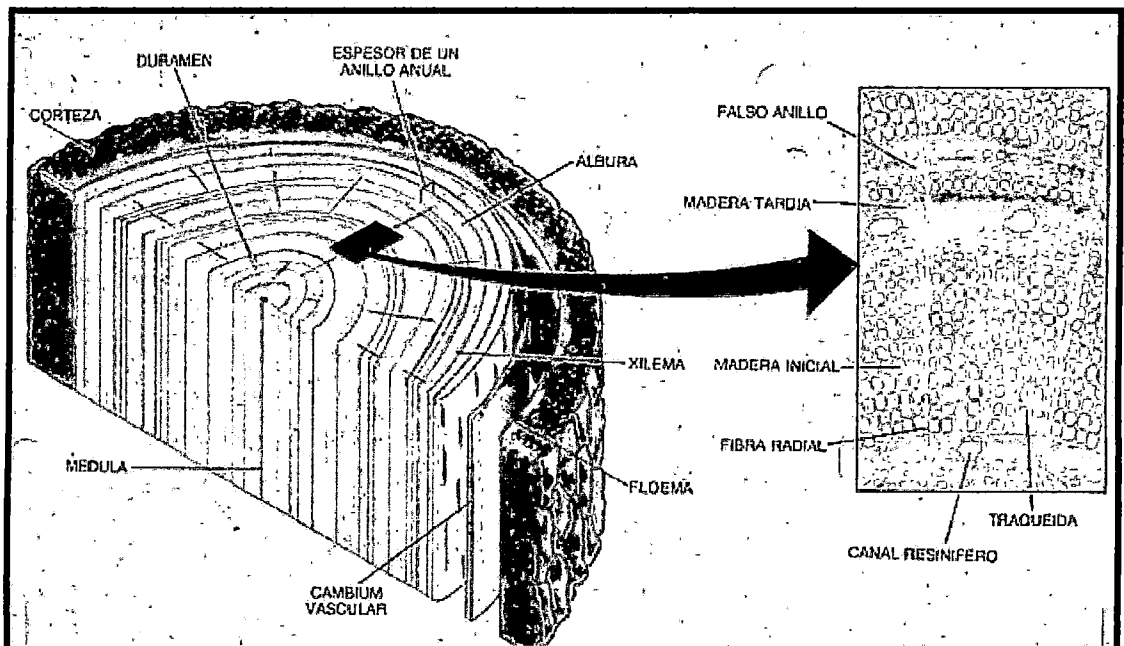
Es tal vez el material más antiguo en construcción; sus excelentes resultados y aplicaciones se contemplan en obras arquitectónicas de gran belleza en Europa, Estados Unidos y algunos países de América Latina. Todas y cada una de las soluciones desarrolladas por el hombre para asegurar el buen comportamiento de la madera en construcción, de acuerdo a la experiencia, arrojan los mejores resultados y por eso desconocer las ventajas del material parece insensato.

### 2.1.1. ESTRUCTURA DE LA MADERA

La Capirona es una de las especies que destacan por su coloración uniforme y facilidad de aserrio, a pesar de su elevada densidad. La madera de una tonalidad blanca pardusca y de textura fina, ofrece alta resistencia al clavado.

La Capirona como toda madera proviene de un árbol, el cual presenta en su sección transversal las siguientes partes:

**Figura 3: ESTRUCTURA DE LA MADERA**



1. **Corteza Exterior:** Es la cubierta que protege al árbol de los agentes atmosféricos, en especial de la insolación; esta formada por un tejido llamado floema que cuando muere forma esta capa.
2. **Corteza Interior:** Es la capa que tiene por finalidad conducir el alimento elaborado en las hojas hacia las ramas, tronco y raíces, esta constituido por el tejido floemático vivo, llamado también liber.

3. **Cambium:** Es el tejido que se encuentra entre la corteza interior y la madera. Las células del cambium tienen la capacidad de dividirse y conservan esa facultad hasta cuando el árbol muere. El cambium forma células de madera hacia el interior y floema o liber hacia el exterior.
4. **Madera o Xilema:** Es la parte maderable o leñosa del tronco; se puede distinguir en ella la albura, el duramen y la médula.
5. **La Albura:** Es la parte exterior del Xilema cuya función principal es la de conducir el agua y las sales minerales de las raíces a las hojas: es de color claro y de espesor variable según las especies. La albura es la parte activa del xilema.
6. **El Duramen:** Es la parte inactiva y tienen como función proporcionar resistencia para el soporte del árbol. Se forma como se describe a continuación. Con el tiempo la albura pierde agua y sustancias alimenticias almacenadas y se infiltra de sustancias orgánicas distintas, tales como aceites, resinas, gomas, taninos, sustancias aromáticas y colorantes. La infiltración de estas sustancias modifica la consistencia de la madera que toma un color más oscuro y adquiere un mejor comportamiento frente al ataque de hongos e insectos, esto último distingue particularmente el duramen de la albura.
7. **Médula:** es la parte central de la sección del tronco y está constituida por el "tejido parenquimático" (tejido vegetal esponjoso con grandes vacuolas y fuerte pared celular, que realiza funciones de almacenamiento).

### 2.1.2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

La Capirona es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es moderadamente **estable**. Para la resistencia mecánica se sitúa en el límite de la categoría media a alta.



**Propiedades Físicas**

|                         |   |                          |          |
|-------------------------|---|--------------------------|----------|
| Densidad básica         | : | 0.76 g/cm <sup>3</sup> . | Alta.    |
| Contracción tangencial  | : | 9.00 %                   |          |
| Contracción radial      | : | 5.00 %                   |          |
| Contracción volumétrica | : | 15.00 %                  | Alta.    |
| Relación T/R            | : | 1.80                     | Estable. |

**Propiedades Mecánicas**

|                                   |   |                        |              |
|-----------------------------------|---|------------------------|--------------|
| Módulo de elasticidad en flexión  | : | 150 kg/cm <sup>2</sup> | Poco Rígida. |
| Módulo de rotura en flexión       | : | 723 kg/cm <sup>2</sup> | Mediana.     |
| Compresión paralela (RM)          | : | 283 kg/cm <sup>2</sup> | Mediana.     |
| Compresión perpendicular (ELP)    | : | 67 kg/cm <sup>2</sup>  | Mediana.     |
| Corte paralelo a las fibras       | : | 87 kg/cm <sup>2</sup>  | Mediana.     |
| Dureza en los lados               | : | 425 kg/cm <sup>2</sup> | Mediana.     |
| Tenacidad (resistencia al choque) | : | 2.10 kg-m              | Mediana.     |

**Fuente: Guía de Procesamiento Industrial (6)**

**2.2. DESCRIPCIÓN DE LA MADERA CAPIRONA**

Esta madera se encuentra en la amazonía del Perú y Brasil. En el Perú está distribuida en los departamentos de Amazonas, Huanuco, Loreto, Ucayali, Madre de Dios y San Martín. Se encuentra en los bosques primarios y secundarios, en terrenos periódicamente inundados, en formaciones ecológicas de bosque seco tropical (bs - T), bosque húmedo tropical (bh-T) y bosque muy húmedo tropical (bmh-T), por debajo de los 1 200 metros sobre el nivel del mar.

**ESPECIE:** CAPIRONA

**FAMILIA :** RUBIACEAE

**NOMBRE CIENTIFICO:** *calycophyllum spruceanum*

**NOMBRE COMERCIAL INTERNACIONAL:** Pau Mulato

**NOMBRE VULGAR:** Guayabochi (Bolivia), Guayabete (Colombia); Corusicao (Ecuador), Capirona del Bajo, Capirona Negra (Perú); Pau Mulato (Brasil).

**DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE:** Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Colombia.

**Foto 1: Madera Capirona**



### 2.2.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA MADERA CAPIRONA

La madera Capirona posee un comportamiento estructural diferente a otras especies, ya que presenta características particulares los cuales gracias a las investigaciones realizadas entre ellas la del Ingeniero Eder Huaraz Del Castillo (3), mencionamos a continuación:

- **CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:**

- a) **COLOR:** La albura es de color blanco, transición gradual a duramen de color marrón muy pálido amarillento.
- b) **OLOR:** Característico a vainilla.
- c) **SABOR:** Ausente o no distintivo.
- d) **BRILLO:** De mediano a brillante.
- e) **GRANO:** De recto a entrecruzado.
- f) **TEXTURA:** Fina.
- g) **VETEADO:** Arcos superpuestos, satinados en bandas longitudinales.

- **CARACTERISTICAS MICROSCOPICAS:**

- A) **Poros/Vasos:**

- a) **Tipos y disposición:** Solitarios, múltiples radiales de 2 a 4 poros y raceuniformes.
- b) **Platinas de perforación:** Oblicuas o muy oblicuas, de tipo simple.

- c) **Aberturas de punteaduras:** Inclínadas, de forma ovalada y ornada.
- d) **Punteaduras Intervasculares:** Disminuidas alternas, y de forma redonda.
- e) **Número promedio por milímetro cuadrado:** 15 Poros
- f) **Diámetro Tangencial Promedio:** 74 u.

**B) Parénquima Longitudinal:**

- a) **Tipo:** Terminal, irregular. Presencia de maculas medulares.
- b) **Contenido:** Sin contenido aparente.
- c) **Estratificación:** Ausente.

**C) Radios:**

- a) **Tipo:** Heterogéneos Tipo I y II de kribas.
- b) **Punteaduras Radio vasculares:** Similares a intervasculares.
- c) **Número promedio por milímetro lineal:** 5 Radios.
- d) **Tamaño en Numero de células:**
  - Ancho: de 1 a 4 células.
  - Altura: de 7 a 106 células.
- e) **Tamaño promedio en milímetros:** Bajo, de 0.40 mm.
- f) **Contenido:** Glomérulos gomosos y depósitos de sílice.

**D) Fibras:**

- a) **Tipos:** Fibrotraqueidal.
- b) **Estratificación:** Ausente.
- c) **Espesor de pared:** Gruesa.
- d) **Punteaduras:** Claramente aureoladas.

**E) Inclusiones:**

- a) **Conductos Gomíferos:** Ausentes.
- b) **Sustancias Orgánicas:** Gomas, se encuentran en los radios.
- c) **Sustancias Inorgánicas:** Sílice, se encuentra en los radios.

- **CARACTERISTICAS MACROSCOPICAS:**

**A) Anillos de Crecimiento:**

- a) **Visibilidad:** Visible con lupa de 10x.
- b) **Número promedio de anillos en 10cm de radio:** 30 anillos

**B) Poros / Líneas Vasculares:**

- a) **Visibilidad:** Visible con lupa de 10x.
- b) **Porosidad:** Difusa
- c) **Tipos y Disposición:** Solitarios, múltiples radiales y raceuniformes.
- d) **Forma y Contenido:** Redonda a ovalada, la mayoría abiertos.

**C) Parénquima longitudinal:**

- a) **Visibilidad:** Indistinguibles aún con lupa 10x.
- b) **Cantidad:** Indistinguible.
- c) **Tipo:** Indistinguible.

**D) Radios:**

- a) **Visibilidad:** Visibles con lupa de 10x.
- b) **Contraste característico:** Ausente.
- c) **Estratificación:** Ausente.

- **USOS PROBABLES**

Estructuras pesadas en general, pisos, cubiertas – naves, carrocerías, obras exteriores, durmientes, tornería.

## 2.2.2. IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LA MADERA CAPIRONA

La identificación de las especies forestales se puede realizar a 2 niveles, la identificación dendrológica y la identificación práctica; siendo la primera desde el punto de vista botánico, aplicando los conocimientos de la especie (corteza, hojas y frutos), en cambio la segunda aplica las características de la madera en sí, características que pueden ser de tres niveles: organolépticas (reconocimiento por los sentidos: vista, olfato, tacto, etc.), descripción microscópica y macroscópica.

Las siguientes características serán consideradas para la identificación:

- a) **Anillos de Crecimiento:** Se debe tener en cuenta dos aspectos, la coloración de la albura y la del duramen.
- b) **Brillo:** Lustre que presentan los planos de corte cuando tienen una superficie lisa y pulida.
- c) **Color:** Se mide principalmente por cuatro colores: blanco, amarillo, rojo y marrón, es por lo general un indicador de su durabilidad.
- d) **Olor:** Es más fuerte cuando la madera esta recién cortada.
- e) **Textura:** Se refiere al tipo de superficie que presenta al ser acabado, puede ser gruesa, media o fina.
- f) **Veteado.**
- g) **Granos:** Dirección que siguen los elementos leñosos longitudinales; es determinante para definir características trabajabilidad y de acabado.
- h) **Poros:** Se observan en la sección transversal, son agujeros dejados por los conductos de alimentación del árbol.
- i) **Vasos:** Se observan en la sección tangencial y radial, es otra vista de los conductos de los poros, a poros gruesos, vasos gruesos.
- j) **Radios:** Pequeñas líneas que se pueden observar en la sección transversal o radial.
- k) **Anillos:** Se observan en la sección transversal en forma de bandas.
- l) **Parénquima:** Coloración blanca clara que se observa bordeando los poros, en la sección transversal.

Una vez conocidas las características que se toman en cuenta para una determinada regla de identificación, la especie Capirona nos muestra los siguientes resultados:

- a) **Anillos de Crecimiento:** Anillos visibles con lupa de 10 aumentos y muy densos 3 anillos por centímetro de radio.
- b) **Brillo:** Medio intenso.
- c) **Color:** El tronco recién cortado presenta las capas externas de la madera (albura) de color blanco parduzco con vetas de color marrón claro, observándose entre ambas capas muy poco contraste en el color.
- d) **Olor:** Recién cortada o húmeda, su olor característico es a vainilla, seca al aire es no distintiva.
- e) **Textura:** muy fina, elementos constitutivos pequeños.
- f) **Veteado:** Arcos superpuestos, satinado en bandas longitudinales de color marrón claro.
- g) **Granos:** Rectos a ligeramente entrecruzados, importante en las propiedades físico – mecánicas de la madera.
- h) **Poros:** Visibles con lupas de 10 aumentos, es difusa, se presentan en solitarios, múltiples radiales y raceuniformes.
- i) **Parenquima:** Indistinguible.

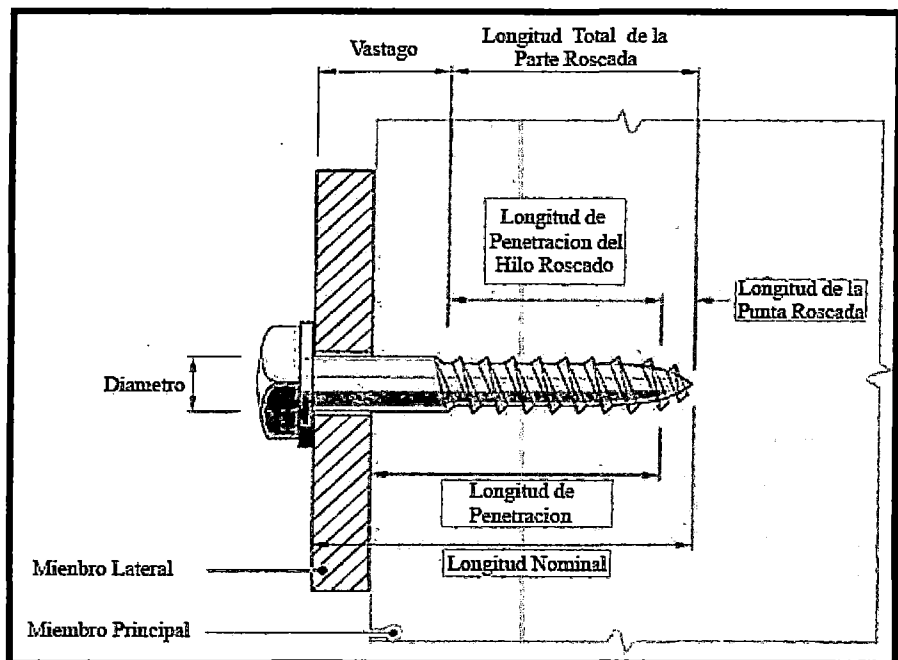
## CAPITULO III

### EL TIRAFÓN

#### 3.1. DEFINICIÓN DE TIRAFÓN

Tirafón (derivado de francés tirefond), también conocido como tirafondo, es un elemento de unión intermedio entre tornillo para madera y perno. Es un tornillo con rosca cónica, generalmente de mayor tamaño, con la cabeza de perno cuadrada o hexagonal. Los tirafones poseen las puntas agudas y los hilos de rosca gruesa diseñados para penetrar y agarrar la fibra de madera.

**Figura 4:**  
Típica unión  
utilizando  
Tirafón



Los tirafones pueden ser usados solos o también con conectores de madera donde los pernos son inaccesibles. Desde que los Tirafones presentan una zona roscada, pueden ser diseñados para resistir cargas de extracción y cizallamiento.

### ❖ **Ventaja**

La ventaja de los tirafones se encuentra en los tamaños que poseen. Los tamaños típicos se presento desde 1 pulg. hasta 16 pulg. en longitud y desde 3/16 pulg. hasta 1 pulg. en diámetro. Sin embargo depende del diseño de la unión para aprovechar las ventajas en tamaño que tiene el tirafón.

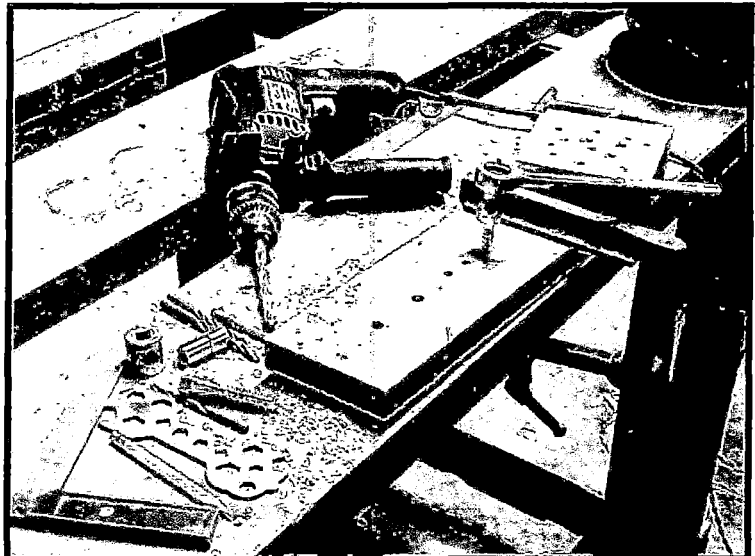
### ❖ **Instalación**

La correcta instalación del tirafón viene dada por una perforación previa, la cual llamamos "perforación guía". Esta perforación tiene como finalidad guiar al tirafón hacia la zona de penetración. El tirafón deberá ser colocado por una llave inglesa la cual hará girar el tirafon hasta penetrar completamente dentro de la madera. Para facilitar la instalación es recomendable cubrir la parte roscada del tirafon con jabón o algún lubricante (grasa, manteca, etc).

**Foto 2:**

#### **Colocación del tirafón**

- 1) **Perforación guía realizada con el taladro.**
- 2) **Colocación del tirafón con la llave inglesa.**

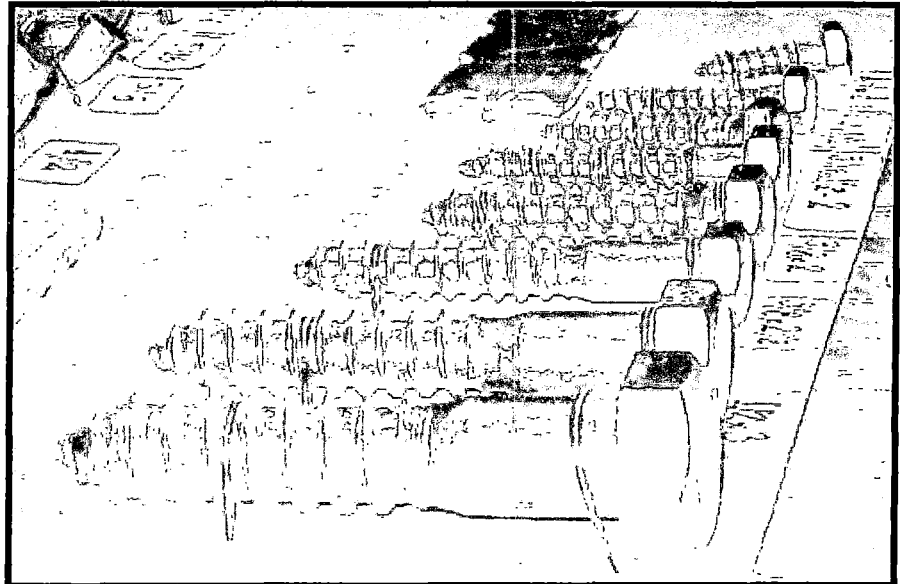




### 3.2. TIPOS DE TIRAFÓN

El rango de tirafones es de aproximadamente 5.1 mm a 25.4 mm ( $3/16''$  a  $1''$ ) en diámetro y de 25.4 mm a 406 mm ( $1''$  a  $16''$ ) en longitud. La longitud de la parte roscada varia con la longitud del tirafon y se extiende a partir de 19 mm ( $3/4''$ ) con longitudes de tirafones de 25.4 y 31.8 mm ( $1''$  y  $1\ 1/4''$ ) a la mitad de la longitud para todas las longitudes mayores de 254 mm ( $10''$ ).

Foto 3:  
TIRAFONES



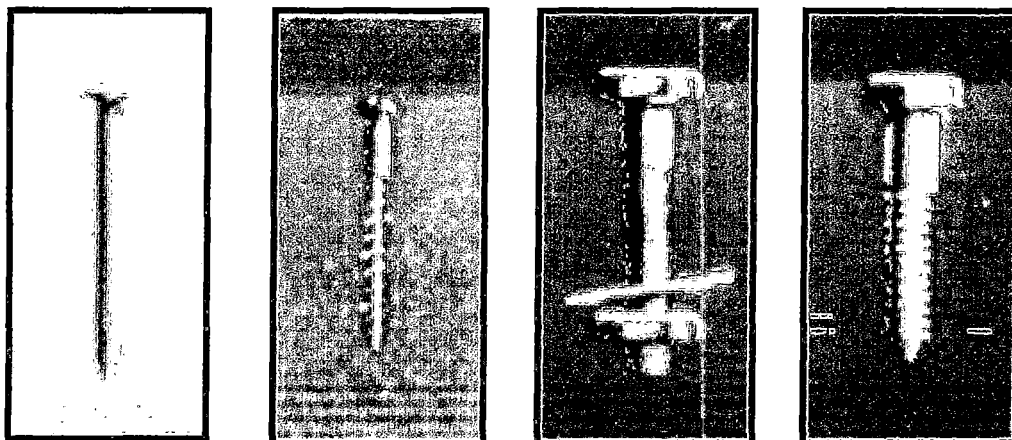
### 3.3. CARACTERISTICAS DE LOS TIRAFONES

El tirafon es fabricado en frío con acero al carbón SAE 1007 y su recubrimiento puede ser Pavonado (oxido negro) o Zincado. Tiene una cabeza hexagonal que es apretada por una llave de tuerca, por lo que se tiene un efecto de palanca que aumenta el momento (en comparación con los tornillos para madera, que tienen una cabeza ranurada y son apretados por un destornillador).

El comercio nacional entrega ciertos tipos de tirafones que, por lo general, son mal aprovechados, pues no existe conocimiento de su capacidad resistente, además de poder conseguirlos a un buen precio en determinados lugares comerciales. Ver Anexo D Precios de Tirafones y arandelas usadas.

A diferencia de los tornillos los tirafones tienen filos filosos, lo que facilita la penetración en la madera. Además poseen una rosca recta, permitiendo mayor agarre como se muestra en las siguientes figuras:

**Clavo (nail)      Tornillo (screw)      Perno (bolt)      Tirafón (lag screw)**



En nuestro medio se cuenta con los tirafones de cabeza hexagonal y zincados los cuales son importados de Taiwán, China, Singapur, debido a que las fábricas nacionales no alcanzan el costo de la importación. Esta diferencia de proveedores significa variaciones en las características del tirafón, tales como la longitud roscada, la separación de los hilos, el acabado de la punta. Es importante mencionar que estos detalles hacen variar la resistencia de la unión.

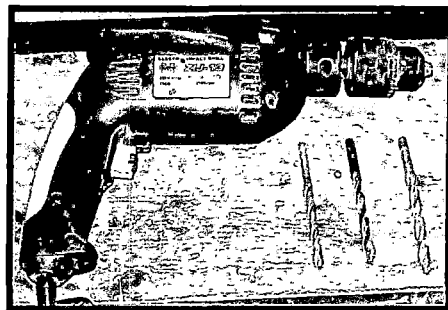
### 3.4. PERFORACIONES GUIAS

Canadian Wood Construction (15), Nch1198.cR2004 (10) y NDS (12) indican que los tirafones deben ser instalados en perforaciones que tienen la propiedad de guiar su ubicación final, por tal motivo estas toman el nombre de "Perforaciones Guías", cuyas características son las siguientes:

1. La perforación donde se alojara el vástago del tirafón debe tener el mismo diámetro ( $D$ ) de dicho vástago y una profundidad igual a la longitud ( $V$ ) de la zona sin rosca del tiraron.

2. La perforación para la zona con rosca del tiraron debe de tener una profundidad al menos igual a la longitud de la zona roscada del tiraron (R-P) y un diámetro comprendido entre:
- 40% y 70% del diámetro del vástago para las especies con densidad anhidra de  $0.4 \text{ g/cm}^3$ .
  - 60% y 75% de dicho diámetro para las especies con densidad anhidra superior a  $0.4 \text{ g/cm}^3$ , pero no mayor de  $0.5 \text{ g/cm}^3$ .
  - 65% y 85% del diámetro del vástago para las especies con densidad anhidra superior a  $0.5 \text{ kg/m}^3$ .

***El Taladro es una herramienta necesaria para la realización de las perforaciones guías, así mismo como las brocas necesarias.***

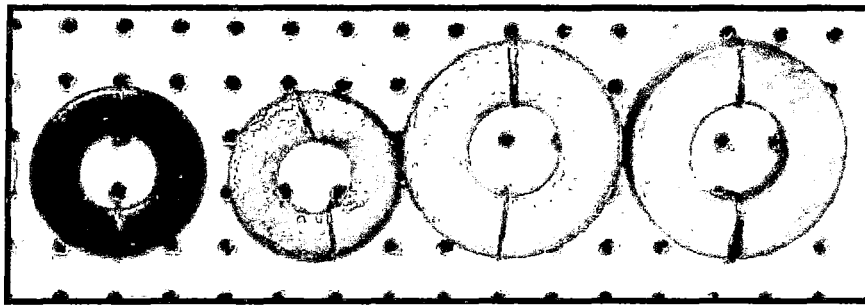


Toda la zona de la rosca debe ser colocada en la perforación guía con una llave tuerca. No es aceptable el uso de golpes de martillo en esta operación. Para facilitar la introducción y evitar danos en el tirafón, se recomienda el empleo de lubricantes en la rosa o en la perforación.

### 3.5. ARANDELAS

Pieza en forma de anillo que se usa para asegurar el cierre hermético de una junta o para evitar el roce entre dos piezas, en este caso la madera y el tirafón; son las establecidas para los pernos de diámetro igual al diámetro del vástago del tirafón usado. Según la tesis de grado sobre Uniones Estructurales de madera Quinilla, Claudia Paredes, los tirafondos deben llevar arandelas de acuerdo a las recomendaciones de la Nch1198.cR2004 (10) según el cuadro 4, esto no sirve cuando se dispongan planchas de acero entre la cabeza del tirafón y la madera.

Foto 4: ARANDELAS



**Cuadro 4: DIMENSIONES MÍNIMAS DE ARANDELAS PARA UNIONES  
 APERNADAS ESTRUCTURALES**

|                                      |    |    |    |    |    |     |
|--------------------------------------|----|----|----|----|----|-----|
| Diámetro del Perno                   | mm | 10 | 12 | 16 | 20 | >20 |
| Espesor de Arandela                  | mm | 5  | 5  | 6  | 6  | 6   |
| Diámetro externo (arandela circular) | mm | 50 | 55 | 65 | 75 | 98  |
| Lado (arandela cuadrada)             | mm | 45 | 50 | 60 | 65 | 85  |

Sin embargo, el comercio peruano cuenta con arandelas con espesores desde 1.8 mm hasta 9.5 mm para diámetros internos de 3.4 mm – 133 mm. Para los ensayos se utilizaron arandelas circulares de 1.8 mm de espesor.

### 3.6. PROPIEDADES MECANICAS

La empresa CORONA realizo un ensayo de dureza como referencia resultando 90 – 100 Rb, lo que quiere decir que contiene baja cantidad de carbono en el acero, logrando obtener un alto porcentaje de elongación (aproximadamente 30%) y una resistencia a tracción relativamente baja, datos del ensayo en el Anexo C.

La Norma SAE 429 h que rige para los tirafones no exige resistencia a la tracción. Como referencia de la tesis de grado Uniones Estructurales con tirafones en madera Quinilla, Claudia Paredes realizó un ensayo de tracción del tirafón en el laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería

Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, el cual arrojó una resistencia de  $55.6 \text{ kg/mm}^2$ .

**Cuadro 5: ENSAYO DE TRACCIÓN DEL TIRAFÓN**

| Procedencia  | : Empresa CORONA                                      |              |       |                    |                                 |
|--|---|--------------|-------|--------------------|---------------------------------|
| Fecha de Realización de Ensayo   | : 05 – 06 – 2005                                      |              |       |                    |                                 |
| Máquina de Ensayo  | : Máquina Universal de 100 TN –<br>Tokyokoki Seizosho |              |       |                    |                                 |
| Probeta  | Carga de Fluencia                                     | Carga máxima | Área  | Límite de Fluencia | Resistencia Límite a la Ruptura |
| 1  | 792   | 1470         | 0.264 | 2997.6             | 5563.8                          |
| 2  | 760   | 1370         | 0.264 | 2876.5             | 5185.3                          |
| 3  | 770   | 1510         | 0.264 | 2914.3             | 5715.2                          |
| 4  | 900   | 1470         | 0.264 | 3406.4             | 5563.8                          |
| 5  | 792   | 1420         | 0.264 | 2997.6             | 5374.5                          |
| 6  | 760   | 1470         | 0.264 | 2876.5             | 5563.8                          |
| 7  | 770   | 1500         | 0.264 | 2914.3             | 5677.3                          |
| 8  | 900   | 1500         | 0.264 | 3406.4             | 5677.3                          |
| 9  | 770   | 1480         | 0.264 | 2914.3             | 5601.6                          |
| 10   | 900   | 1490         | 0.264 | 3406.4             | 5639.5                          |
| Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> )   |   |              |       | 3071.0             | 5556.2                          |
| Promedio (Kg/mm <sup>2</sup> )   |   |              |       | 30.7               | 55.56                           |
| Observaciones: En este ensayo no se pudo obtener las gráficas esfuerzo & deformación debido a que la máquina de ensayo que más se acomodaba para el ensayo no contaba con este aditamento. |   |              |       |                    |                                 |

**Fuente: Tesis: Uniones Estructurales con Tirafones en Madera Quinilla Colorada (7)**

## CAPITULO IV

### ENSAYOS EN LABORATORIO

El presente trabajo se efectuó en la Universidad Nacional de Ingeniería, en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil (LEM), en la cual se desarrollaron los Ensayos Físicos y los Ensayos Mecánicos teniendo en cuenta las recomendaciones de las Normas ITINTEC y ASTM respectivamente.

#### ENSAYOS FÍSICOS:

Al efectuar los cálculos estadísticos se requiere un mínimo de repeticiones de cada ensayo para obtener conclusiones mas o menos aceptables (como se indica en las normas de INDECOPI).

1. **ENSAYO DE DENSIDAD BASICA:** En este ensayo se utilizaron 20 especímenes con dimensiones de: 1" x 1" de sección transversal y 4" de longitud, estas probetas fueron obtenidas del material en estudio, siguiendo la N.T.P. 251.011:2004.
2. **ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD:** En este ensayo se utilizaron 25 especímenes con dimensiones de: 1" x 1" de sección transversal y 4" de longitud, estas probetas fueron obtenidas del material en estudio, siguiendo la N.T.P. 251.010:2004.

#### ENSAYOS MECÁNICOS:

Para efectuar los ensayos mecánicos tanto el ensayo de extracción directa así como el cizallamiento se utilizaron 60 y 105 especímenes respectivamente, los cuales describimos detalladamente en el cuadro 6.

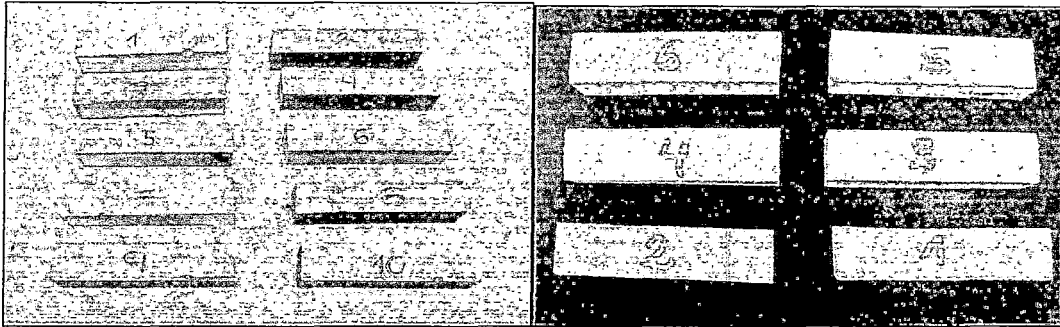
**Cuadro 6: CARACTERISTICAS DE LAS PROBETAS UTILIZADAS  
EN LOS ENSAYOS MECANICOS**

| ENSAYO              | MUESTRA                                | ESPECIMEN (pulg)                            |            |          |    |         |       |          |    | TIRAFON (pulg) |          | Profundidad de Penetracion | RELACION aD | N° ENSAYOS |        |   |
|---------------------|--|---|------------|----------|----|---------|-------|----------|----|----------------|----------|----------------------------|-------------|------------|--------|---|
|                     |  | PRINCIPAL                                   |            |          |    | LATERAL |       |          |    | Diámetro       | Longitud |                            |             |            |        |   |
|                     |  | espesor                                     | ancho      | longitud | N° | espesor | ancho | longitud | N° |                |          |                            |             |            |        |   |
| RESISTENCIA LATERAL | CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO | A.1.1                                       | 2          | 2        | 12 | 1       | 1/2   | 2        | 12 | 1              | 1/4      | 1 1/2                      | 1           | 2.00       | 5      |   |
|                     |  | A.2.1                                       | 3          | 2        | 12 | 1       | 1     | 2        | 12 | 1              | 1/4      | 2 1/2                      | 1 1/2       | 4.00       | 5      |   |
|                     |  | A.3.1                                       | 4          | 2        | 12 | 1       | 1 1/2 | 2        | 12 | 1              | 1/4      | 3 1/2                      | 2           | 6.00       | 5      |   |
|                     |  | A.1.2                                       | 2          | 2        | 12 | 1       | 1/2   | 2        | 12 | 1              | 3/8      | 1 1/2                      | 1           | 1.33       | 5      |   |
|                     |  | A.2.2                                       | 3          | 2        | 12 | 1       | 1     | 2        | 12 | 1              | 3/8      | 2 1/2                      | 1 1/2       | 2.67       | 5      |   |
|                     |  | A.3.2                                       | 4          | 2        | 12 | 1       | 1 1/2 | 2        | 12 | 1              | 3/8      | 3 1/2                      | 2           | 4.00       | 5      |   |
|                     |  | A.1.3                                       | 2          | 2        | 12 | 1       | 1/2   | 2        | 12 | 1              | 1/2      | 1 1/2                      | 1           | 1.00       | 5      |   |
|                     |  | A.2.3                                       | 3          | 2        | 12 | 1       | 1     | 2        | 12 | 1              | 1/2      | 2 1/2                      | 1 1/2       | 2.00       | 5      |   |
|                     |  | A.3.3                                       | 4          | 2        | 12 | 1       | 1 1/2 | 2        | 12 | 1              | 1/2      | 3 1/2                      | 2           | 3.00       | 5      |   |
|                     | C.2.1                                  | 1 1/2                                       | 2          | 12       | 1  | 3/4     | 2     | 12       | 1  | 1/4            | 1 1/2    | 3/4                        | 3.00        | 5          |        |   |
|                     | C.2.2                                  | 1 1/2                                       | 2          | 12       | 1  | 3/4     | 2     | 12       | 1  | 3/8            | 1 1/2    | 3/4                        | 2.00        | 5          |        |   |
|                     | C.2.3                                  | 1 1/2                                       | 2          | 12       | 1  | 3/4     | 2     | 12       | 1  | 1/2            | 1 1/2    | 3/4                        | 1.50        | 5          |        |   |
|                     | DOBLE PARALELO                         | C.1.1                                       | 1          | 2        | 12 | 1       | 1/2   | 2        | 12 | 2              | 1/4      | 2                          | 0           | 2.00       | 5      |   |
|                     | RESISTENCIA LATERAL                    | CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO | B.1.1      | 2        | 3  | 12      | 1     | 1/2      | 2  | 6              | 1        | 1/4                        | 1 1/2       | 1          | 2.00   | 5 |
|                     |  |   | B.1.2      | 3        | 3  | 12      | 1     | 1/2      | 2  | 6              | 1        | 3/8                        | 2 1/2       | 2          | 1.33   | 5 |
| D.1.2               |  |   | 1          | 3        | 12 | 1       | 1/2   | 2        | 6  | 1              | 3/8      | 1 1/2                      | 0           | 1.33       | 5      |   |
| D.1.3               |  |   | 1          | 3        | 12 | 1       | 1/2   | 2        | 6  | 1              | 1/2      | 1 1/2                      | 0           | 1.00       | 5      |   |
| D.2.1               |  |   | 1 1/2      | 3        | 12 | 1       | 3/4   | 2        | 6  | 1              | 1/4      | 1 1/2                      | 3/4         | 3.00       | 5      |   |
| D.2.2               |  |   | 1 1/2      | 3        | 12 | 1       | 3/4   | 2        | 6  | 1              | 3/8      | 1 1/2                      | 3/4         | 2.00       | 5      |   |
| D.2.3               |  |   | 1 1/2      | 3        | 12 | 1       | 3/4   | 2        | 6  | 1              | 1/2      | 1 1/2                      | 3/4         | 1.50       | 5      |   |
| DOBLE PERPENDICULAR |  |   | D.1.1      | 1        | 3  | 12      | 1     | 1/2      | 2  | 6              | 2        | 1/4                        | 2           | 0          | 2.00   | 5 |
| EXTRACCION DIRECTA  |  |   | EXTRACCION | E.1.1    | 2  | 2       | 6     | 1        |    |                |          |                            | 1/4         | 2 1/2      | 2.50cm |   |
|                     | E.1.2                                  | 2   |            | 2        | 6  | 1       |       |          |    |                | 3/8      | 2 1/2                      | 2.50cm      |            | 10     |   |
|                     | E.1.3                                  | 2   |            | 2        | 6  | 1       |       |          |    |                | 1/2      | 2 1/2                      | 2.50cm      |            | 10     |   |
|                     | E.2.1                                  | 2   |            | 2        | 6  | 1       |       |          |    |                | 1/4      | 2 1/2                      | 3.00cm      |            | 10     |   |
|                     | E.2.2                                  | 2   |            | 2        | 6  | 1       |       |          |    |                | 3/8      | 2 1/2                      | 3.00cm      |            | 10     |   |
|                     | E.2.3                                  | 2   |            | 2        | 6  | 1       |       |          |    |                | 1/2      | 2 1/2                      | 3.00cm      |            | 10     |   |

**Foto 5: PROBETAS PARA ENSAYOS FÍSICOS**

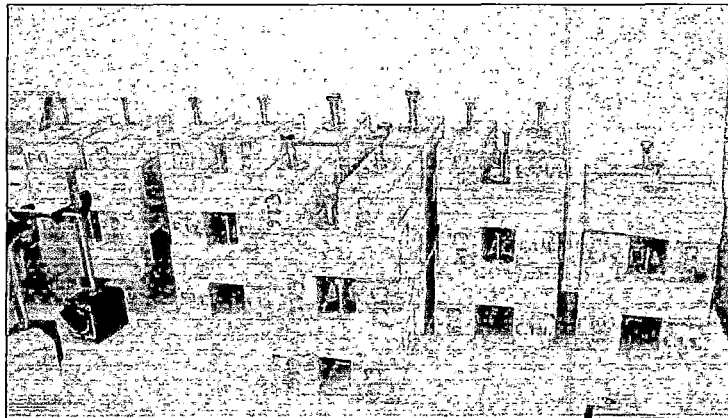
**DENSIDAD**

**CONTENIDO DE HUMEDAD**



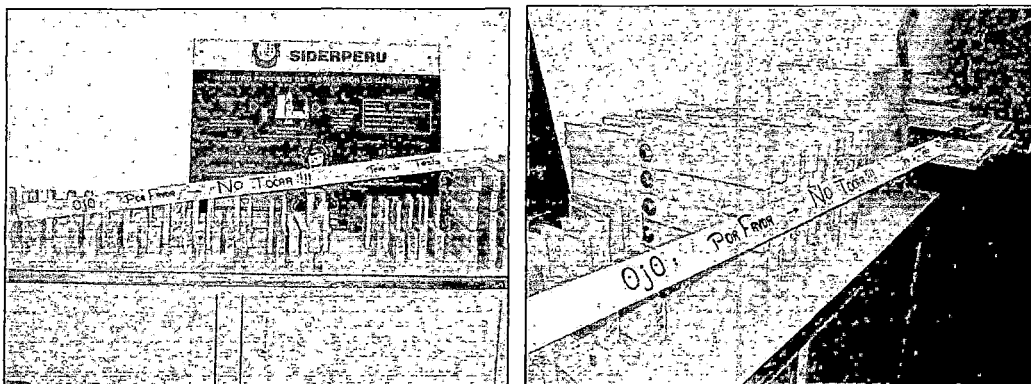
**Foto 6:**

**ESPECIMENES LISTOS PARA ENSAYO DE EXTRACCION DIRECTA**



**Foto 7:**

**ESPECIMENES LISTOS PARA ENSAYO DE CIZALLAMIENTO**





#### 4.1. METODOS Y PROCEDIMIENTOS

- **METODOS:**

Para los ensayos de resistencia de las uniones se seguirán en líneas generales las especificaciones dadas por las normas A.S.T.M. (American Society for Testing and Materials), INN (Instituto Nacional de Normalización) y otros procedimientos seguidos en la Sección de Construcciones Forestales de la Universidad Nacional Agraria de la Molina.

Tanto para la determinación del contenido de humedad y la densidad básica, se efectuaron según las Normas ITINTEC.

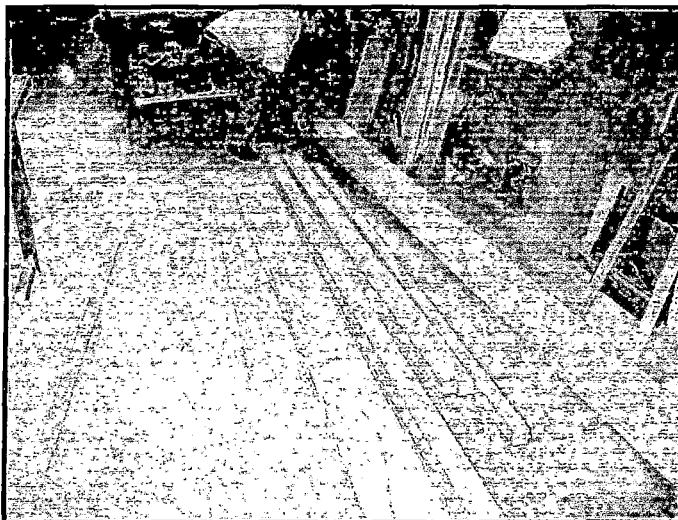
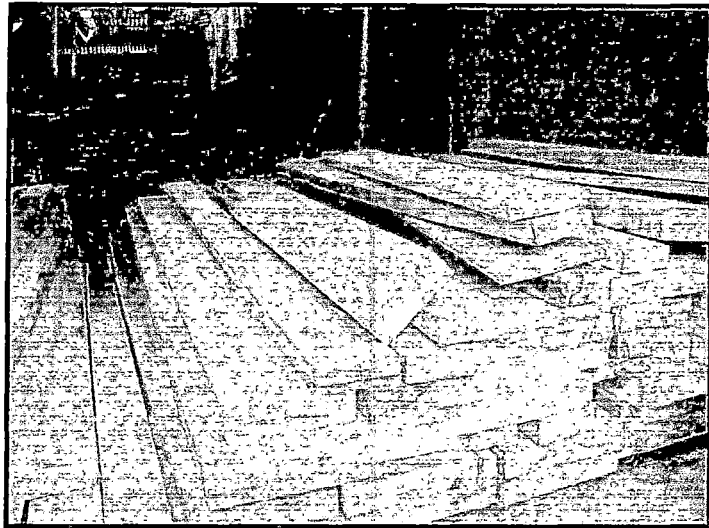
- **PROCEDIMIENTOS:**

Preparación de especímenes para ensayos, 105 para cizallamiento y 60 para extracción directa; con sus respectivos tirafones y arandelas para lo cual se procederá de la siguiente manera:

1. Clasificación visual de vigas de madera.
2. Dimensionamiento de piezas en las vigas de madera.
3. Corte y cepillado.
4. Realización de agujeros guías con el uso de taladro.
5. Colocación de tirafones - arandelas en cada espécimen de acuerdo al tipo de ensayo.
6. Realización del ensayo correspondiente para cada probeta específica.

Se realizaran ensayos de Cizallamiento y Extracción; para Cizallamiento se trabajara en 4 variaciones en los cuales se tomará lectura de datos de carga y deformación (105 ensayos - 5 replicas/ensayo), para Extracción la carga resistente y el tiempo de falla (60 ensayos - 10 replicas/ensayo).

**Foto 8:  
CLASIFICACION  
VISUAL**

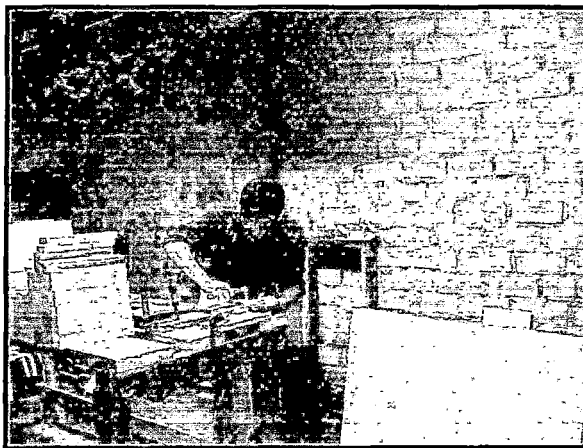
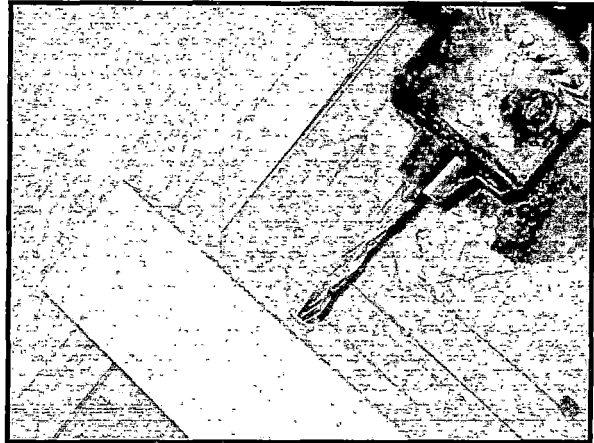


**Foto 9:  
DIMENSIONAMIENTO DE  
PIEZAS**



**Foto 10:  
CORTE Y CEPILLADO**

**Foto 11:  
PERFORACIONES GUIAS**



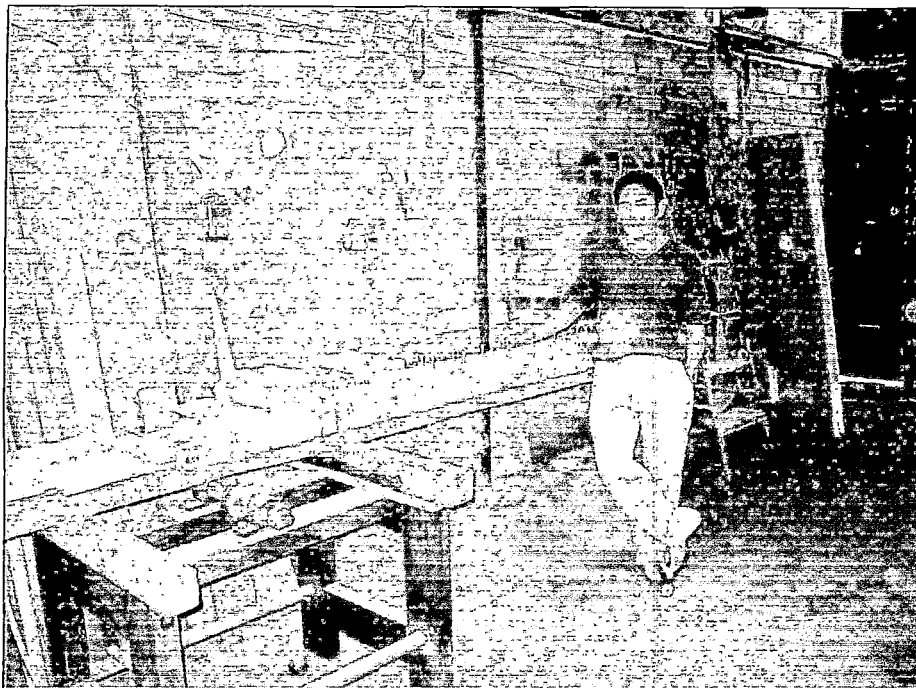
**Foto 12:  
COLOCACIÓN DE LOS  
TIRAFÓNES**

### ENSAYOS A REALIZAR



**Foto 13:  
PROBETAS PARA  
ENSAYO DE CIZALLAMIENTO O CORTE**

**Foto 14: PROBETAS PARA ENSAYO DE EXTRACCIÓN**



#### **4.1.1. METODOS DE ENSAYO SEGÚN NORMAS ASTM**

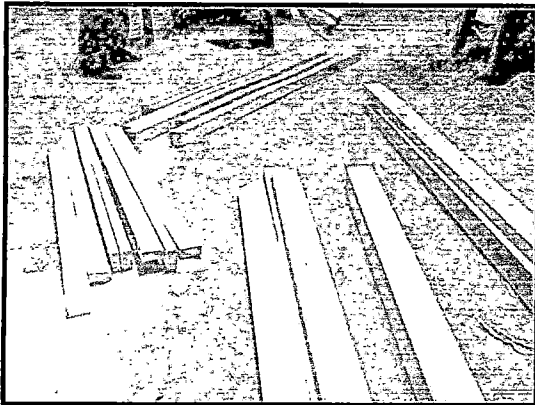
Para el procedimiento de ensayo de las propiedades mecánicas, se tomaron en cuenta las recomendaciones del ASTM (American Society for Testing and Materials) y el NDS *Commentary* – Anexo E

#### **4.1.2. MATERIALES Y EQUIPO:**

##### **Materiales**

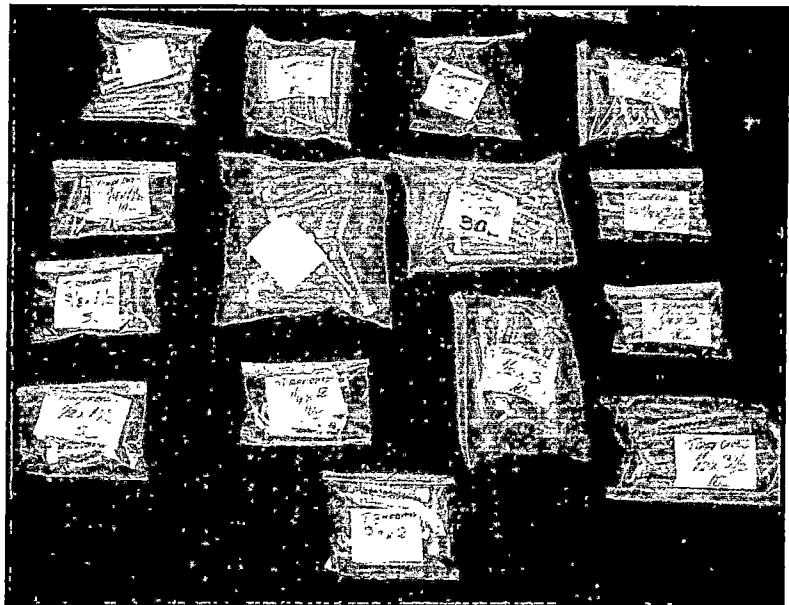
- ❖ **Madera:** Las muestras de madera ensayadas son de la especie Capirona (*Calycophyllum Spruceanum*), obtenidas en la maderera “Marreros” ubicada en la Av. Universitaria N° 4879 Parque Naranjal – Los Olivos en la ciudad de Lima, siendo las maderas provenientes de la ciudad de Ucayali.
- ❖ **Tirafones:** los especímenes fueron obtenidos de la Fabrica “IDIVSA – IMPORTADORA Y DISTRIBUIDORA S.A. Y PERNOS Y TUERCAS CORONA”. Ver Anexo D

- ❖ **Arandelas:** los especímenes fueron obtenidos de la Fabrica "IDIVSA – IMPORTADORA Y DISTRIBUIDORA S.A. Y PERNOS Y TUERCAS CORONA". Ver Anexo D
- ❖ **Grasa:** este material proporciona una mayor facilidad en la trabajabilidad al momento de colocar el tirafón en la madera, ya que su función es la de trabajar como lubricante entre el tirafón y el espécimen de madera dado.

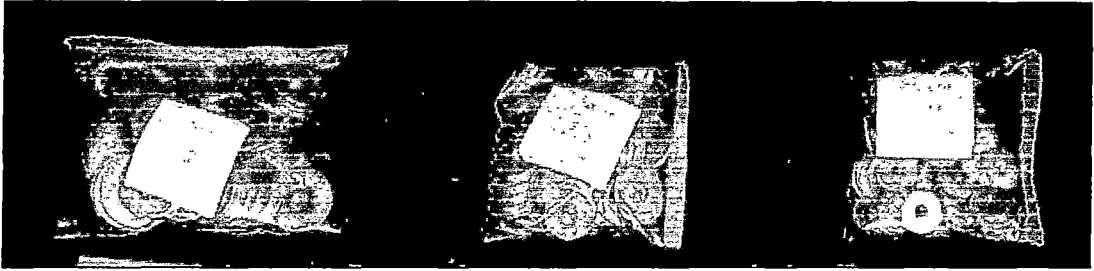


**Foto 15:**  
**VIGAS DE MADERA CAPIRONA**

**Foto 16:**  
**TIRAFONES USADOS**



**Foto 17: ARANDELAS USADAS**

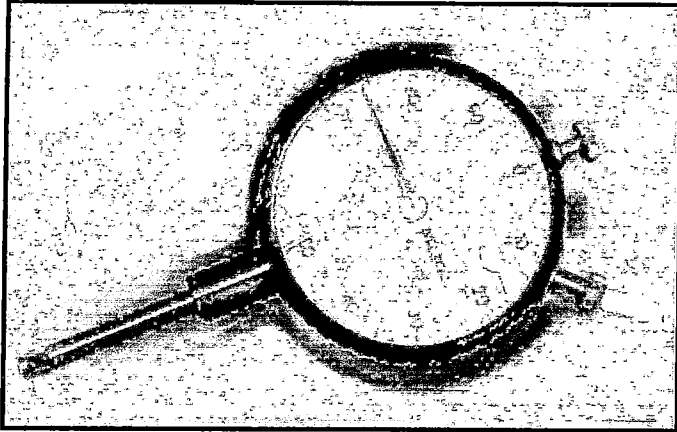


### Equipos

- ❖ **Maquina Universal Amsler:** Capacidad de 50 t, para los ensayos realizados la máquina tenía una velocidad constante de 2.00 mm/min aproximadamente.
- ❖ **Reloj Comparable:** Milésima de pulgada de precisión.
- ❖ **Taladro:** marca Progress - Modelo 3 – E
- ❖ **Planchas de Acero:** se usaron con el objetivo de servir como apoyo para el reloj comparable.
- ❖ **Prensas:** se utilizaron prensas de 1", 2" y 3" dependiendo de la muestra a la cual se le analizaba.

**Foto 18:  
MAQUINA UNIVERSAL AMSLER**

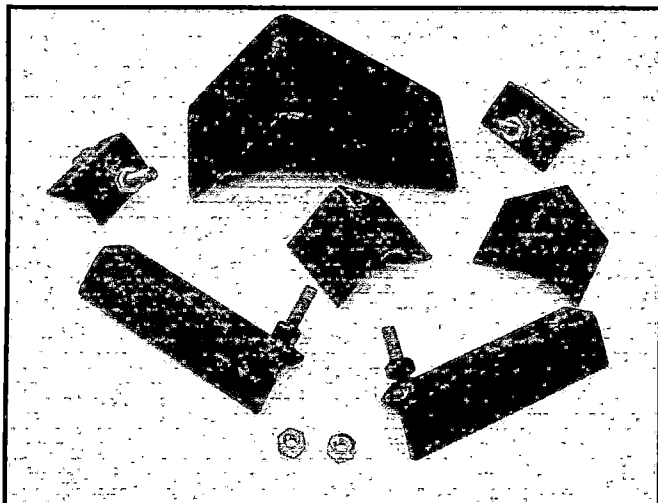




**Foto 19:**  
**RELOJ COMPARABLE**

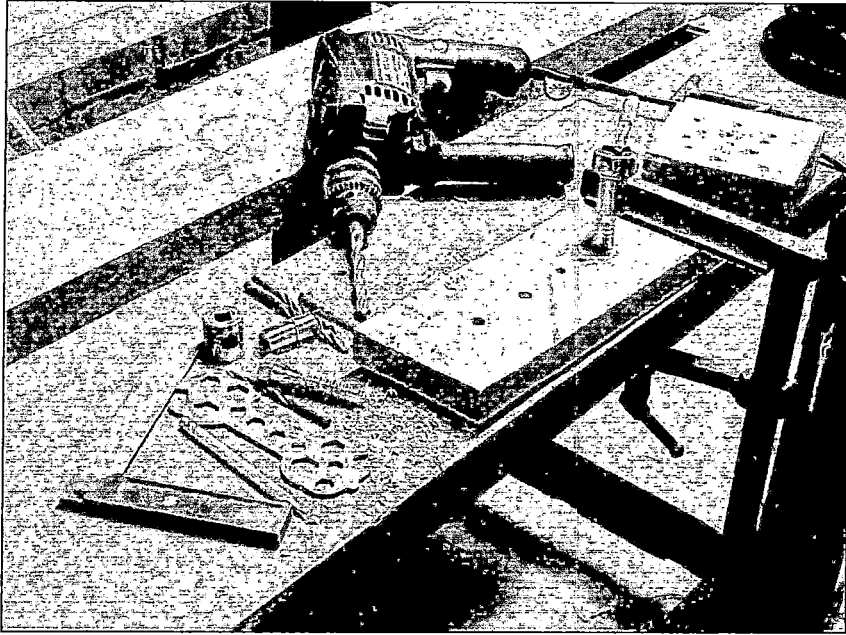


**Foto 20:**  
**PRENSAS**

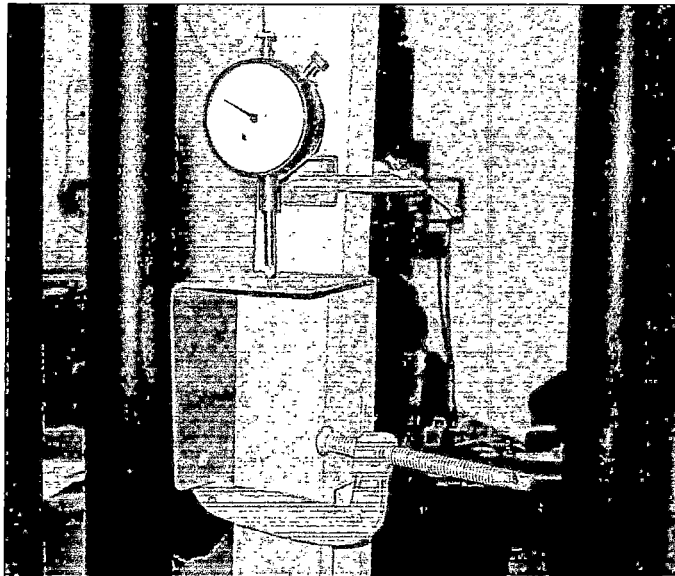


**Foto 21:**  
**PLANCHAS DE ACERO**

**Foto 22: TALADRO Y HERRAMIENTAS USADAS**



**Foto 23: PROBETA LISTA PARA ENSAYAR**

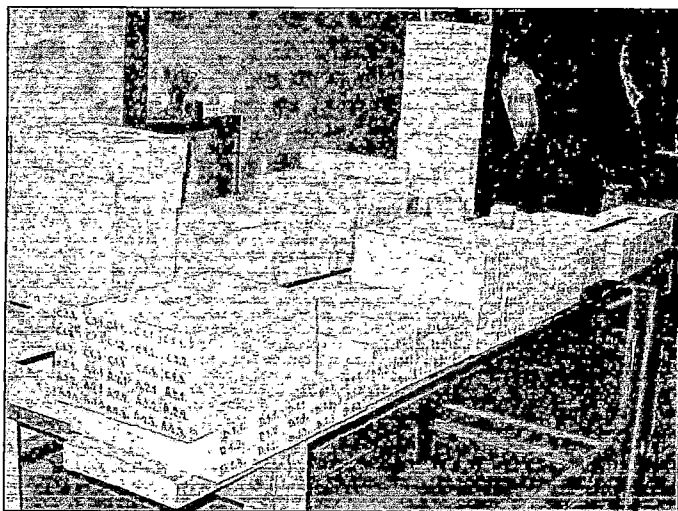




#### 4.1.3. NÚMERO DE PROBETAS POR CADA TIPO DE ENSAYO:

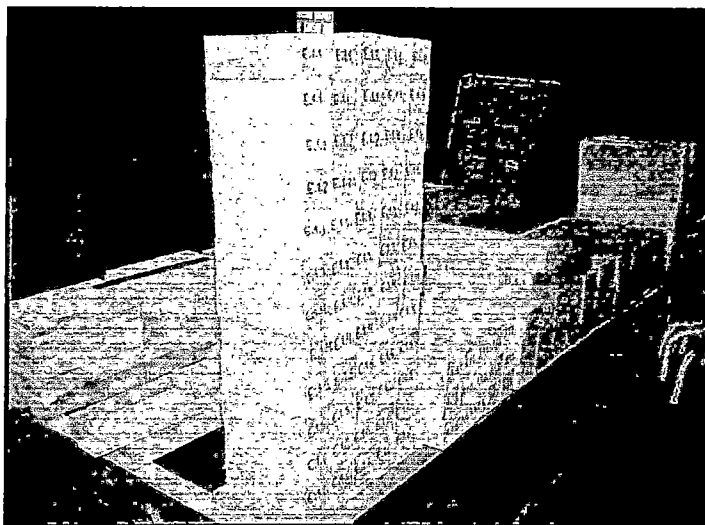
Para que los resultados de cada ensayo a realizar en el laboratorio de ensayos de materiales (LEM), tengan un mayor grado de exactitud y confiabilidad, es necesario que el número de especímenes sea el mayor posible.

Para cada tipo de ensayo se utilizaron dimensiones y cantidades diferentes los cuales describimos a continuación:



**Foto 24:**  
**PROBETAS PARA**  
**ENSAYO DE**  
**CIZALLAMIENTO**

**Foto 25:**  
**PROBETAS PARA**  
**ENSAYO DE EXTRACCION**  
**DIRECTA**



**Cuadro N° 7: ENSAYOS MECANICOS REALIZADOS**

|                            | ENSAYO   | MUESTRA | Nº ENSAYOS |
|----------------------------|--|---------|------------|
| <b>RESISTENCIA LATERAL</b> | <b>CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO</b>      | A.1.1   | 5          |
|                            |  | A.2.1   | 5          |
|                            |  | A.3.1   | 5          |
|                            |  | A.1.2   | 5          |
|                            |  | A.2.2   | 5          |
|                            |  | A.3.2   | 5          |
|                            |  | A.1.3   | 5          |
|                            |  | A.2.3   | 5          |
|                            |  | A.3.3   | 5          |
|                            |  | C.2.1   | 5          |
|                            |  | C.2.2   | 5          |
|                            |  | C.2.3   | 5          |
|                            | <b>DOBLE PARALELO</b>                              | C.1.1   | 5          |
|                            | <b>CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO</b> | B.1.1   | 5          |
|                            |  | B.1.2   | 5          |
|                            |  | D.1.2   | 5          |
|                            |  | D.1.3   | 5          |
|                            |  | D.2.1   | 5          |
| D.2.2                      |  | 5       |            |
| D.2.3                      |  | 5       |            |
| <b>DOBLE PERPENDICULAR</b> | D.1.1  | 5       |            |
| <b>EXTRACCIÓN DIRECTA</b>  | <b>EXTRACCIÓN</b>                                  | E.1.1   | 10         |
|                            |  | E.1.2   | 10         |
|                            |  | E.1.3   | 10         |
|                            | E.2.1  | 10      |            |
|                            | E.2.2  | 10      |            |
|                            | E.2.3  | 10      |            |
|                            |  |         |            |

## **4.2. ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS**

Como señalamos anteriormente los procedimientos realizados para la obtención de las propiedades físicas de nuestro proyecto, se realizaron siguiendo las recomendaciones de las normas ITINTEC.

### **4.2.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD:**

El Contenido de Humedad se define como el peso de agua contenida en la madera, expresada en porcentaje con respecto al peso de la madera seca al horno.

La madera constituida por elementos cuyas paredes están formadas por un material absorbente, puede contener agua bajo tres formas: Como agua libre, en las cavidades celulares, como agua hidrosópica impregnada en dichas paredes y como agua de constitución, formando parte de la estructura molecular.

La madera contiene una cantidad considerable de agua libre y el árbol empieza a perder agua considerablemente cuando es aserrado, hasta entrar en el equilibrio con la atmósfera circundante y que de acuerdo con experiencias de investigadores esta fluctúa entre el 18% y 12% de humedad según las estaciones del año.

La importancia de la determinación exacta del contenido de humedad de la madera es grande, debido a que todas las propiedades físicas y mecánicas dependen de ella. En esta investigación se utilizó el sistema de secado al horno.

**❖ Procedimiento:**

Se utilizaron especímenes con unas dimensiones de: 1" x 1" de sección transversal y 4" de longitud, se pesaron las muestras para obtener el peso húmedo (PH), luego se colocaron en el horno, se aplicó un calentamiento gradual hasta alcanzar los  $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , dejando las probetas a esta temperatura por un periodo mayor a 24 horas, Se retiraron las muestras del horno, se pesaron, se repitió el procedimiento hasta obtener el peso constante, o sea el peso seco al horno (PS).

**❖ Calculo de Resultados:**

$$\text{CH} = \frac{(\text{PH} - \text{PS}) \times 100}{\text{PS}} \quad (\%)$$

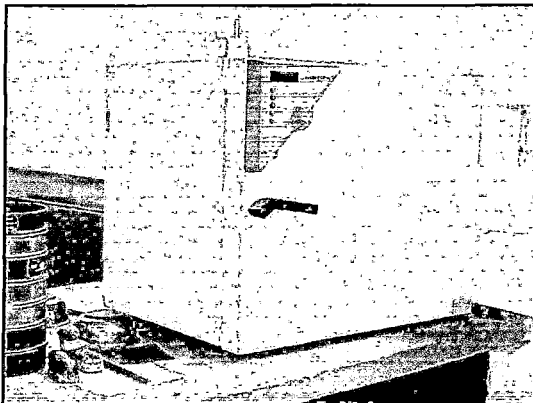
Donde:

**CH:** Contenido de Humedad.

**PH:** Peso Húmedo (gr.).

**PS:** Peso Seco (gr.).

En el cuadro 26, se muestran los contenidos de humedad de las probetas ensayadas.



**Foto 26:**  
**HORNO DE SECADO**

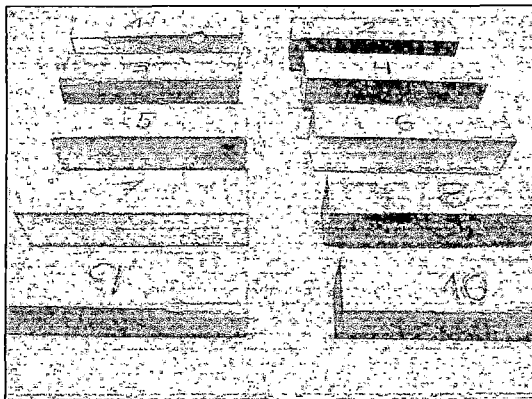
#### 4.2.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD BASICA:

Esta propiedad básica es una de las mas importantes, por cuanto la resistencia esta íntimamente relacionada a ella. Representa la relación entre el peso de la madera y el volumen de agua pura igual a su volumen.

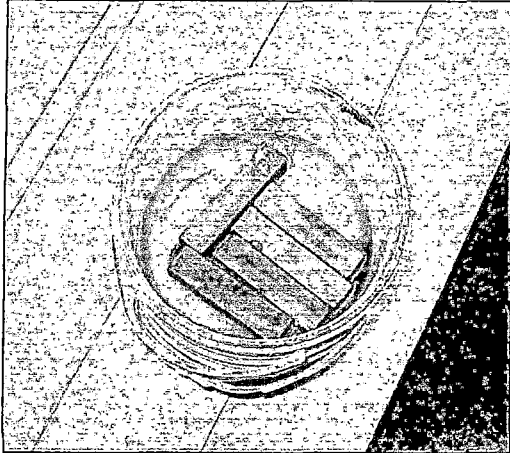
La importancia de la determinación exacta de la densidad básica de la madera es grande, debido a que todas las propiedades físicas y mecánicas dependen de ella. En esta investigación se utilizo el sistema de secado al horno.

##### ❖ *Procedimiento:*

Se utilizaron muestras con dimensiones de: 1" x 1" de sección transversal y 4" de longitud, las cuales se pesaron y luego se saturaron en agua de 20 a 24 horas, y se calculo el volumen saturado (VHS), empleándose para ello el método de medición indirecto por inmersión en agua. Luego se colocaron en el horno, se aplico un calentamiento gradual hasta alcanzar los  $100^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , dejando las probetas a esta temperatura por un periodo mayor a 24 horas, Se retiraron las muestras del horno, se pesaron, obteniéndose así el peso seco al horno (PS).

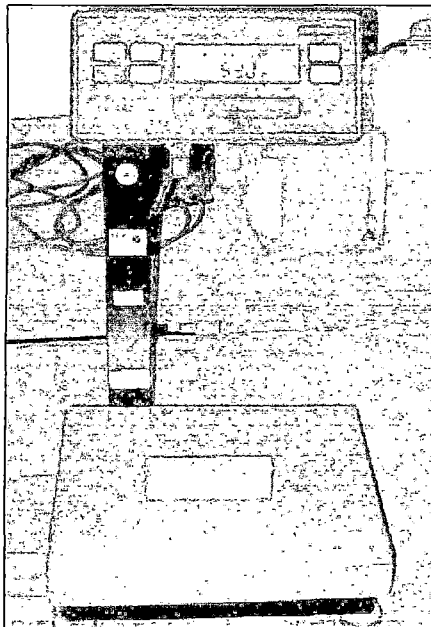
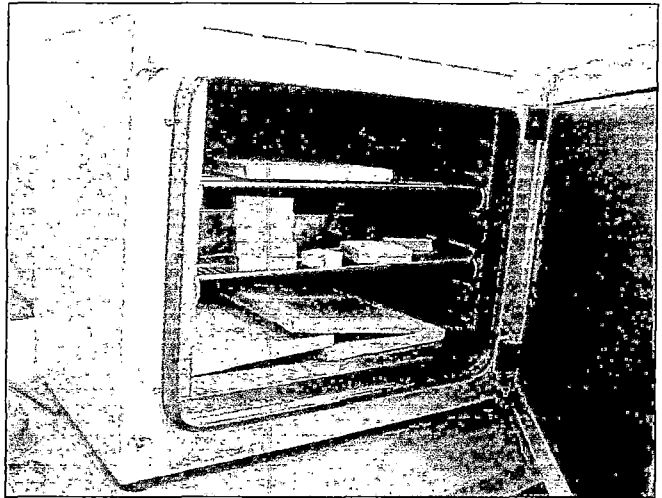


**Foto 27:**  
**PROBETAS SELECCIONADAS**



**Foto 28:**  
**PROBETAS SATURANDOSE**

**Foto 29:**  
**PROBETAS EN EL HORNO**



**Foto 30:**  
**PROBETA SECA PESADA EN LA  
BALANZA**

**❖ Cálculo de Resultados:**

$$DB = \frac{PS}{VHS}$$

Donde:

**DB:** Densidad Básica.

**PS:** Peso Seco (gr.).

**VHS:** Volumen Húmedo o Saturado (cm<sup>3</sup>).

En el cuadro 25 se muestran los valores de la Densidad básica de las probetas estudiadas.

### 4.3. Ensayos para determinar las Propiedades Mecánicas

Las propiedades mecánicas de resistencia de la madera, se miden por las deformaciones que experimentan al ser aplicadas fuerzas externas. Se entiende por fuerza externa, la fuerza que se aplica exteriormente a un material, orientada a deformarla o cambiar sus dimensiones. Dichas deformaciones, también pueden ser causadas por la acción de fuerzas internas almacenadas íntegramente dentro del material, tal como sucede en madera que con un cambio del contenido de humedad se altera sus propiedades, de estas fuerzas depende estrictamente la resistencia y de ellas se ocupa el estudio de las propiedades mecánicas de la madera.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera, se obtiene a través de la experimentación en los laboratorios con ayuda de aparatos especiales de prueba, teniendo en cuenta que la madera por compleja de su estructura es decir de la constitución interna, la hace diferente a cualquier otro material estructural a parte del gran número de factores que influyen en sus características mecánicas y que por lo consiguiente la hace muy variable, repercutiendo en el número de pruebas que hay que realizar para poder obtener un valor promedio que comprenda todos los factores que puedan influir como son el tamaño, edad, aspecto general del árbol, lugar de obtención del espécimen ubicación de la probeta en el árbol, etc.

#### 4.3.1. ENSAYO DE EXTRACCION DIRECTA:

El último estudio realizado acerca de uniones (7), indica que la resistencia a la extracción depende del diámetro del agujero guía, del diámetro del tirafón, de la profundidad de penetración del tirafón dentro del miembro que recibe la punta, la especie, el contenido de humedad de la madera y de la dirección en que penetra el tirafón con relación a la dirección del grano de la madera. El mismo estudio encontró los siguientes resultados:

- **Agujeros Guías:** Aparentemente no existe una variación en la resistencia para diversas razones del diámetro de agujero guía con el diámetro del tirafón. Sin embargo, otras bibliografías indican lo contrario.
- **Profundidad de Penetración:** La resistencia a la extracción de tirafones de cualquier diámetro y cualquier especie de madera, varía directamente con la profundidad de penetración. Menciona que una penetración de la parte roscada igual a 7 veces el diámetro de la caña en las maderas mas densas y de 10 a 12 veces el diámetro de la caña en la madera mas liviana, desarrollara el máximo de la resistencia del tirafón.
- **Densidad:** Ninguna propiedad aislada proporciona un criterio tan bueno respecto a la resistencia a la extracción directa de un tirafón, como la densidad de la madera; indica que la resistencia a la extracción de tirafones varía según la potencia  $3/2$  de la densidad de la madera (basada en el volumen y peso de la madera seca al horno).
- **Diámetro del Tirafón:** Para una especie dada, la carga de extracción por centímetro de penetración varía aproximadamente con potencia  $3/4$  del diámetro del tirafón.



- **Cargas Admisibles a la Extracción:** Las cargas admisibles a la extracción, con un factor de seguridad de aproximadamente 5, pueden ser expresadas en términos de una constante, de la densidad de la madera y del diámetro del tirafón, en forma tal que:

$$W = K_W G^{3/2} D^{3/4}$$

Fuente: *NDS Commentary* (12)

Donde:

W: Carga a la extracción permisible por centímetro de penetración de la parte roscada del tirafón sobre la cara lateral de la madera seca (kg).

G: Densidad específica de la madera seca al horno.

D: diámetro de la cana del tirafón (cm).

K<sub>w</sub>: 160.

La NDS indica que el valor de K<sub>w</sub>, el cual Hansen le da un valor de 160, representa 1/5 de una constante promedio, de la densidad de la madera bien seca y del diámetro del tirafón, obtenido de la carga máxima de ensayo de la unión, incrementándose en 20%; 10% por el cambio de carga de permanente a normal y 10% por experiencia.

Para el presente estudio se hicieron 2 grupos de pruebas a la extracción directa con la finalidad de indicar:

- La variación de la resistencia debido al cambio en la profundidad de penetración.
- La variación de la resistencia debido al cambio en diámetro del tirafón.

## TAMAÑO DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

El ensayo de extracción para tirafones fue hecho con especímenes de 2 pulg. x 2 pulg. de sección transversal y 6 pulg. de longitud, tomando como referencia base la Norma ASTM D-1761-88T- Ensayo de extracción para Tornillos – Figura 5

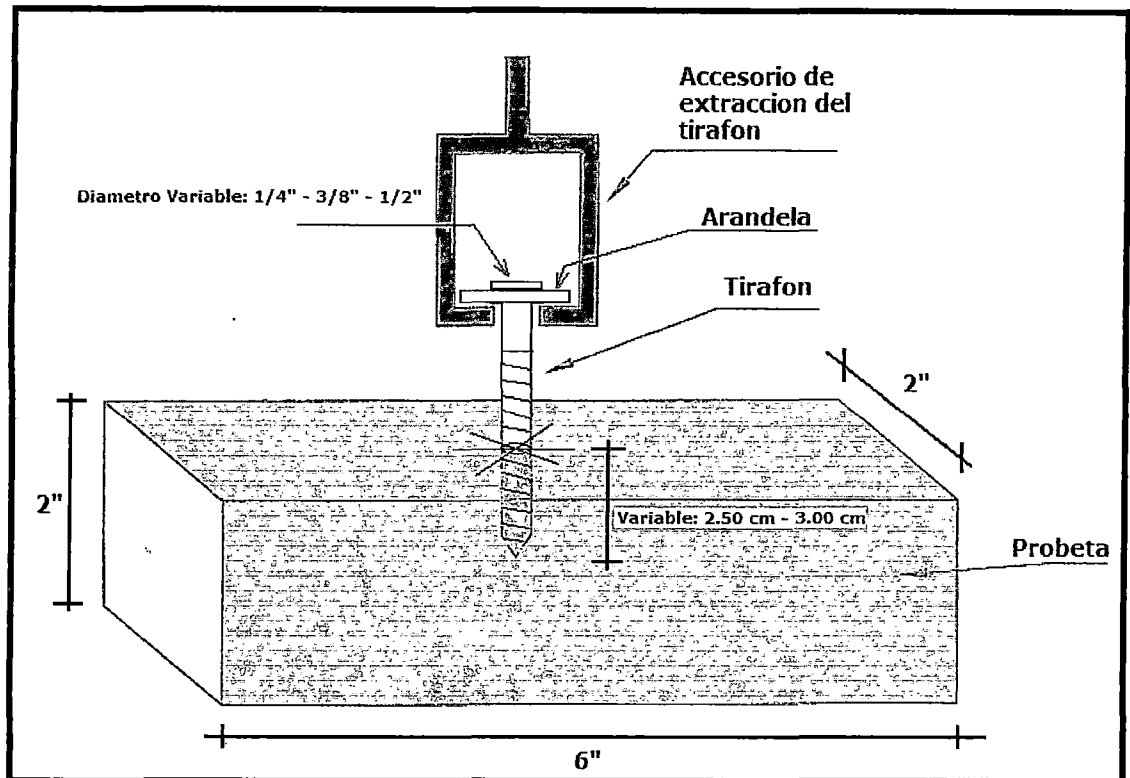
La sección transversal no tuvo una orientación bien definida en términos de las direcciones radial y tangencial. Esto fue debido a las limitaciones de la madera disponible, cabe que en la tesis de grado sobre Uniones Estructurales de madera Tornillo “*humiriastrum excelsum*”, Campos Mattos y Cano Delgado demostraron que la resistencia a la extracción en la cara radial y tangencial no varía.

La distancia a los bordes fue mayor que 3/4 (19mm), cumpliendo así con los espaciamientos mínimos para el tirafón de 1/2”, el cual fue el de mayor diámetro ensayado.

## TIRAFONES UTILIZADOS

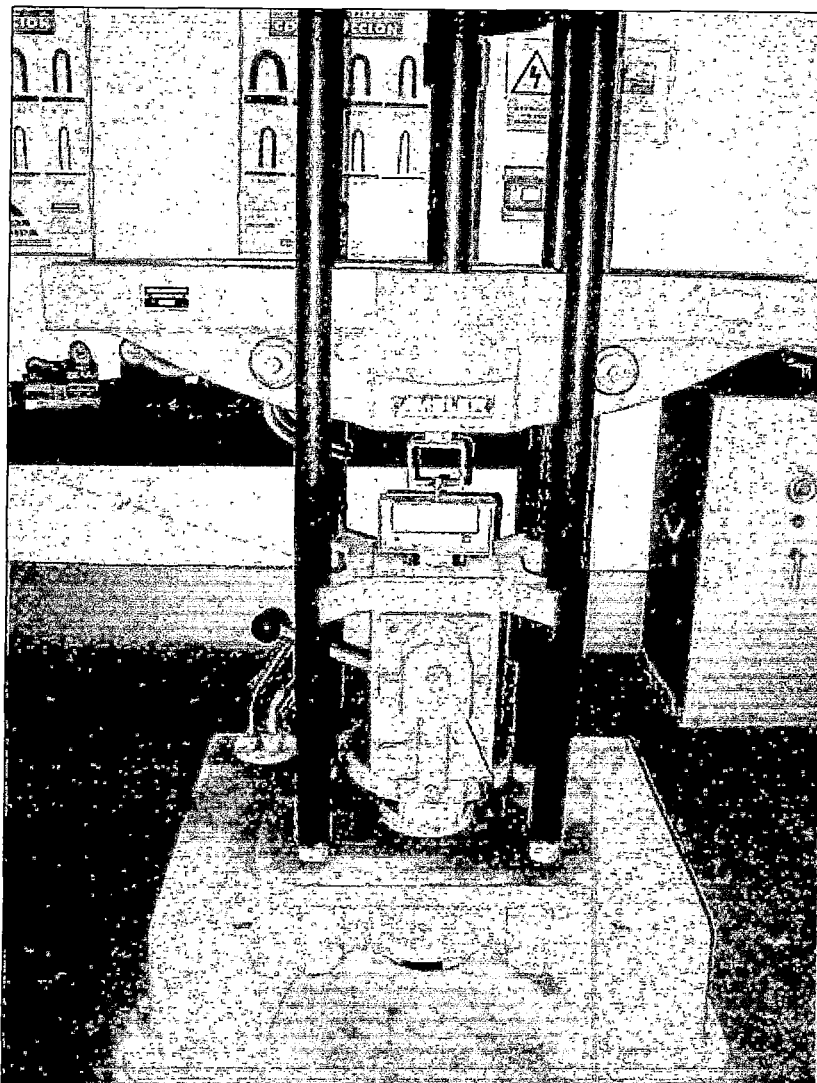
No se pudo utilizar la longitud de tornillos recomendadas por la norma ASTM debido a que se deseaba probar con dos profundidades diferentes y que el accesorio de la maquina Universal AMSLER de 50 toneladas no cogía tirafones en menor longitud. El accesorio tenía una abertura de 1.5cm con la finalidad de poder probar diferentes diámetros. Para el ensayo se vio conveniente colocar 1 arandela en la parte inferior de la cabeza del tirafón logrando un mejor agarre. Ver foto 32

Finalmente se usaron tirafones de 2½” de longitud, 1/4”, 3/8” y 1/2” de diámetro.

**Figura 5: ESQUEMA - ENSAYO EXTRACCION DIRECTA**

El equipo utilizado para el ensayo de extracción, es una maquina universal marca AMSLER. Este es un equipo eléctrico e hidráulico, el cual se compone de dos partes: un sistema de control y un sistema que permite someter a tracción a los elementos de ensayo. Para el presente estudio este sistema se acondiciono con accesorios especiales. Los accesorios para el ensayo fueron de acuerdo con las especificaciones del ASTM.

**Foto 31: MAQUINA UNIVERSAL AMSLER  
ENSAYO EXTRACCION DIRECTA**



### **PROCEDIMIENTO DE ENSAYO**

Para el ensayo, las muestras fueron pretaladradas a diferentes penetraciones (25 mm y 30 mm) a 80% del diámetro del tirafón. La ubicación de estos agujeros en la superficies se hizo en forma precisa, para uniformizar la distribución en todas las probetas, además de asegurar que las distancias del tirafón a los bordes de la probeta no fueron menores que lo especificado en el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino. Luego los tirafones fueron introducidos perpendicularmente a la superficie de las probetas.

Todos los tirafones de cada probeta fueron colocados en el instante e inmediatamente sometidos a la prueba de extracción.

En el cuadro 27, se muestran los valores del ensayo de Extracción Directa.

**Foto 32: ENSAYO DE EXTRACCION DIRECTA**



#### 4.3.2. ENSAYO DE CIZALLAMIENTO:

##### TAMAÑO DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

Para el diseño de probetas tomaron en cuenta las recomendaciones del ASTM (1988) – Stándar Test Methods for Mechanical Fastener in Wood (2), y el NDS *Commentary* – Part IX: Lag Screws (12). Se escogió el ensayo de cizallamiento simple y doble, pues estos son usados generalmente en los trabajos de madera. Las dimensiones de las probetas utilizadas se encuentran especificadas en el cuadro 6 “Ensayos Realizados”.

La madera estuvo bajo techo en la maderera “Marreros” aproximadamente 1 mes. Luego se determinaron las dimensiones de las probetas a usar. El cepillado fue realizada en la misma maderera mientras que el corte y alineado de las probetas fueron hechas en la carpintería “Iquitos Mío”, así mismo en dicho lugar se fabricaron todas la probetas. Para ello se utilizo sierra eléctrica, cepilladora eléctrica, taladro eléctrico, prensa de mano y llave inglesa.

Para introducir los tirafones se tuvo gran dificultad, a pesar de las perforaciones guías con un diámetro de broca al 80% del diámetro del tirafón – Ver cuadro 8.

**Cuadro 8: DIMENSIONES DE BROCAS USADAS**

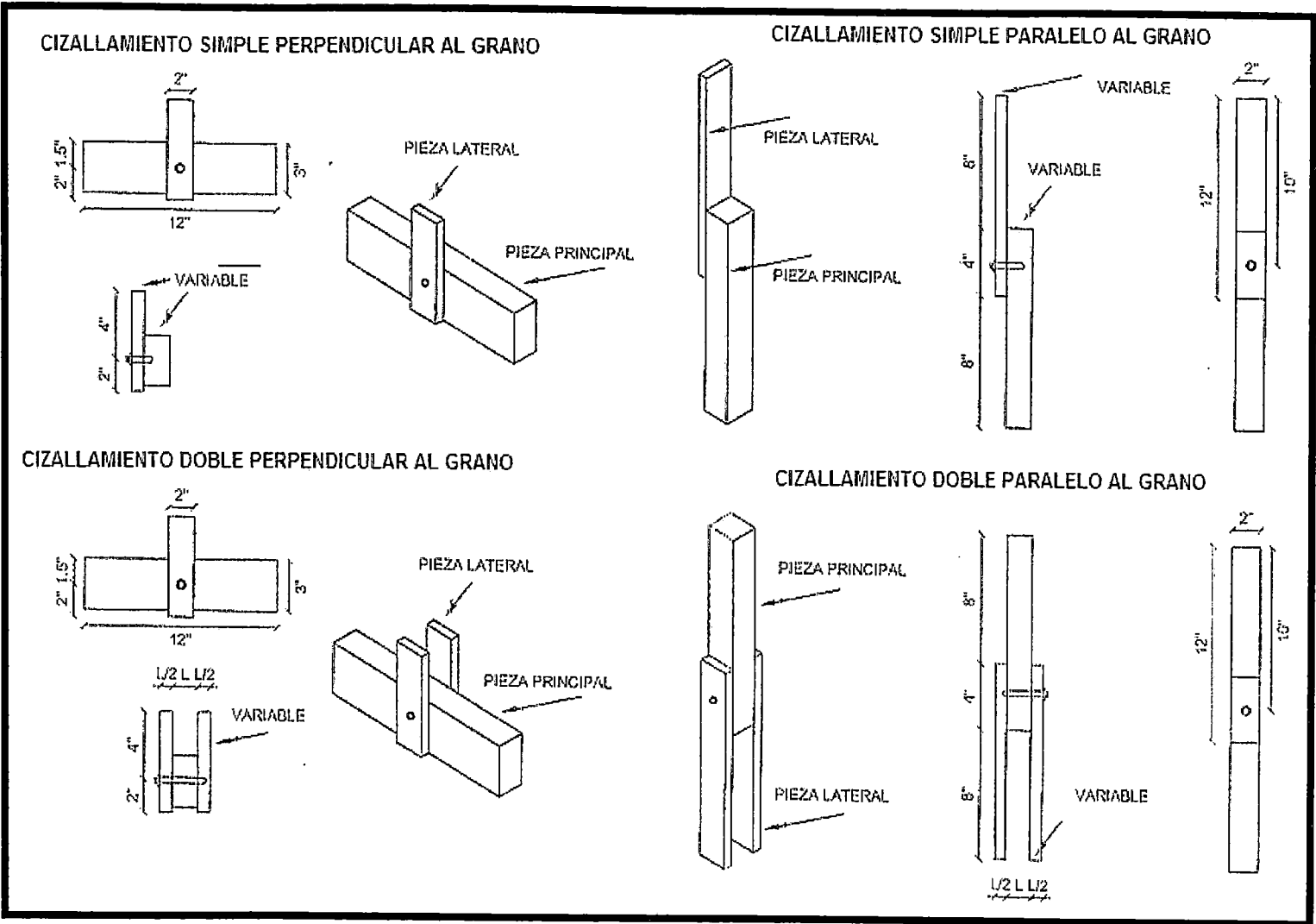
| Diámetro del Tirafón | Diámetro de Broca |               |
|----------------------|-------------------|---------------|
|                      | Caña              | Parte Roscada |
| 1/4                  | 1/4               | 3/16          |
| 3/8                  | 3/8               | 5/16          |
| 1/2                  | 1/2               | 7/16          |

A fin de no obtener un desnivel en las caras de apoyo de las probetas se procedió antes del ensayo a un cepillado y una corrección particular a las probetas que no cumplían con el nivel adecuado; esto para obtener un resultado mas preciso y no existan esfuerzos en zonas particulares.

Una vez listas las probetas a ensayar se procedió a colocarles un accesorio constituido de planchas metálicas y prensas pequeñas, estas ultimas tenían la función de mantener estable las planchas que poseían al reloj comparable y servían de piso de tal manera que la punta de la aguja del dial descansara en dicha plancha. Ver Foto 23 “Probeta Lista Para Ensayar”.

Se desarrollaron cuatro tipos de ensayos de cizallamiento, dos de cizallamiento simple y dos de cizallamiento doble. Ver Figura 6

Figura 6: ENSAYOS DE CIZALLAMIENTO REALIZADOS



## APARATOS Y ACCESORIO UTILIZADOS

La maquina de prueba tenia una velocidad constante de 2mmmm/min aproximadamente hasta terminar la prueba. Las maquinas q se utilizaron fueron:

- ❖ Maquina Universal Amsler
- ❖ Reloj Comparable
- ❖ Sierra Circular
- ❖ Planchas de Acero
- ❖ Prensas
- ❖ Tirafones
- ❖ Arandelas circulares
- ❖ Taladro
- ❖ Brocas

## PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Una vez listas las probetas se coloca el accesorio (Ver foto 27), luego se procede a colocar el reloj comparable, el cual es sujetado por el accesorio creado, en seguida se ajusta la Maquina Universal al tipo de ensayo a realizar y se coloca el espécimen dentro del mismo para proceder con el ensayo. Ver foto 33.

Se tomaron lecturas cada 50 kg, sin embargo, las probetas iniciales fueron consideradas a 100 kg, debido al acondicionamiento del ensayo.

La velocidad de carga fue de 2 mm/min fue constante según la especificación ASTM.

Una vez ensayado el espécimen, se procedía a retirar el accesorio creado para colocarlo al siguiente espécimen por ensayar, así sucesivamente con el resto de los especimenes.



### **Cizallamiento Simple Paralelo al Grano:**

Este ensayo constituido por un plano de corte presenta un espécimen el cual estuvo formado por dos miembros de madera de la misma especie (Capirona), unidos por medio de un tirafón pasando a través de la pieza más delgada (pieza lateral) y entrando al elemento principal. (Ver foto 34)

La posición de la pieza de ensayo era tal, que la línea de fuerza pasaba aproximadamente por el tirafón en el punto donde se juntaba la pieza de unión con el trozo principal. El agujero guía en la pieza de unión tenía un diámetro igual al del vástago del tirafón, y en el trozo principal, el diámetro era el que previamente había sido recomendado para la especie particular (80% del diámetro del tirafón).

El tamaño de las probetas es fundamental ya que el espesor de las piezas laterales "e", va relacionado directamente con el diámetro "D" de los tirafones.

Siendo  $e/D$  la razón entre el espesor de la pieza lateral y el diámetro del tirafón. El programa de ensayos estuvo limitado al escoger los diámetros debido a que se estaba trabajando con madera ya aserrada, así se seleccionaron los diámetros y longitudes de acuerdo a las posibilidades.

Según recomendaciones del ASTM se dispuso que cada tipo de muestra tuviera cinco ensayos, para lograr resultados apropiados y con mínimo margen de error.

### **Cizallamiento Simple Perpendicular al Grano:**

En este ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano se tienen consideraciones similares que el ensayo anterior debido a que ambos ensayos poseen un plano de corte y la variabilidad en el espesor de sus especímenes. Teniendo que considerar que el miembro principal posea por lo menos el doble del espesor que el lateral "e". Siendo  $e/D$  la razón entre el espesor de la pieza lateral y el diámetro del tirafón del mismo modo que el ensayo paralelo, la

diferencia entre ambos se encuentra en el ángulo recto que forma la pieza lateral y la principal. Ver foto 34.

### **Cizallamiento Doble Paralelo al Grano:**

Este ensayo considera el mismo procedimiento del ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano, con la diferencia que un solo tirafón atraviesa tres piezas (2 laterales y 1 principal), además considerando que el miembro principal posea el doble del espesor que el lateral "e"; el análisis es distinto debido que en este caso se aprecian dos planos de corte. Ver foto 35.

### **Cizallamiento Doble Perpendicular al Grano:**

Este ensayo considera el mismo procedimiento y análisis del ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano, con la diferencia que las piezas laterales forman un ángulo recto con el elemento principal. Ver foto 37.



**Foto 33:**  
**MAQUINA UNIVERSAL AMSLER**  
**ENSAYO DE CIZALLAMIENTO**

Foto 34

ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO



Foto 35

ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO

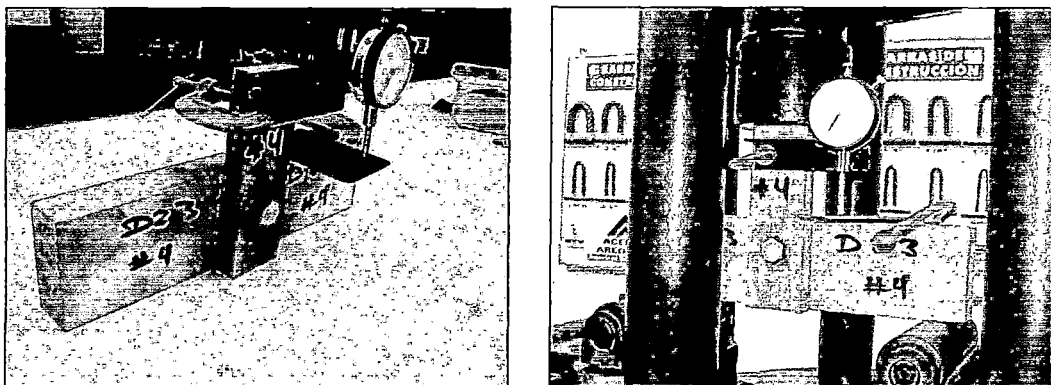


Foto 36

**ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DOBLE PARALELO AL GRANO**

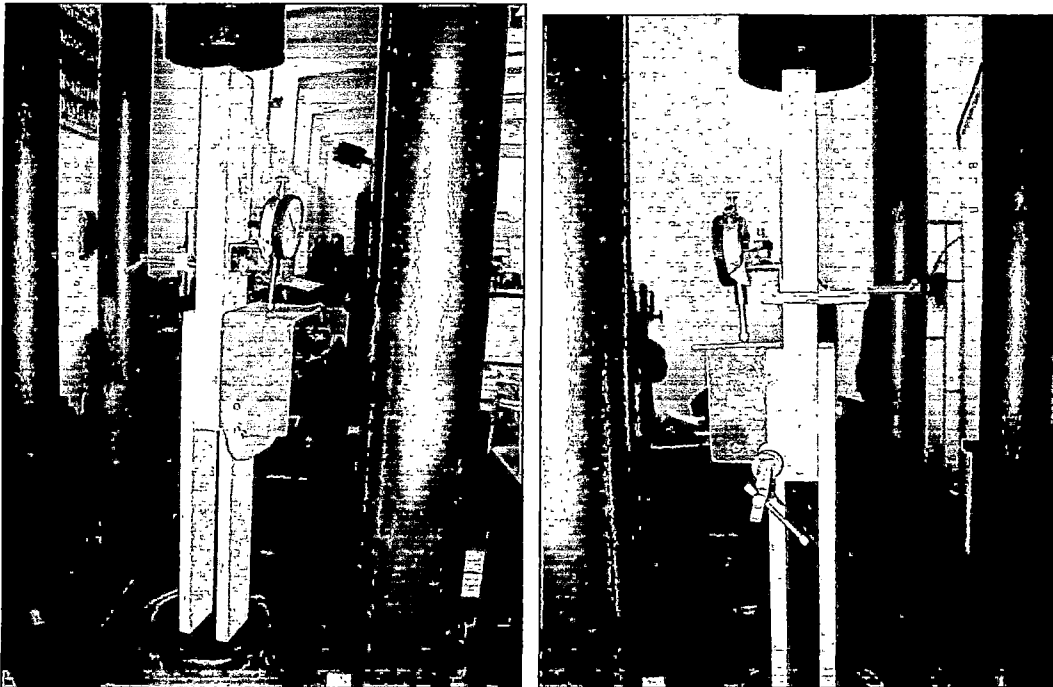
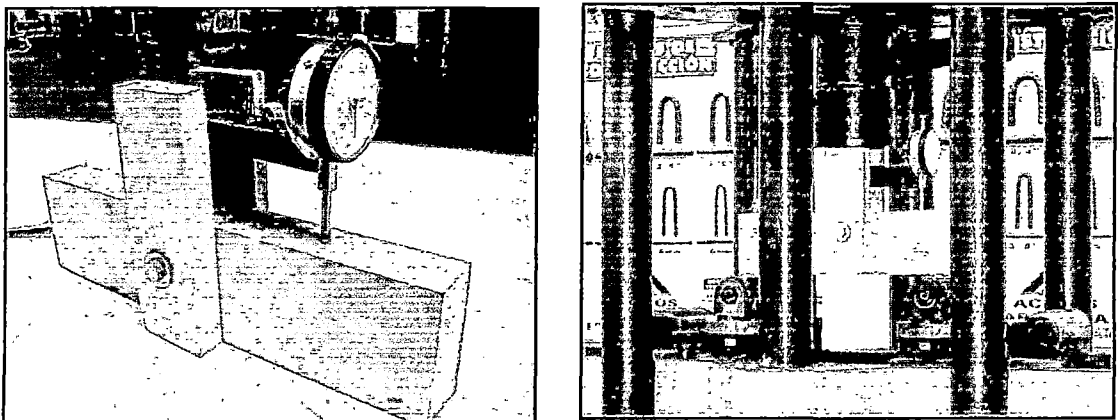


Foto 37

**ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DOBLE PERPENDICULAR AL GRANO**



## CAPITULO V

### ANALISIS DE RESULTADOS

Los cuerpos absolutamente rígidos, indeformables, no existen en la realidad. Las deformaciones de los cuerpos, debida a la acción de cargas, en realidad son pequeñas y en general pueden ser detectadas solamente con instrumentos especiales. Las deformaciones pequeñas no influyen sensiblemente sobre las leyes del equilibrio y del movimiento del sólido.

Sin embargo, sin el estudio de estas deformaciones seria imposible resolver un problema de gran importancia práctica como es el de determinar las condiciones para las cuales puede tener lugar la falla de una pieza, o aquellas en las que la misma puede servir sin tal peligro.

Entenderemos por falla de una estructura o de determinadas partes de la misma: a la rotura, o sin llegar a ello, a la existencia de un estado inadecuado. Esto último puede ocurrir por varios motivos: deformaciones demasiado grandes, falta de estabilidad de los materiales, fisuraciones, pérdida del equilibrio estático por pandeo, abollamiento o vuelco, etc.

### 5.1 PROCESAMIENTO DE DATOS OBTENIDOS

A continuación presentaremos los resultados obtenidos de los ensayos físicos realizados (Ver Anexo A) al espécimen estudiado (Madera Capirona) de acuerdo al siguiente orden:

| ESPECIE  | DENSIDAD<br>BASICA<br>g/cm <sup>3</sup> | CONTENIDO<br>DE HUMEDAD<br>(%) |
|----------|---|--------------------------------|
| CAPIRONA | 0.728                                   | 24.075                         |

### ELABORACIÓN DE LAS TABLAS DE DISEÑO

Con los datos obtenidos de las pruebas se dibujaron los curvas correspondientes a carga – deformación de cada una de las probetas; como indican los gráficos realizados. Ver Anexo F

De las bibliografías empleadas tanto de la tesis de la Ingeniera Claudia Paredes y la *National Design Specification (NDS)*, consideramos la obtención de la carga de diseño según las pautas indicadas por estos autores. Tal como se muestra a continuación:

- Resistencia al Cizallamiento

$$\text{Valor de Diseño} = \text{Carga Admisible} = \frac{\text{Valor de la Carga al Limite Proporcional}}{2.25} \times 1.20$$

- Resistencia a la Extracción

$$\text{Valor de Diseño} = \text{Carga Admisible} = \frac{\text{Valor de la Carga Máxima}}{5} \times 1.20$$

## 5.2 ANALISIS ESTADISTICO DE RESULTADOS

### 5.2.2. ANALISIS DE RESULTADOS

#### 5.2.2.1. Extracción Directa

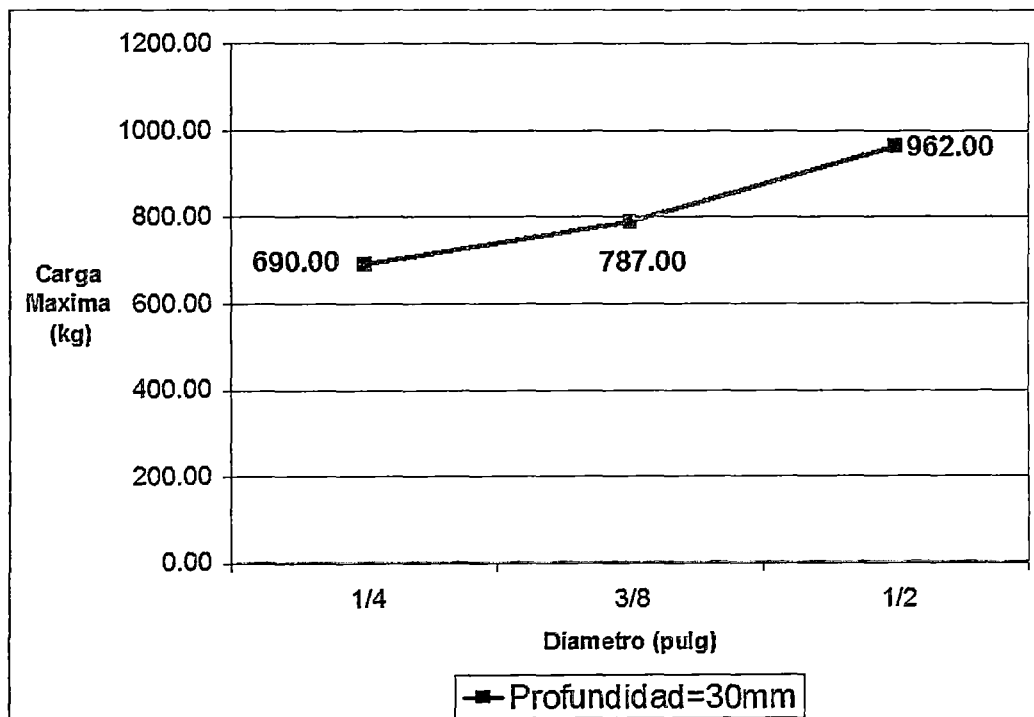
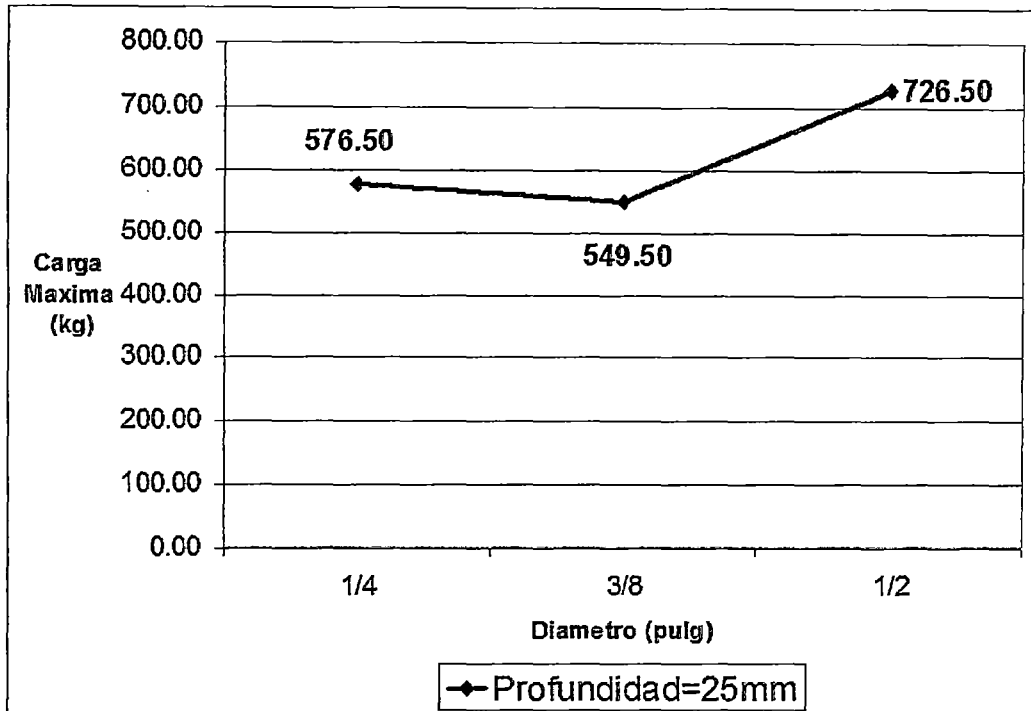
- ❖ Realizando el calculo estadístico correspondiente para nuestros datos obtenidos en los cuadros 27 de Extracción Directa (Anexo A), los cuales nos indican que realizamos 60 ensayos en total, con 3 diferentes diámetros (1/4", 3/8" y 1/2") y estas a su vez en 2 profundidades diferentes de penetración (25 mm y 30 mm) podemos resumir en el siguiente cuadro:

**Cuadro 9: CALCULO ESTADISTICO**

| Tirafón           |                      | Carga Máxima (Kg) |                  |        |                              |
|-------------------|----------------------|-------------------|------------------|--------|------------------------------|
| Largo (pulg)/(mm) | Diámetro (pulg)/(mm) | Profundidad (mm)  | Media Aritmética | CV (%) | Intervalo de Confianza (95%) |
| 2½ (63.5)         | 1/4 (6.33)           | 25.00             | 576.50           | 29.51  | 98.60                        |
|                   |                      | 30.00             | 690.00           | 20.30  | 81.18                        |
| 2½ (63.5)         | 3/8 (9.39)           | 25.00             | 549.50           | 34.82  | 110.92                       |
|                   |                      | 30.00             | 787.00           | 18.94  | 86.41                        |
| 2½ (63.5)         | 1/2 (12.7)           | 25.00             | 726.50           | 8.68   | 36.56                        |
|                   |                      | 30.00             | 962.00           | 5.21   | 29.05                        |

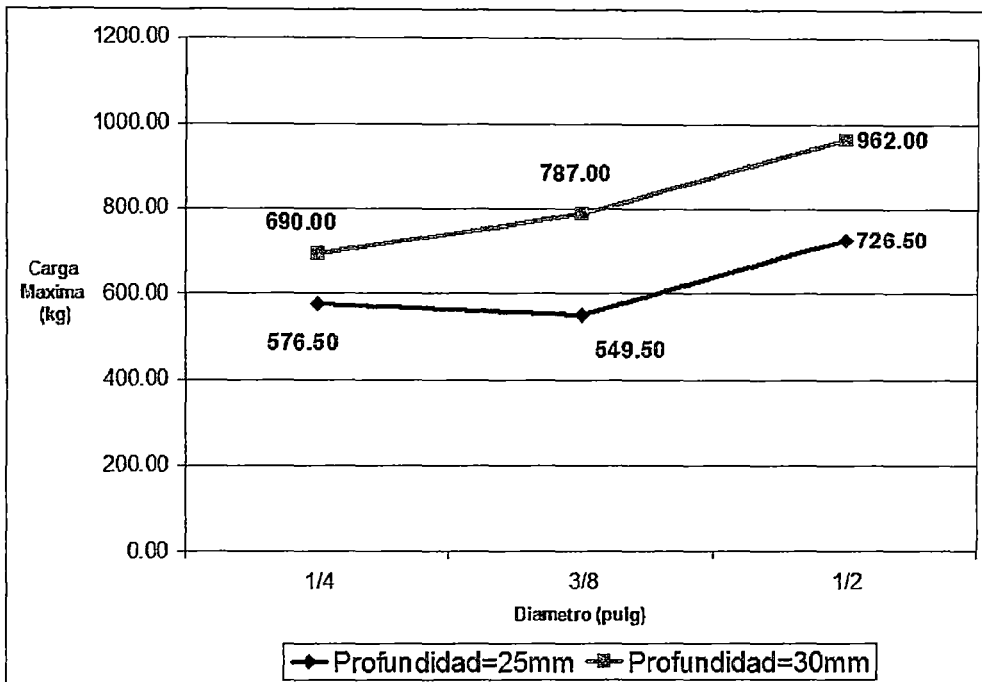
- ❖ Según el Cuadro 9 podemos observar que el Coeficiente de Variación (CV) cambia notoriamente, mientras mayor sea el diámetro analizado obtendremos valores más uniformes.
- ❖ Mientras realicemos los ensayos con probetas de madera sin fallas iniciales, encontraremos resultados cuyo coeficiente de variación sea el mínimo; esto se observa claramente en la cuadro 27 (Anexo A) donde las probetas inicialmente falladas alcanzan valores muy bajos en carga máxima.

**Grafica 1: COMPORTAMIENTO DEL ENSAYO DE EXTRACCION  
CARGA MAXIMA VS DIAMETRO  
PROFUNDIDAD CONSTANTE**

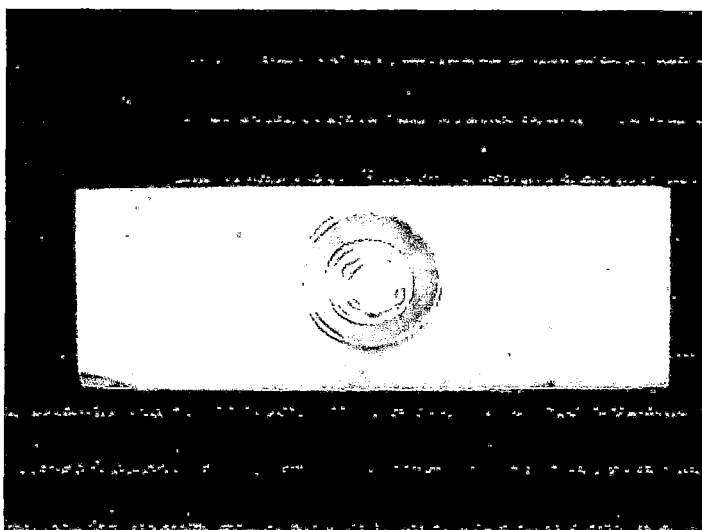




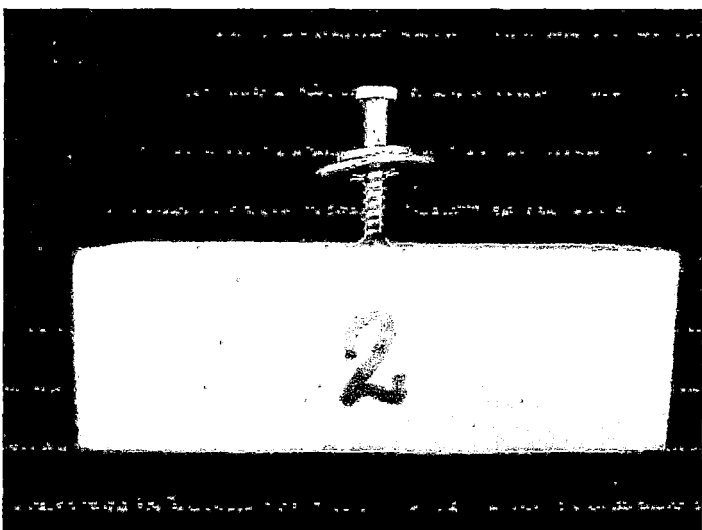
**Grafica 2: COMPORTAMIENTO DEL ENSAYO DE EXTRACCION  
CARGA MAXIMA VS DIAMETRO  
COMPARACION DE PROFUNDIDADES**



- ❖ De acuerdo al cuadro de resultados (cuadro 27 del Anexo A) se observan valores muy similares al analizar la extracción de probetas con fibras paralelas (foto 42) y perpendiculares (foto 43) a la dirección del tirafón.
- ❖ A medida que se incrementa el diámetro del tirafón y se considere una profundidad de penetración constante, se observa un comportamiento ascendente respecto a la carga máxima, siendo esta mas definida a medida que se incremente la profundidad de penetración. Ver grafica 1.
- ❖ Para un diámetro constante y un incremento en la profundidad de penetración, obtendremos un mayor valor en la carga máxima. Ver grafica 2.
- ❖ De acuerdo a las fotos que se muestran a continuación, podemos concluir que las fallas se producen por la rotura de las fibras de la madera, mas no del tirafón.

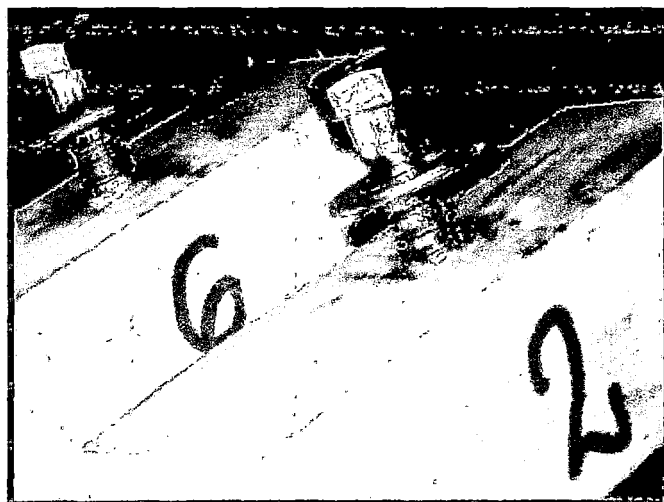


**Foto 38: Vista en planta de probeta ensayada.**

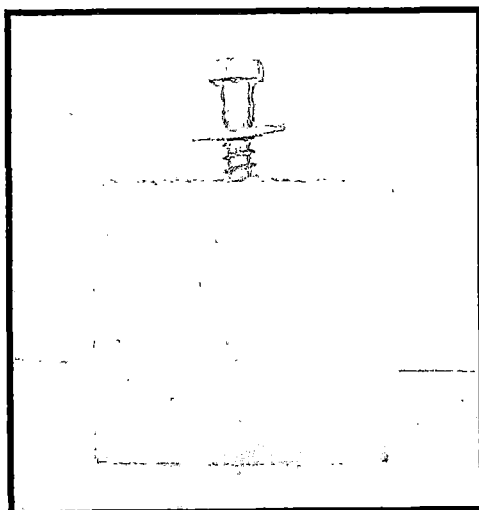
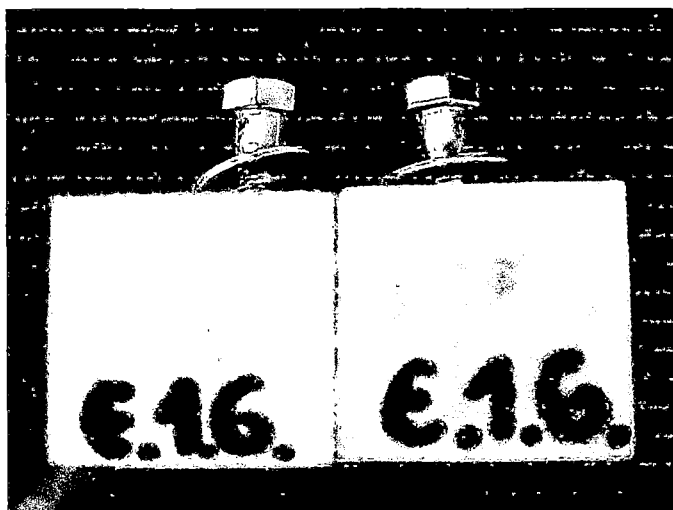


**Foto 39: Vista Perfil de probeta ensayada.**

**Foto 40: Tirafones cubiertos de grasa.**

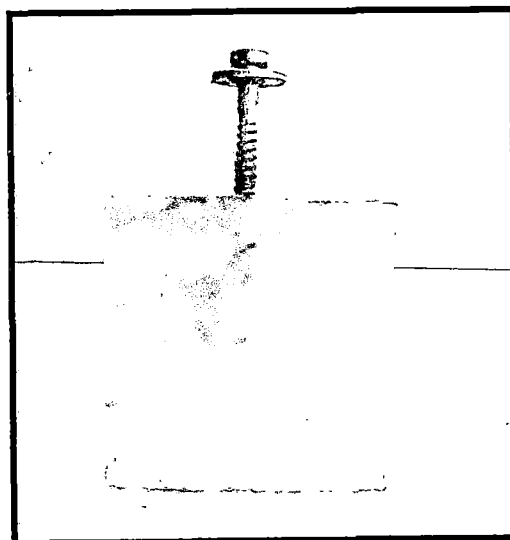


**Foto 41: Vista de diferentes direcciones de las fibras de la madera.**

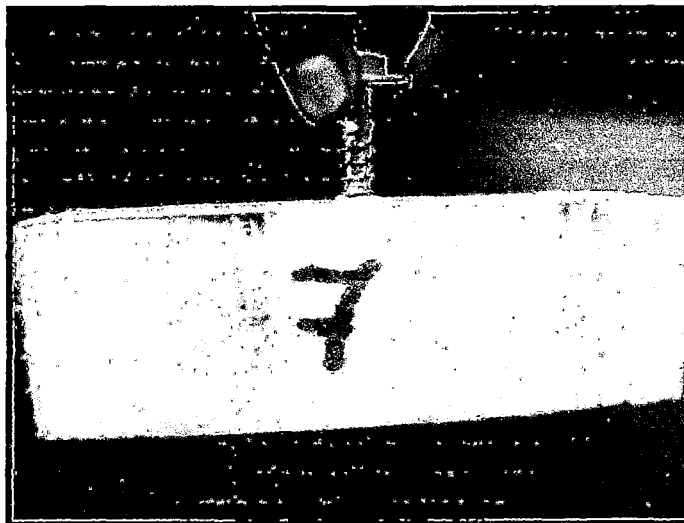
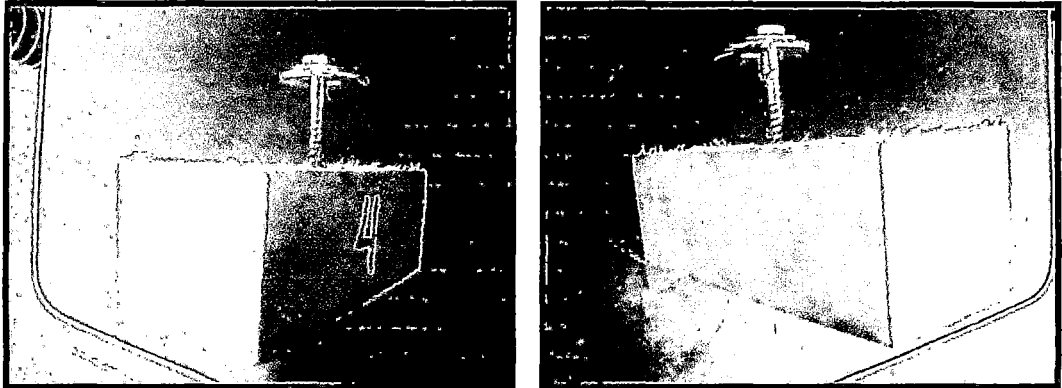


**Foto 42: Fibra paralela a la dirección del tirafón.**

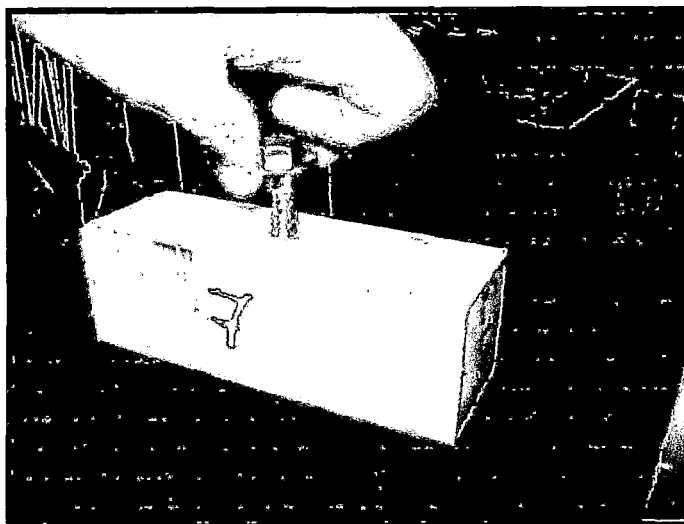
**Foto 43: Fibra perpendicular a la dirección del tirafón.**



**Foto 44: Probetas inicialmente falladas.**



**Foto 45:  
Probeta ensayada.**



**Foto 46: Fibras de  
madera falladas debido a  
la carga máxima  
aplicada.**

### 5.2.2.2. Cizallamiento

La finalidad de este ensayo fue el de determinar el efecto de la relación  $e/D$  en la resistencia de la unión.



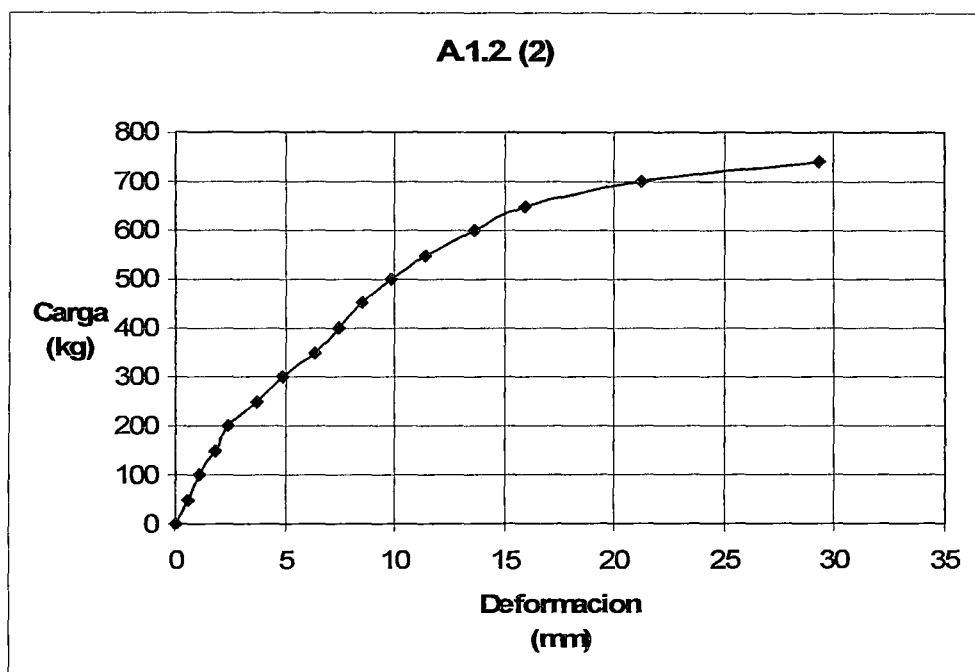
Donde:

El: Espesor de la pieza lateral

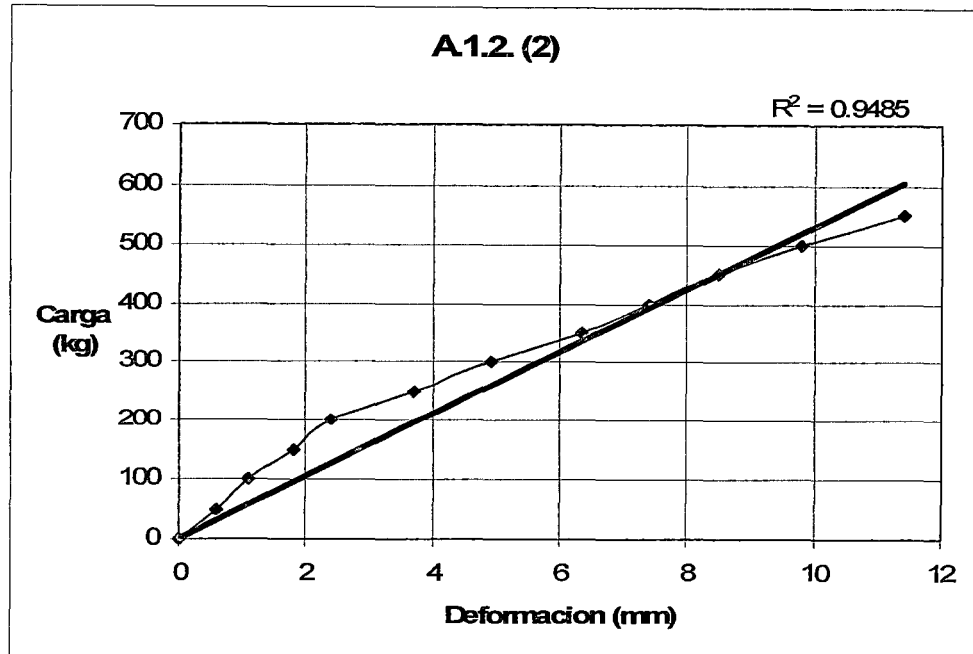
D: Diámetro del tirafón

Los resultados de los ensayos se presentan en el cuadro 28 (Anexo A). Para el cálculo del Límite proporcional, se desarrollaron graficas las cuales se encuentran en el Anexo B. Un ejemplo se muestra a continuación:

**Grafica 3: COMPORTAMIENTO DE LA UNION**



**Grafica 4: CURVA DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL**



La grafica 3 muestra el comportamiento total de la unión (tirafón-madera) hasta llegar al punto de falla. Para ello se tomaron replicas a cada 50kg y se ubicaron su respectiva deformación para cada cual; observando que:

|   |              |
|---|--------------|
| <b>Carga Máxima (kg)</b>                    | <b>740</b>   |
| <b>Deformación en la Carga Máxima. (mm)</b> | <b>29.30</b> |

En la grafica 5 observamos la curva de ajuste para encontrar el limite proporcional mas adecuado, observando además el factor de ajuste que nos indica la grafica, para obtener un valor mas exacto; en este caso:

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Carga al Limite Proporcional(kg)</b>        | <b>400</b>  |
| <b>Deformación en Limite Proporcional (mm)</b> | <b>7.40</b> |

De esta misma manera se desarrollaron para las siguientes 104 muestras las cuales se encuentran detalladas en nuestro Anexo B.

## A) ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE

### A.1. Cizallamiento Simple Paralelo al Grano:

Una vez realizado el procesamiento de datos, podemos resumir el análisis acerca del comportamiento del tirafón en los siguientes cuadros que se muestran a continuación.

1. Se observa que un incremento en el diámetro del tirafón, implica un aumento en la carga máxima, cuadro 11.
2. Siendo  $D$  el diámetro del tirafón un valor fijo, se observa una tendencia creciente de la carga en el límite proporcional para un valor de  $EI/D$  ascendente según la grafica 6.
3. La carga en el límite de proporcionalidad varía entre 31% y 50% de la carga máxima, según la grafica 8.
4. La deformación en el límite proporcional varía entre 12% y 23% de la deformación máxima, según la grafica 11
5. Se observa que a medida se incrementa la relación  $EI/D$ , también se incrementa la carga máxima, hasta que el elemento el cual falle sea el tirafón, como observamos en el grafico 7 para un  $D=1/4$ ".
6. Se observa también que al variar el espesor lateral, el diámetro, o la longitud del tirafón se producen diferentes tipos de fallas que se describen en el cuadro 18 (pag. 103) "Análisis visual de las muestras ensayadas".

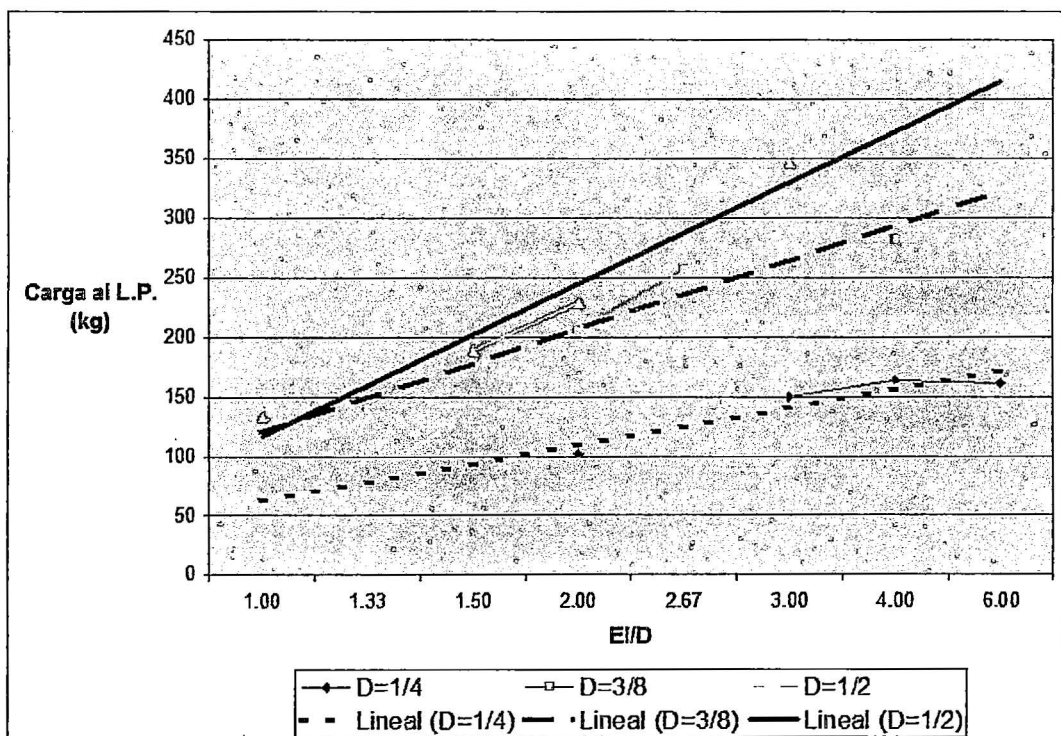
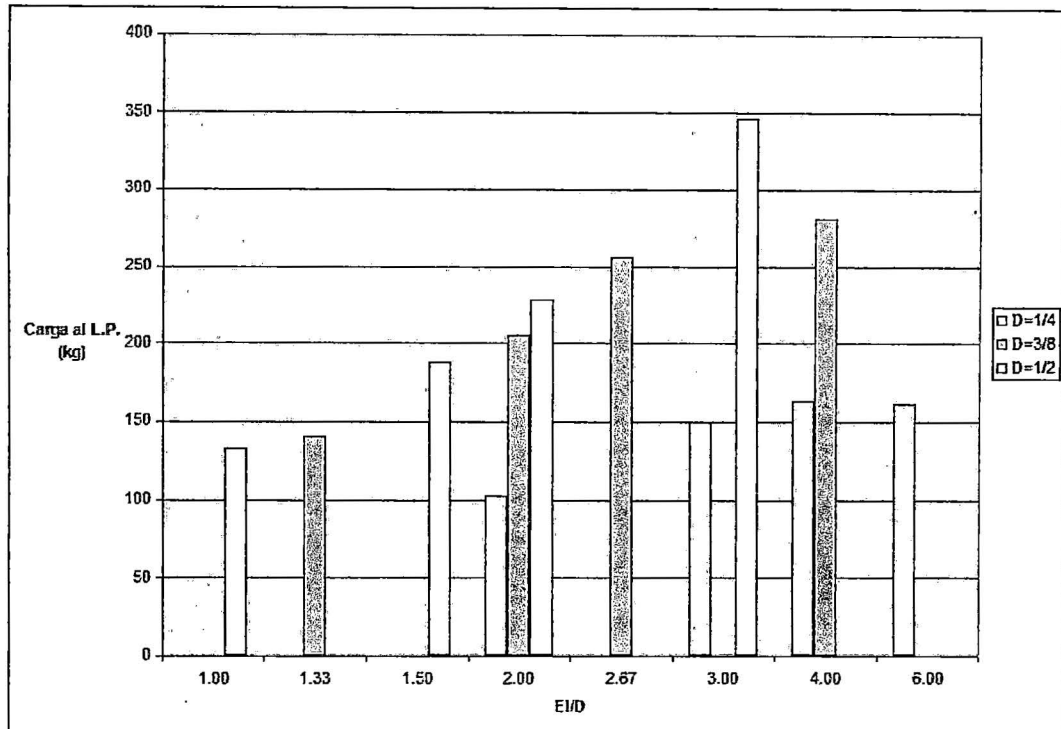
**Cuadro 10: RESISTENCIA LATERAL  
CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD Y CARGA MAXIMA  
A CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO A LA FIBRA**

| D                           |           | 1/4     |      |  |                  | 3/8     |      |  |                  | 1/2     |      |  |                  |
|-----------------------------|-----------|---------|------|--|------------------|---------|------|--|------------------|---------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafon (pulg) | EI (pulg) | Muestra | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 1 ½                         | ½         | A.1.1.  | 2.00 | 102.24                                   | 5                | A.1.2.  | 1.33 | 140.64                                   | 6.68             | A.1.3.  | 1.00 | 132.48                                   | 3.53             |
| 2 ½                         | 1         | A.2.1.  | 4.00 | 163.68                                   | 5.9              | A.2.2.  | 2.67 | 256.32                                   | 9.31             | A.2.3.  | 2.00 | 228                                      | 7.72             |
| 3 ½                         | 1 ½       | A.3.1.  | 6.00 | 160.992                                  | 9.68             | A.3.2.  | 4.00 | 261.28                                   | 8.09             | A.3.3.  | 3.00 | 346.08                                   | 8.71             |
| 1 ½                         | ¾         | C.2.1.  | 3.00 | 149.76                                   | 6.32             | C.2.2.  | 2.00 | 205.44                                   | 5.43             | C.2.3.  | 1.50 | 188.16                                   | 3.39             |

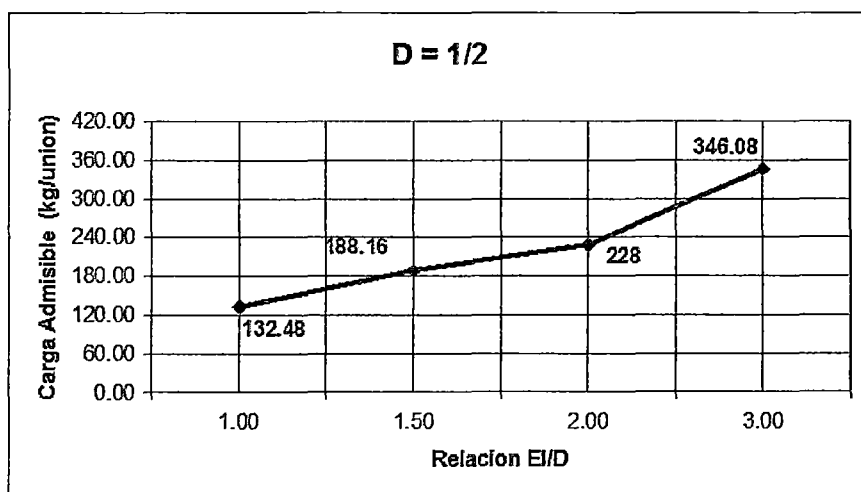
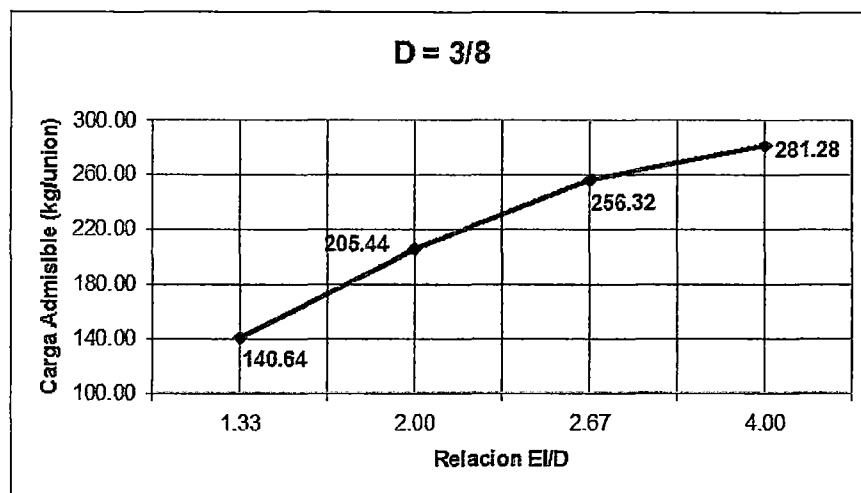
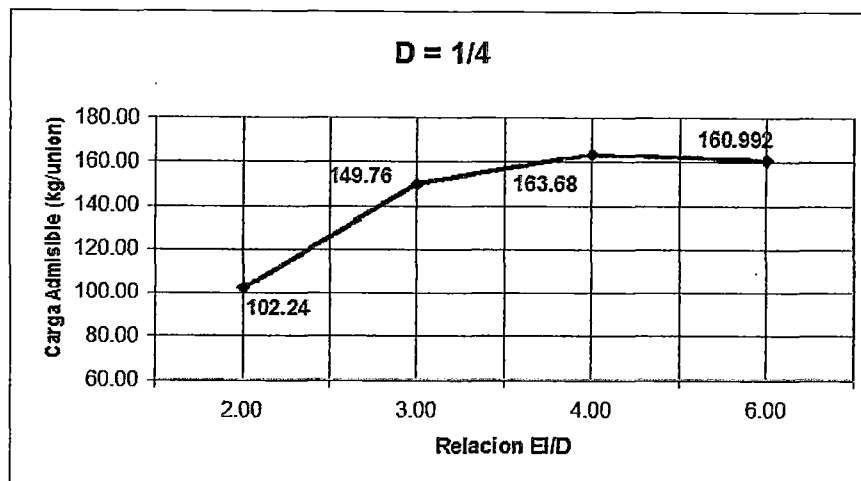
| D                           |           | 1/4     |      |  |                  | 3/8     |      |  |                  | 1/2     |      |  |                  |
|-----------------------------|-----------|---------|------|--|------------------|---------|------|--|------------------|---------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafon (pulg) | EI (pulg) | Muestra | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 1 ½                         | ½         | A.1.1.  | 2.00 | 255.36                                   | 37.32            | A.1.2.  | 1.33 | 321.12                                   | 29.18            | A.1.3.  | 1.00 | 311.04                                   | 29.44            |
| 2 ½                         | 1         | A.2.1.  | 4.00 | 493.44                                   | 37.24            | A.2.2.  | 2.67 | 621.12                                   | 60.28            | A.2.3.  | 2.00 | 717.12                                   | 42.58            |
| 3 ½                         | 1 ½       | A.3.1.  | 6.00 | 324.48                                   | 42.48            | A.3.2.  | 4.00 | 866.88                                   | 61.04            | A.3.3.  | 3.00 | 914.88                                   | 61.2             |
| 1 ½                         | ¾         | C.2.1.  | 3.00 | 386.88                                   | 36.72            | C.2.2.  | 2.00 | 561.6                                    | 32.4             | C.2.3.  | 1.50 | 602.88                                   | 25.32            |



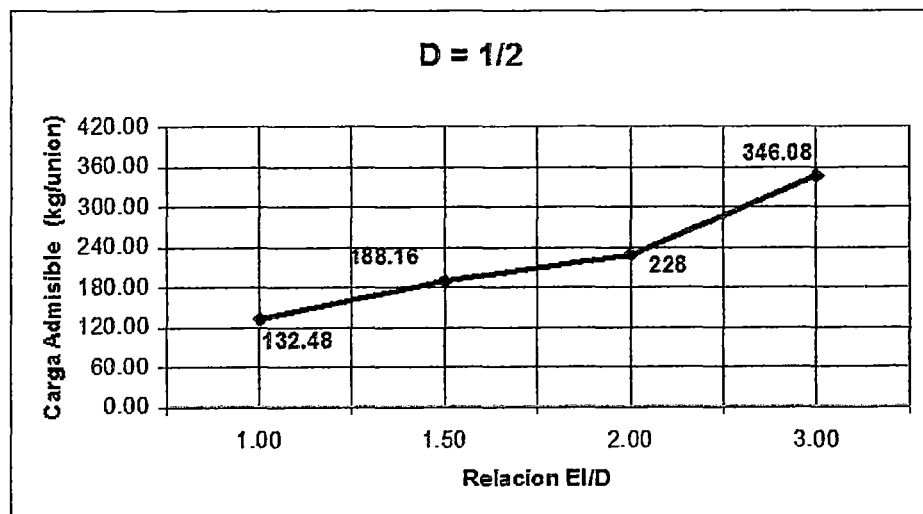
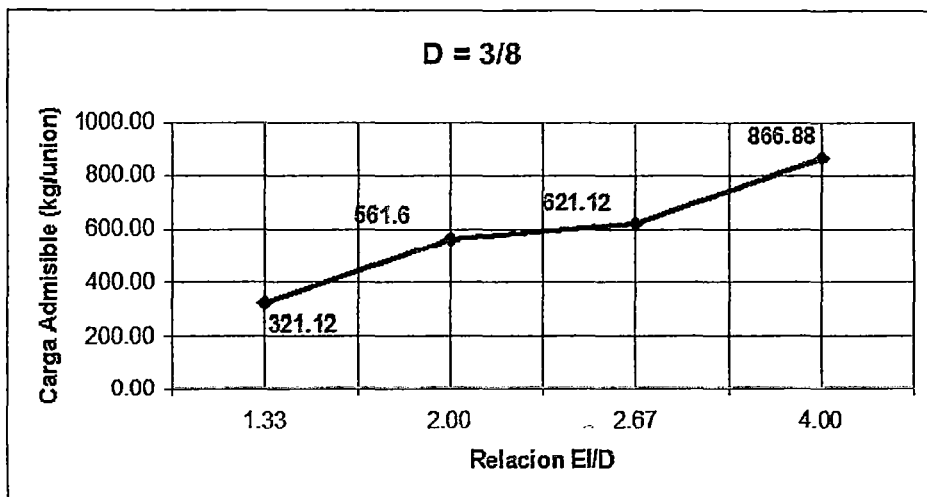
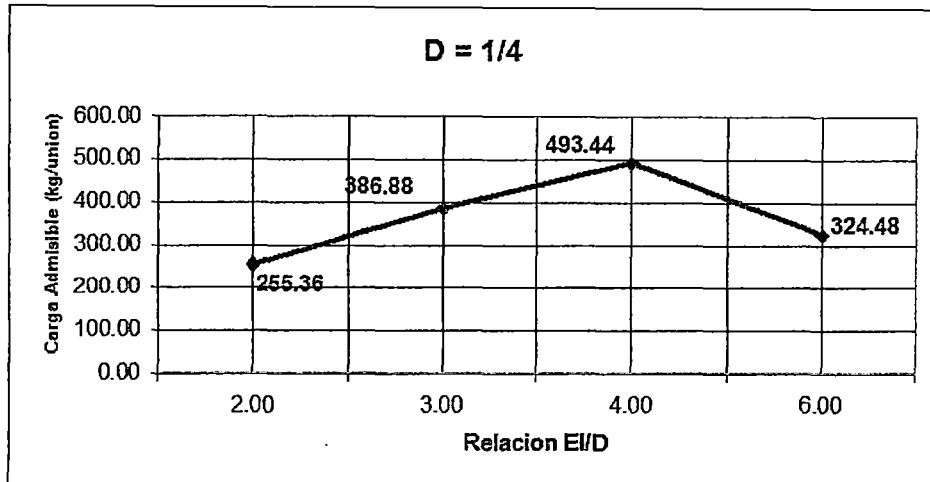
**Grafica 5: RELACIONES PESOR PIEZA LATERAL/DIAMETRO VERSUS CARGA ADMISIBLE EN EL LIMITE PROPORCIONAL - DIAMETRO VARIABLE CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO A LA FIBRA**



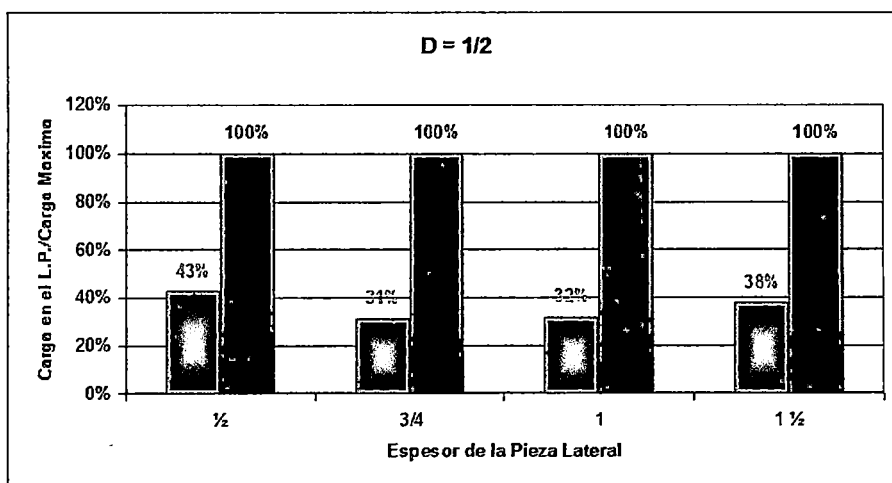
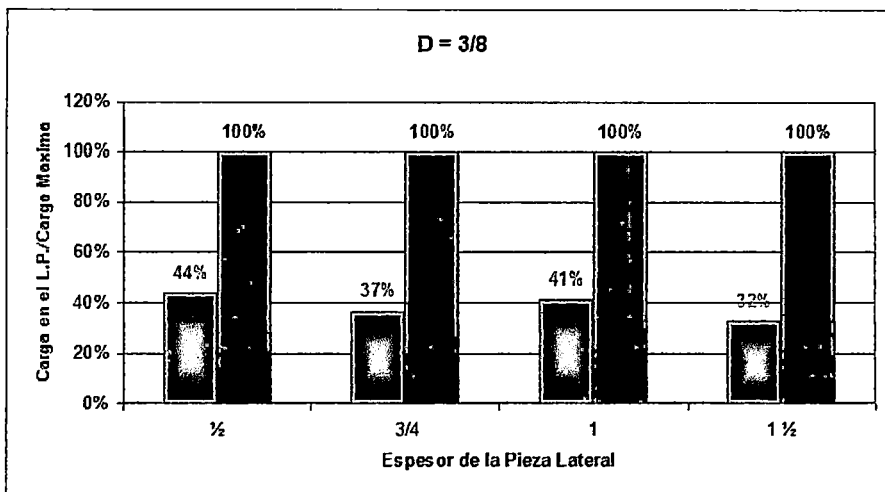
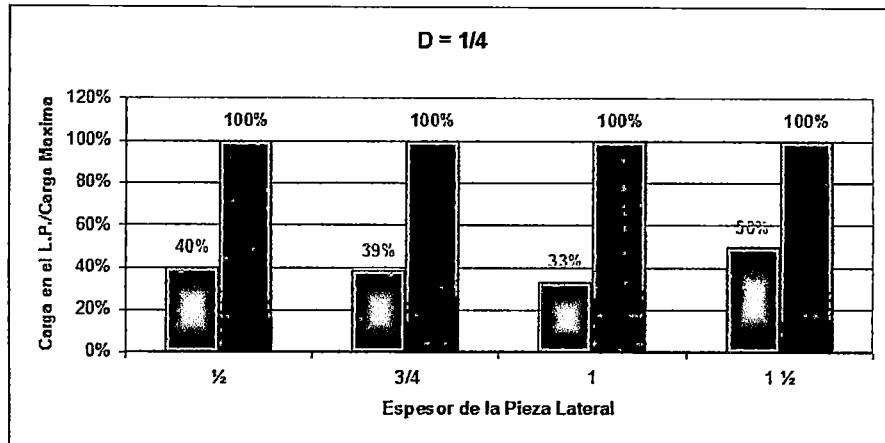
**Grafico 6: RELACION ESPESOR PIEZA LATERAL/DIAMETRO  
 VERSUS CARGA ADMISIBLE EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD  
 CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO A LA FIBRA**



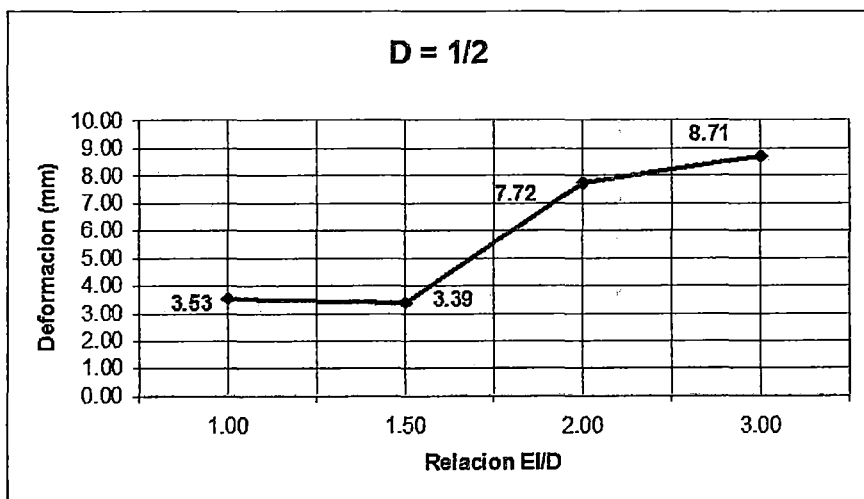
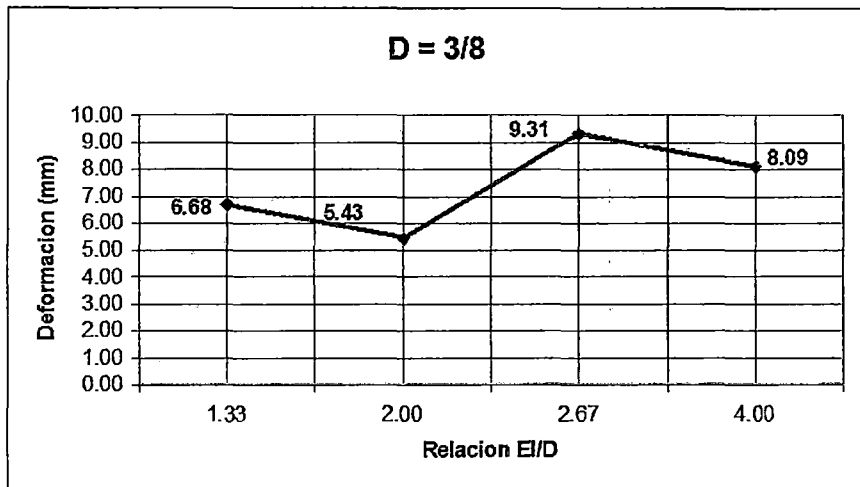
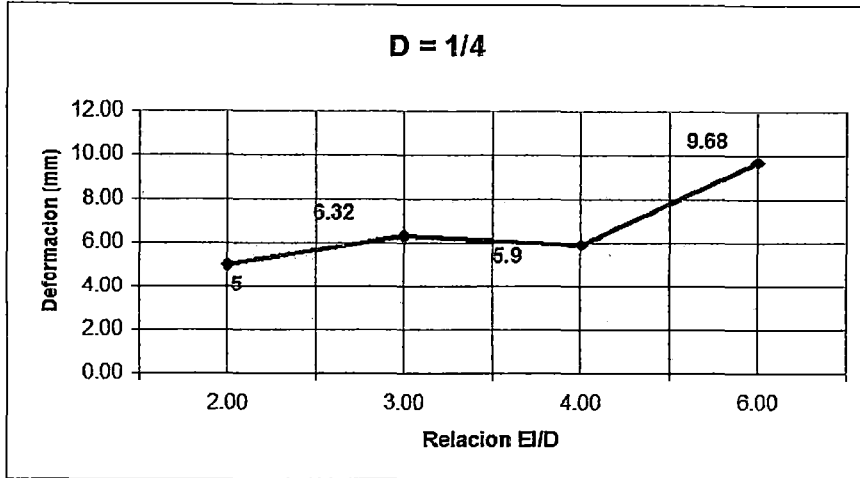
**Grafico 7: RELACION ESPESOR PIEZA LATERAL/DIAMETRO  
 VERSUS CARGA MAXIMA  
 CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO A LA FIBRA**



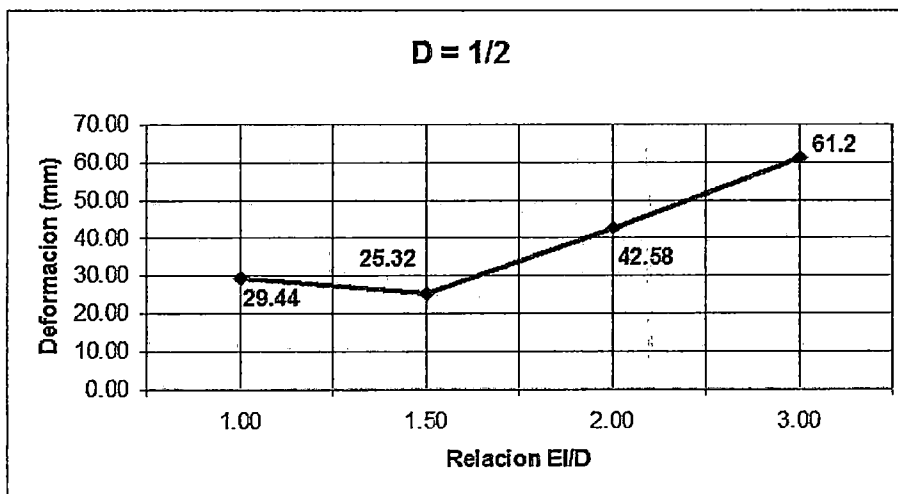
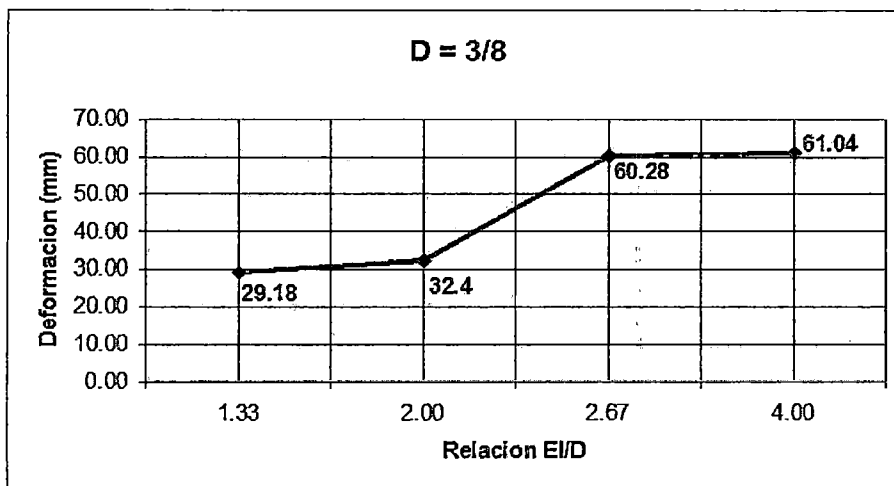
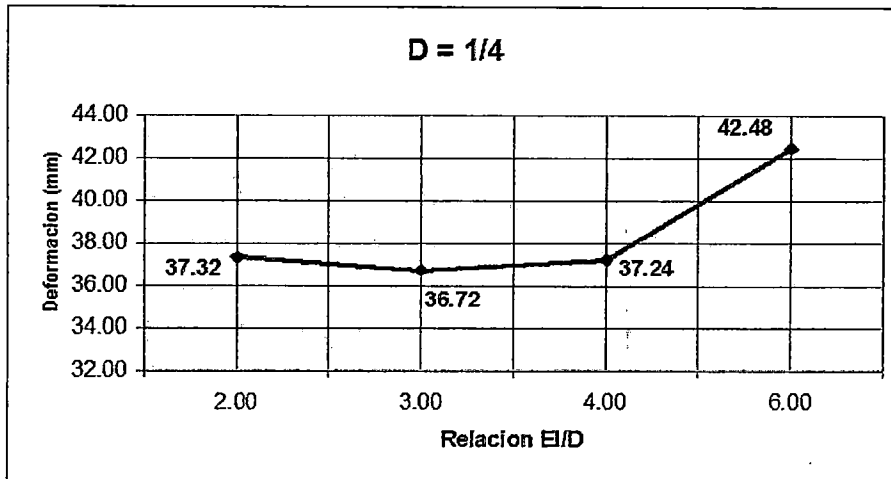
**Grafica 8: COMPARACION CARGA  
 EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD V/S CARGA MAXIMA  
 CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO**



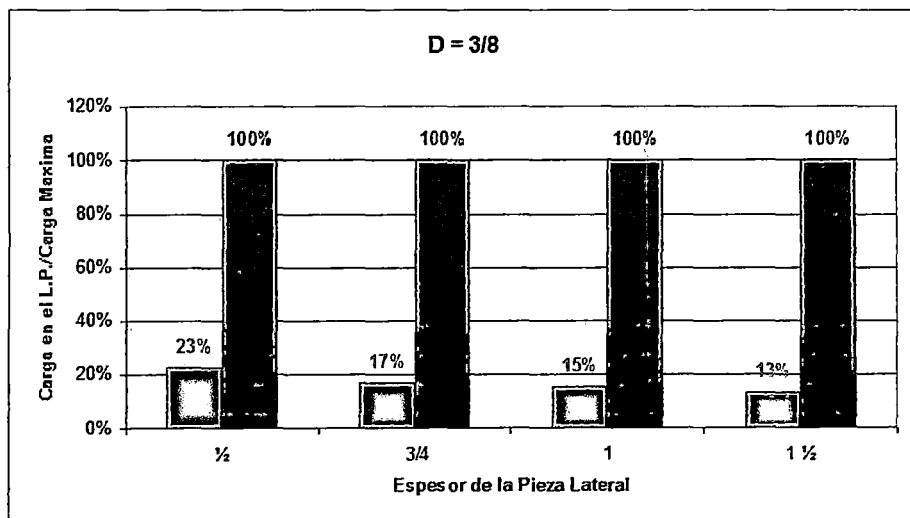
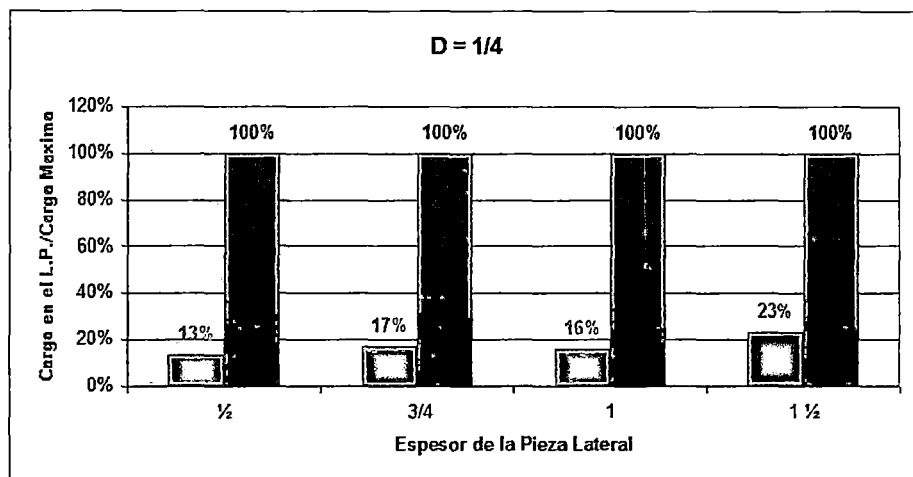
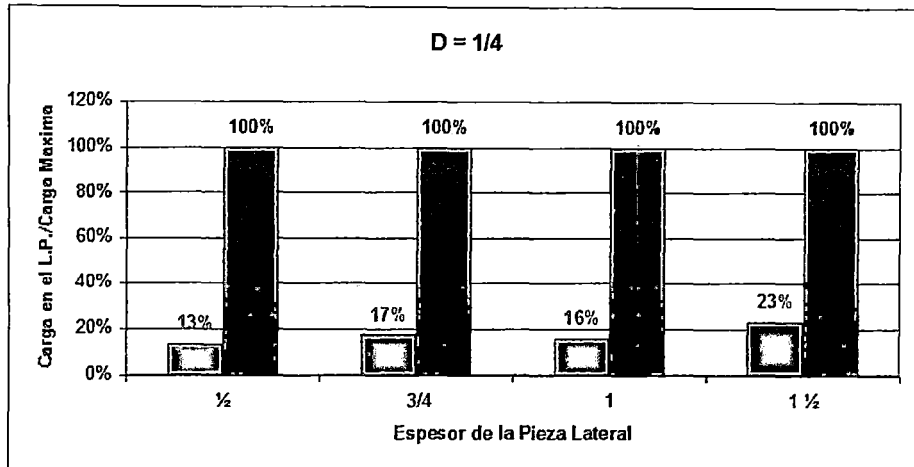
**Grafico 9: RELACION ESPESOR PIEZA LATERAL/DIAMETRO  
 VERSUS DEFORMACION EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD  
 CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO A LA FIBRA**



**Grafico 10: RELACION ESPESOR PIEZA LATERAL/DIAMETRO  
 VERSUS DEFORMACION EN LA CARGA MAXIMA  
 CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO A LA FIBRA**



**Gráfico 11: COMPARACION DEFORMACION EN EL  
LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD V/S DEFORMACION MAXIMA  
CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO**



## **A.2. Cizallamiento Simple Perpendicular al Grano:**

De la observación y análisis se concluyo lo siguiente:

1. Un incremento en el diámetro del tirafón, implica un aumento en las cargas como se puede apreciar en el grafico 5.
2. La carga lateral admisible varia cuando la carga actúa perpendicularmente a las fibras y el tirafón se atornilla lateralmente con relación a las fibras, varia según el diámetro del tirafón, esto es que a mayor diámetro mayor es la razón resistencia perpendicular/ resistencia paralela a la dirección del grano.
3. La carga en el límite de proporcionalidad varia entre 33.44% y 48.94% de la carga máxima, según la grafica 15.
4. La deformación en el Limite proporcional varia entre 7.8% y 31.4% de la deformación máxima, según la grafica 11.
5. Se observa que a medida se incrementa la relación  $EI/d$ , también se incrementa la carga máxima, y esto implica que de igual manera resultara con la carga en el límite proporcional, como se observan en los gráficos 13 y 14.
6. Al analizar dos series de cinco muestras cada uno con dimensiones iguales (longitud de tirafón, diámetro de tirafón, espesor de pieza lateral y espesor de pieza principal) B.1.2. y D.1.2., se obtuvieron resultados bastante cercanos lo cual nos indica que a mayor cantidad de ensayos desarrollados se encontraran una mejor calidad en los valores hallados.

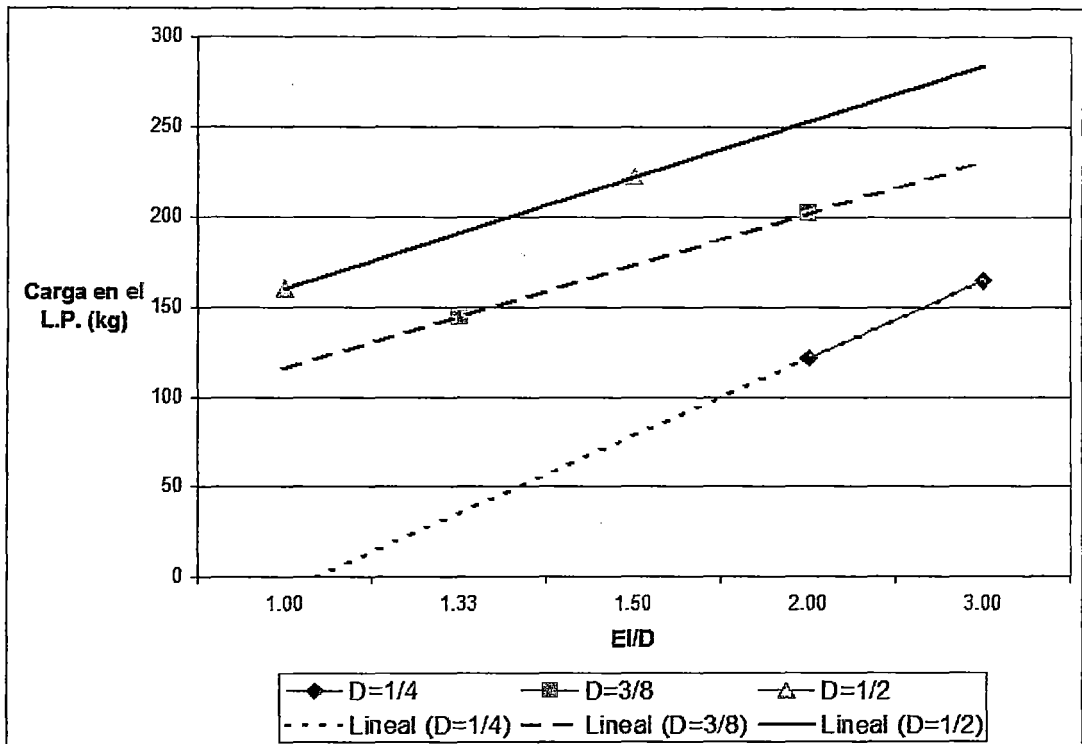
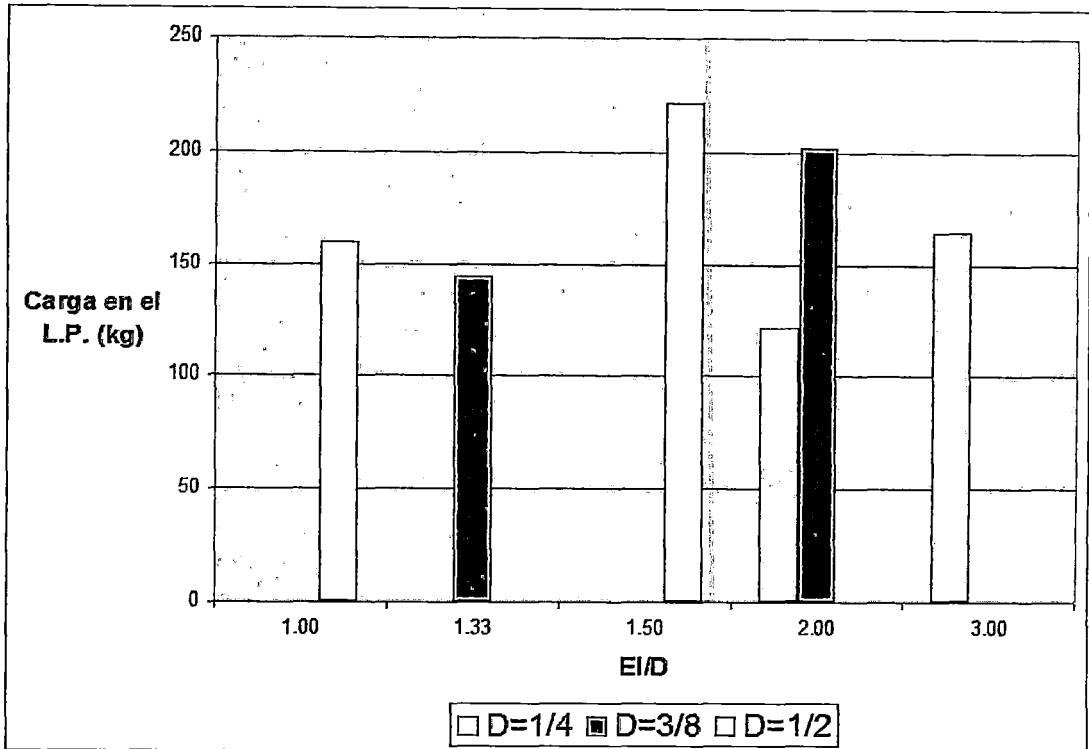


**Cuadro 11: RESISTENCIA LATERAL  
CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD Y CARGA MAXIMA  
A CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR A LA FIBRA**

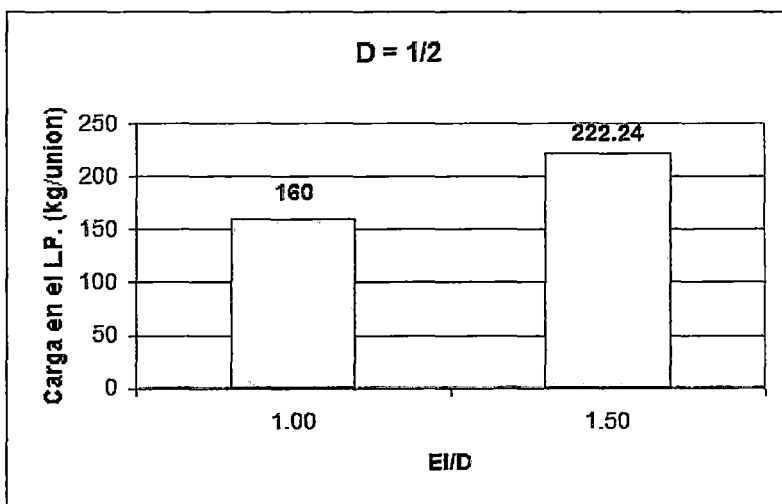
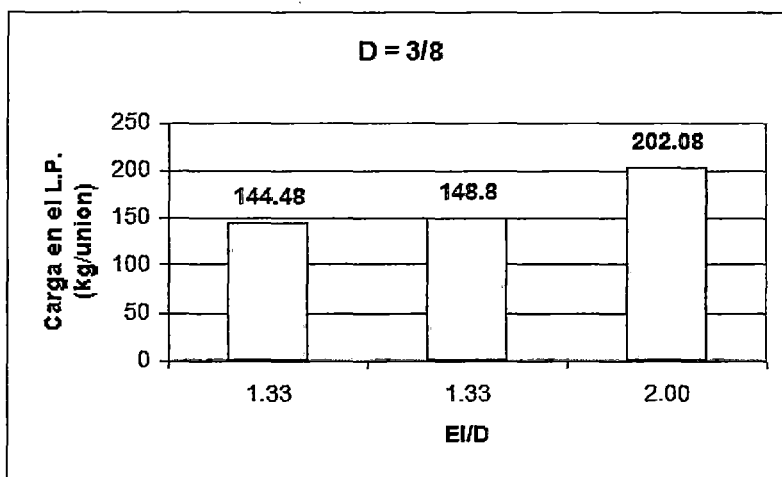
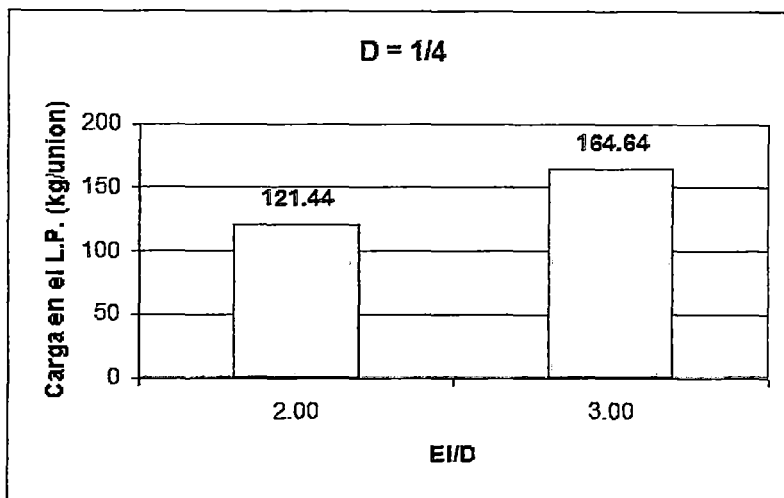
| 1/4     |           |      |  |                  | 3/8     |           |      |  |                  | 1/2     |           |      |  |                  |
|---------|-----------|------|--|------------------|---------|-----------|------|--|------------------|---------|-----------|------|--|------------------|
| Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| B.1.1.  | 1/2       | 2.00 | 121.44                                   | 2.916            | B.1.2.  | 1/2       | 1.33 | 144.48                                   | 6.83             | D.1.3.  | 1/2       | 1.00 | 160                                      | 3.34             |
| D.2.1.  | 3/4       | 3.00 | 164.64                                   | 6.48             | D.1.2.  | 1/2       | 1.33 | 148.8                                    | 4.47             | D.2.3.  | 3/4       | 1.50 | 222.24                                   | 4.88             |
|         |           |      |  |                  | D.2.2.  | 3/4       | 2.00 | 202.08                                   | 6.76             |         |           |      |  |                  |

| 1/4     |           |      |                   |                  | 3/8     |           |      |                   |                  | 1/2     |           |      |                   |                  |
|---------|-----------|------|-------------------|------------------|---------|-----------|------|-------------------|------------------|---------|-----------|------|-------------------|------------------|
| Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) |
| B.1.1.  | 1/2       | 2.00 | 319.2             | 37.54            | B.1.2.  | 1/2       | 1.33 | 432               | 31.78            | D.1.3.  | 1/2       | 1.00 | 444.8             | 19.06            |
| D.2.1.  | 3/4       | 3.00 | 430.08            | 38.18            | D.1.2.  | 1/2       | 1.33 | 429.12            | 21.56            | D.2.3.  | 3/4       | 1.50 | 454.08            | 15.56            |
|         |           |      |                   |                  | D.2.2.  | 3/4       | 2.00 | 554.88            | 29.38            |         |           |      |                   |                  |

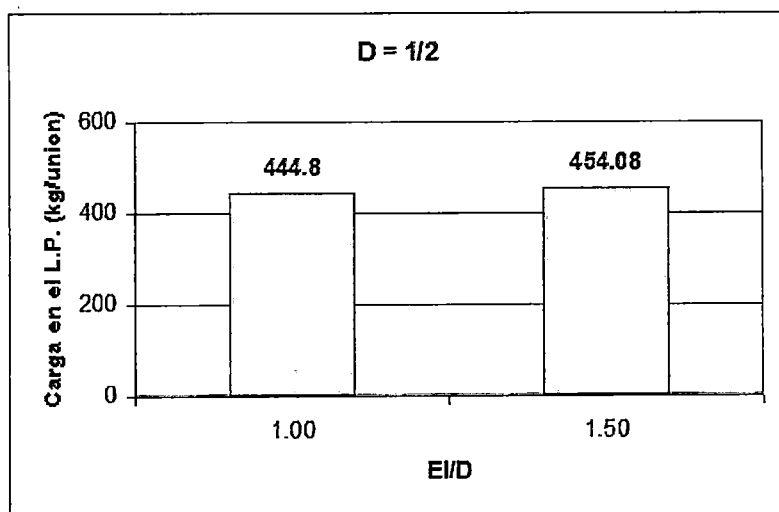
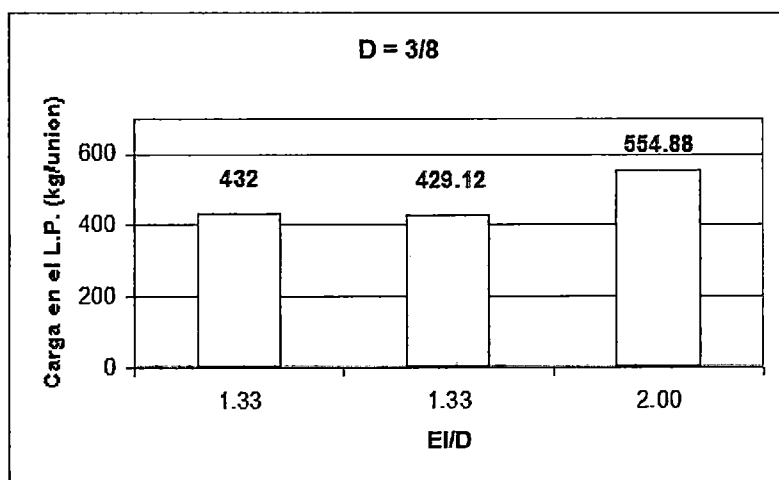
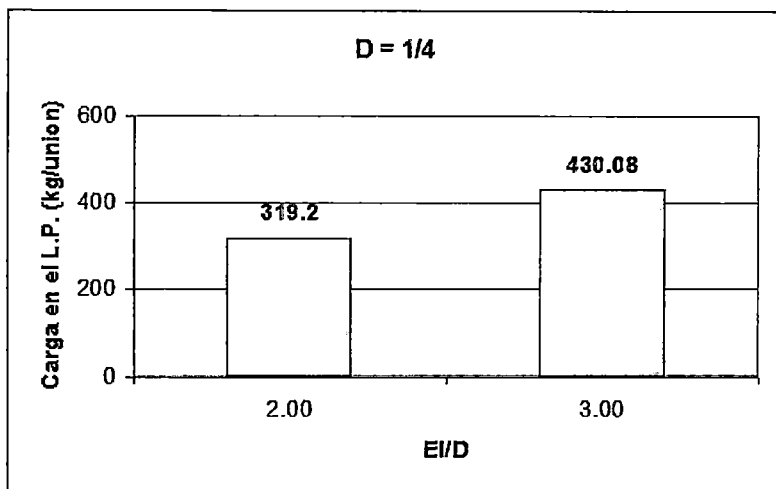
**Grafico 12: COMPARACION CAPIRONA, QUINILLA Y TORNILLO  
 CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR A LA FIBRA**



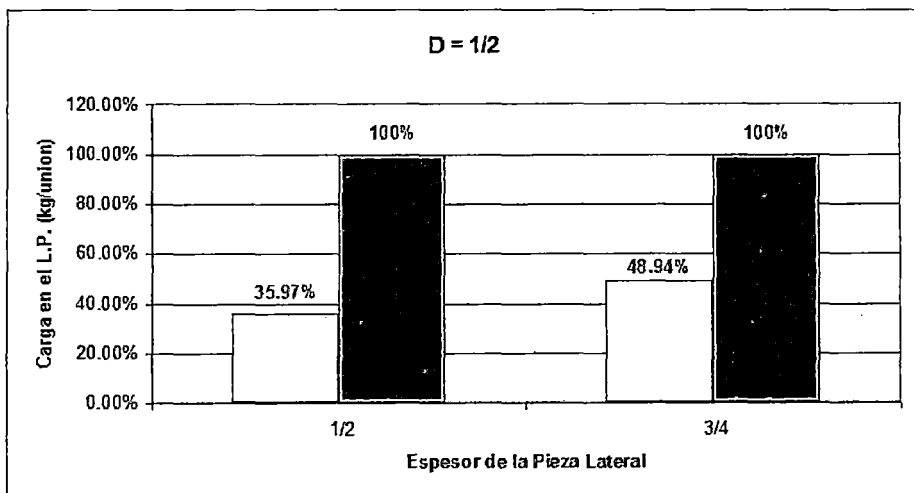
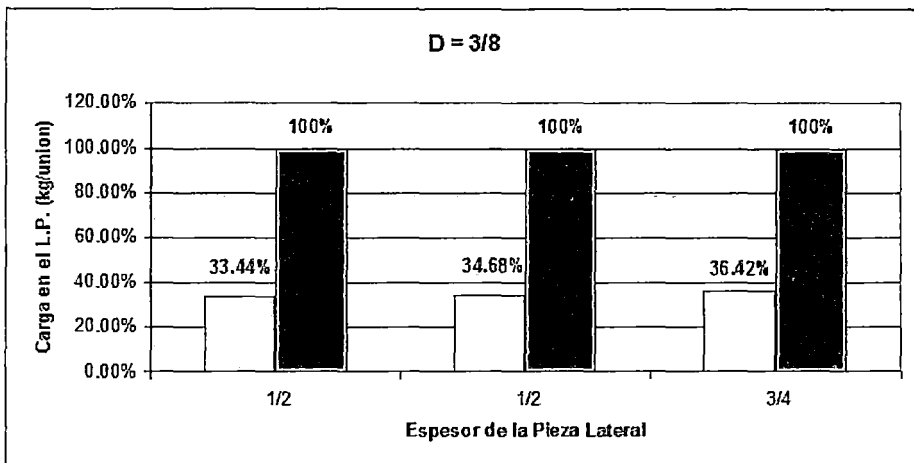
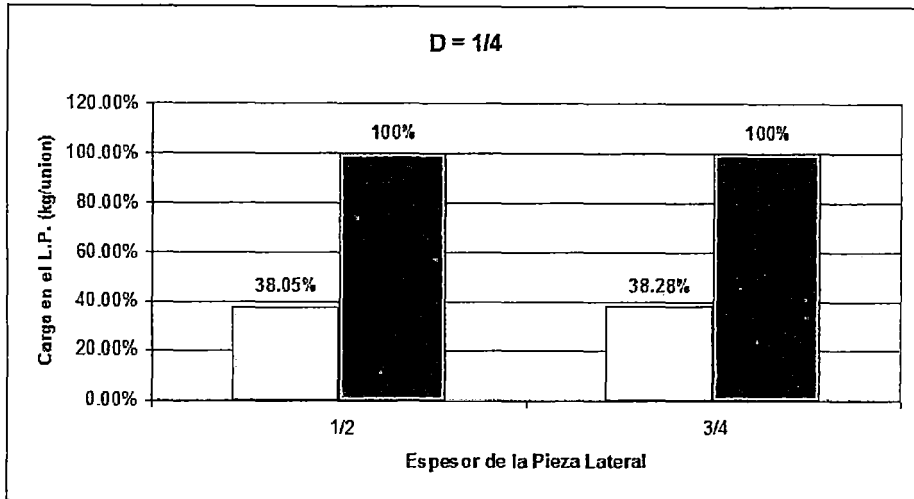
**Grafico 13: RELACION ESPESOR PIEZA LATERAL/DIAMETRO  
 VERSUS CARGA ADMISIBLE EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD  
 CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR A LA FIBRA**



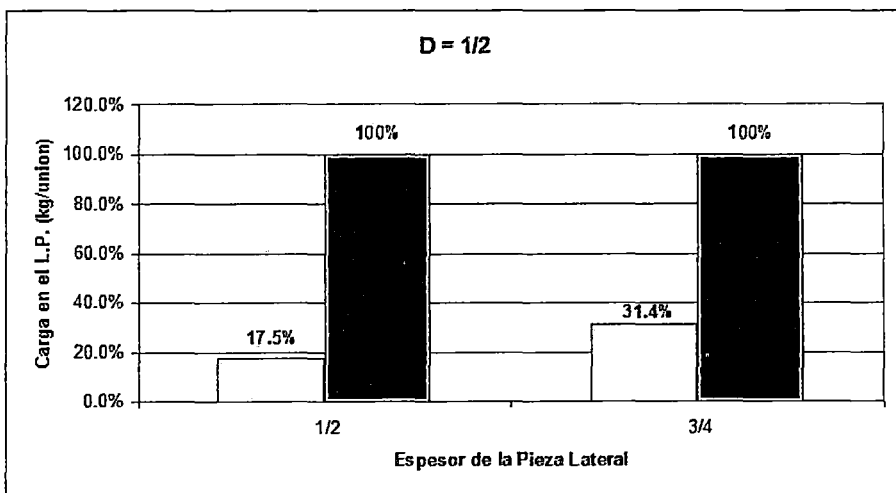
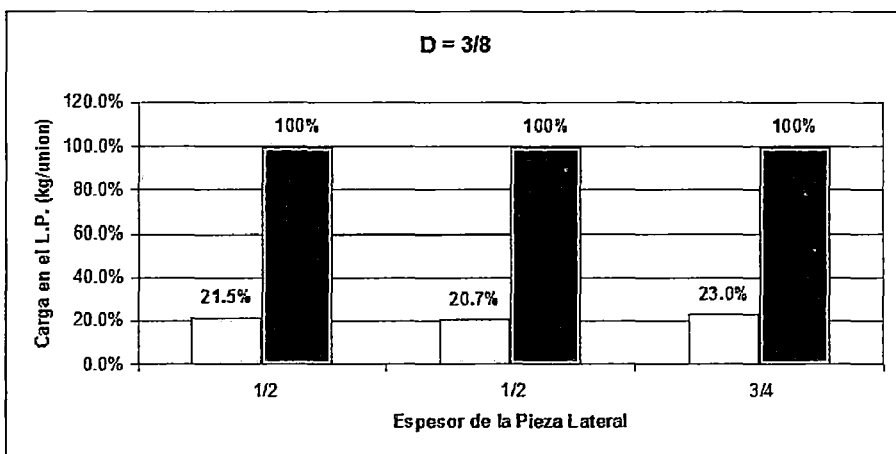
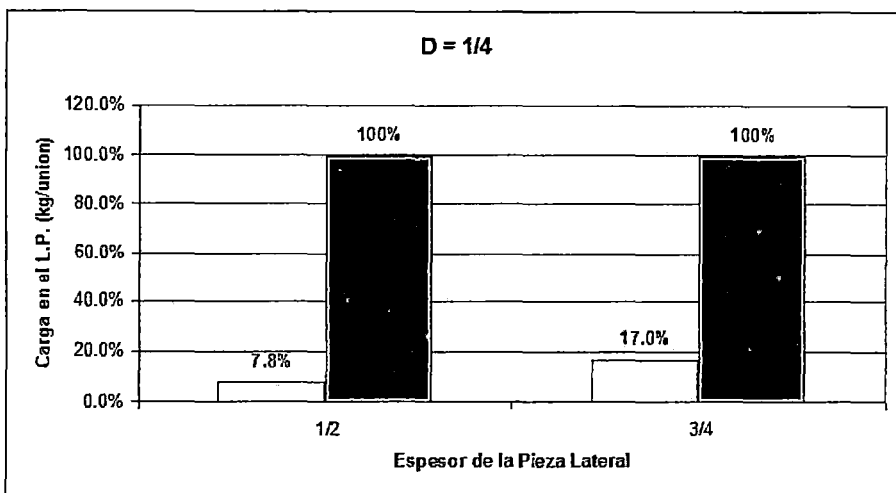
**Grafico 14: RELACION ESPESOR PIEZA LATERAL/DIAMETRO  
 VERSUS CARGA MAXIMA  
 CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR A LA FIBRA**



**Grafica 15: COMPARACION**  
**CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD V/S CARGA MAXIMA**  
**CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO**



**Grafico 16: COMPARACION DEFORMACION EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD V/S DEFORMACION MAXIMA CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO**



**Cuadro 12: RESISTENCIA LATERAL - COMPARACION  
 CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD A CIZALLAMIENTO SIMPLE  
 EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**

**PARALELO A LA FIBRA**

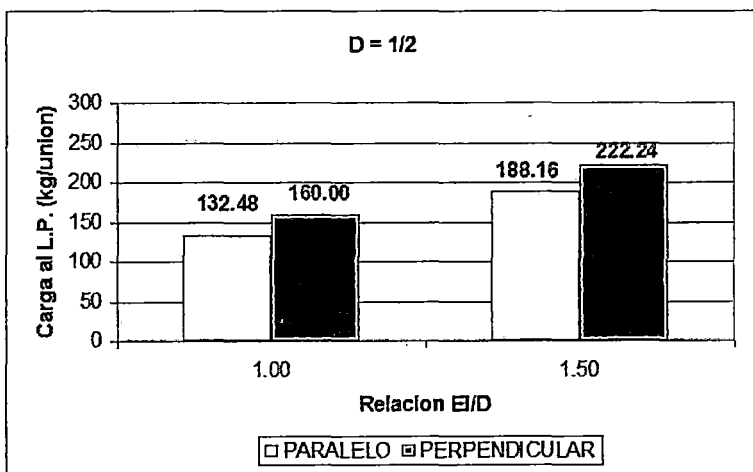
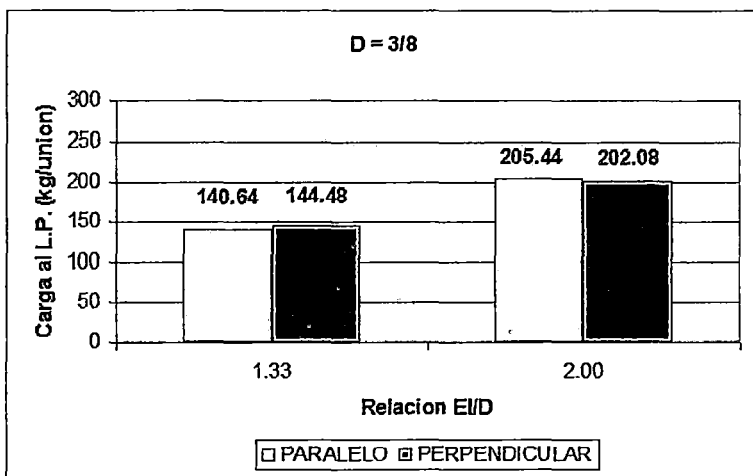
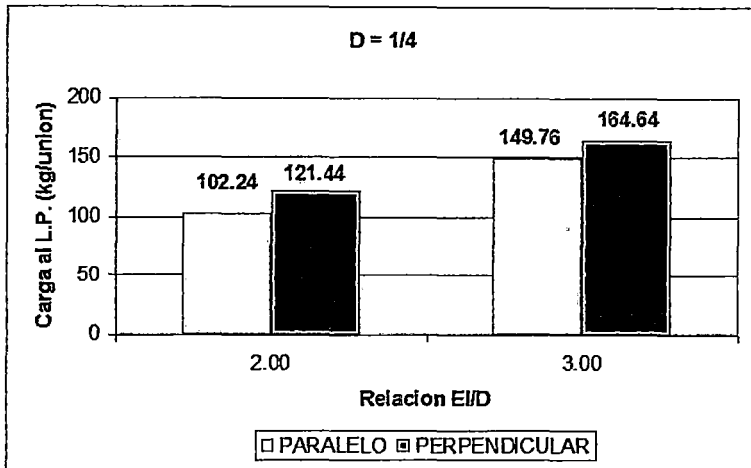
| 1/4     |           |      |  |                  | 3/8     |           |      |  |                  | 1/2     |           |      |  |                  |
|---------|-----------|------|--|------------------|---------|-----------|------|--|------------------|---------|-----------|------|--|------------------|
| Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| A.1.1.  | 1/2       | 2.00 | 102.24                                   | 5                | A.1.2.  | 1/2       | 1.33 | 140.64                                   | 6.68             | A.1.3.  | 1/2       | 1.00 | 132.48                                   | 3.53             |
| C.2.1.  | 3/4       | 3.00 | 149.76                                   | 6.32             | C.2.2.  | 3/4       | 2.00 | 205.44                                   | 5.43             | C.2.3.  | 3/4       | 1.50 | 188.16                                   | 3.39             |

**PERPENDICULAR A LA FIBRA**

| 1/4     |           |      |  |                  | 3/8     |           |      |  |                  | 1/2     |           |      |  |                  |
|---------|-----------|------|--|------------------|---------|-----------|------|--|------------------|---------|-----------|------|--|------------------|
| Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| B.1.1.  | 1/2       | 2.00 | 121.44                                   | 2.916            | B.1.2.  | 1/2       | 1.33 | 144.48                                   | 6.83             | D.1.3.  | 1/2       | 1.00 | 160                                      | 3.34             |
| D.2.1.  | 3/4       | 3.00 | 164.64                                   | 6.48             | D.2.2.  | 3/4       | 2.00 | 202.08                                   | 6.76             | D.2.3.  | 3/4       | 1.50 | 222.24                                   | 4.88             |

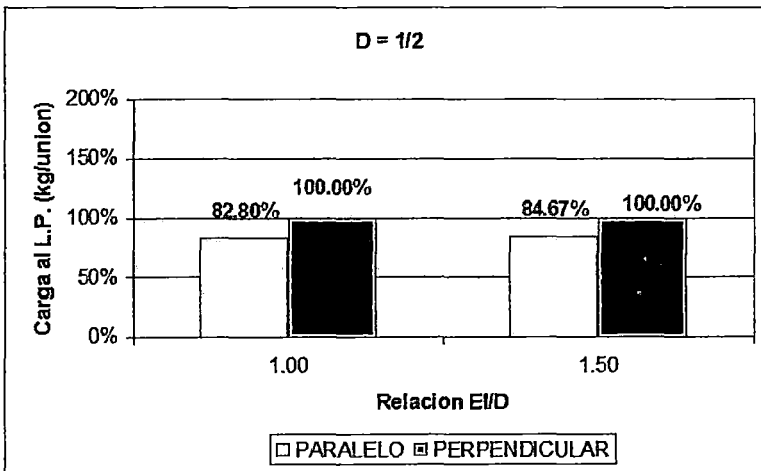
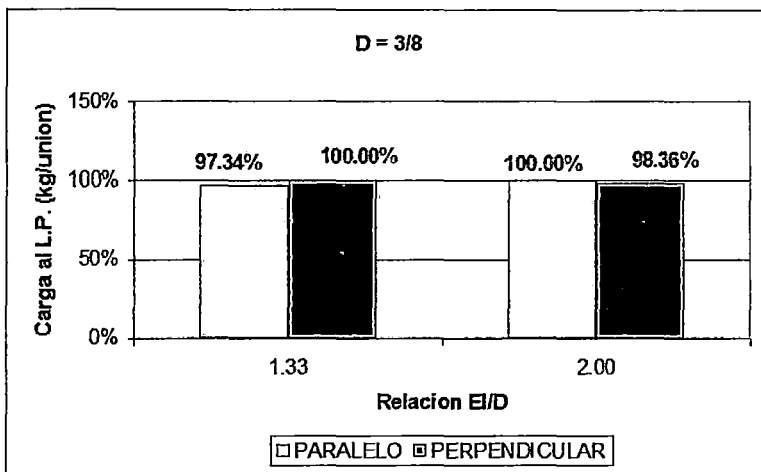
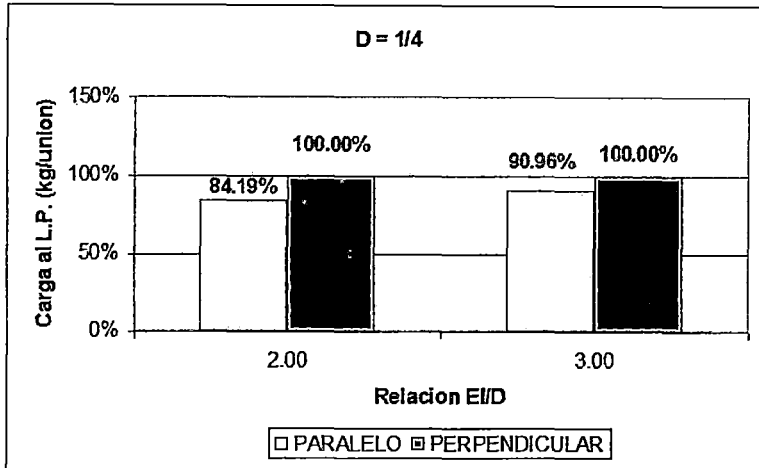
|                            |             |             |             |             |             |             |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>FACTOR DE REDUCCION</b> | <b>1.19</b> | <b>0.58</b> | <b>1.03</b> | <b>1.02</b> | <b>1.21</b> | <b>0.95</b> |
|                            | <b>1.10</b> | <b>1.03</b> | <b>0.98</b> | <b>1.24</b> | <b>1.18</b> | <b>1.44</b> |

**Grafico 17: COMPARACION DE CARGA  
 AL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD A CIZALLAMIENTO SIMPLE  
 EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**





**Grafico 18: COMPARACION DE CARGA  
 AL LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD A CIZALLAMIENTO SIMPLE  
 EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**



**Cuadro 13: RESISTENCIA LATERAL - COMPARACION  
 CARGA MAXIMA A CIZALLAMIENTO SIMPLE  
 EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**

**PARALELO A LA FIBRA**

| 1/4     |           |      |                   |                  | 3/8     |           |      |                   |                  | 1/2     |           |      |                   |                  |
|---------|-----------|------|-------------------|------------------|---------|-----------|------|-------------------|------------------|---------|-----------|------|-------------------|------------------|
| Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) |
| A.1.1.  | 1/2       | 2.00 | 255.36            | 37.32            | A.1.2.  | 1/2       | 1.33 | 321.12            | 29.18            | A.1.3.  | 1/2       | 1.00 | 311.04            | 29.44            |
| C.2.1.  | 3/4       | 3.00 | 386.88            | 36.72            | C.2.2.  | 3/4       | 2.00 | 561.6             | 32.4             | C.2.3.  | 3/4       | 1.50 | 602.88            | 25.32            |

**PERPENDICULAR A LA FIBRA**

| 1/4     |           |      |                   |                  | 3/8     |           |      |                   |                  | 1/2     |           |      |                   |                  |
|---------|-----------|------|-------------------|------------------|---------|-----------|------|-------------------|------------------|---------|-----------|------|-------------------|------------------|
| Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) | Muestra | EI (pulg) | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) |
| B.1.1.  | 1/2       | 2.00 | 319.2             | 37.54            | B.1.2.  | 1/2       | 1.33 | 432               | 31.78            | D.1.3.  | 1/2       | 1.00 | 444.8             | 19.06            |
| D.2.1.  | 3/4       | 3.00 | 430.08            | 38.18            | D.2.2.  | 3/4       | 2.00 | 554.88            | 29.38            | D.2.3.  | 3/4       | 1.50 | 454.08            | 15.56            |

FACTOR DE  
 REDUCCION

1.25  
 1.11

1.01  
 1.04

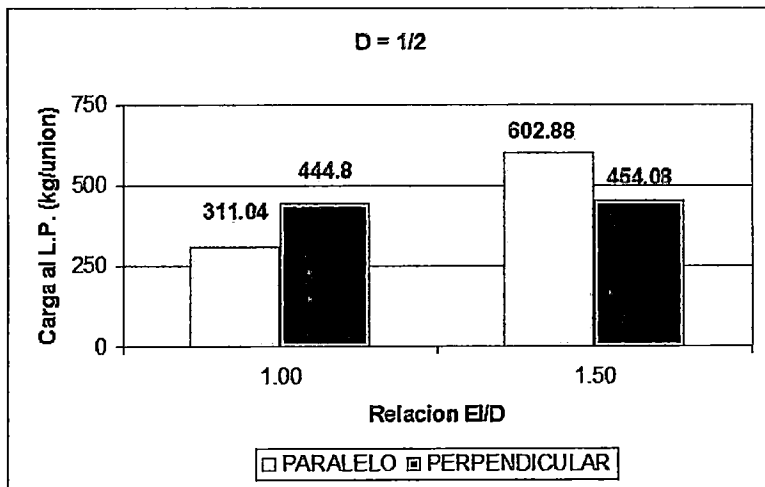
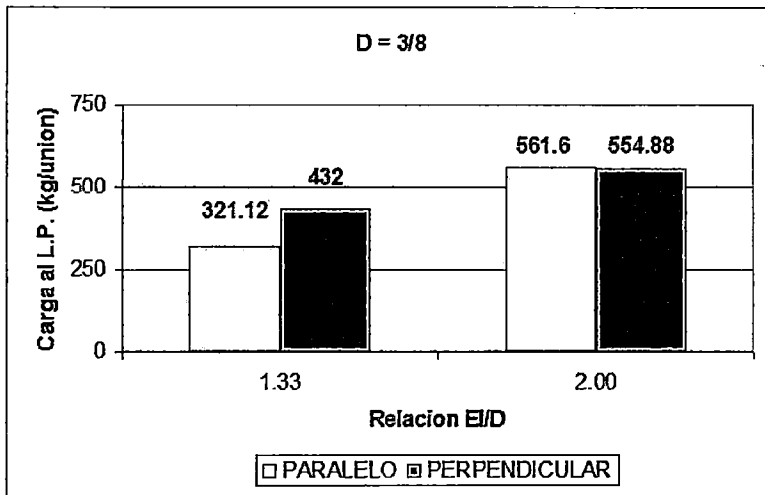
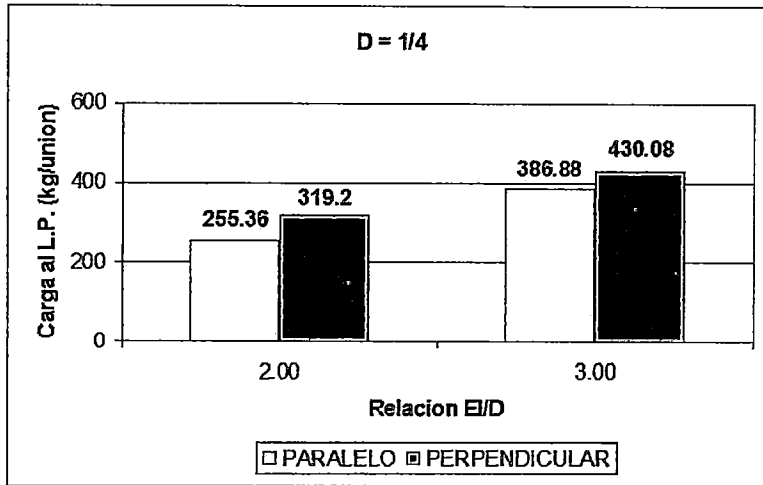
1.35  
 0.99

1.09  
 0.91

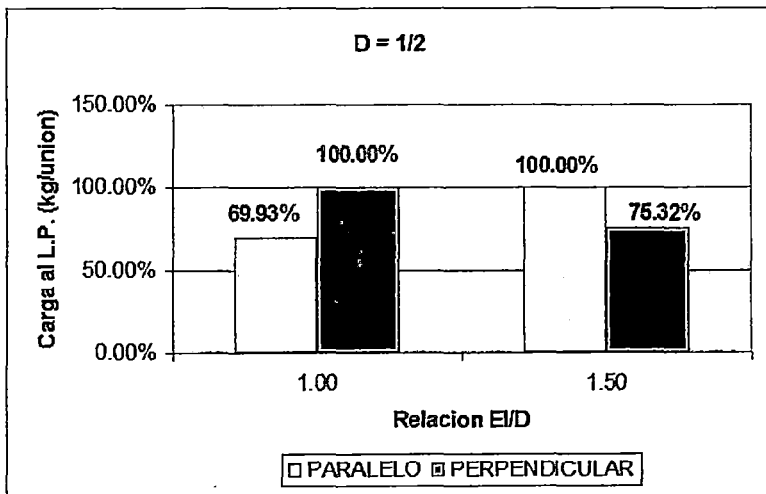
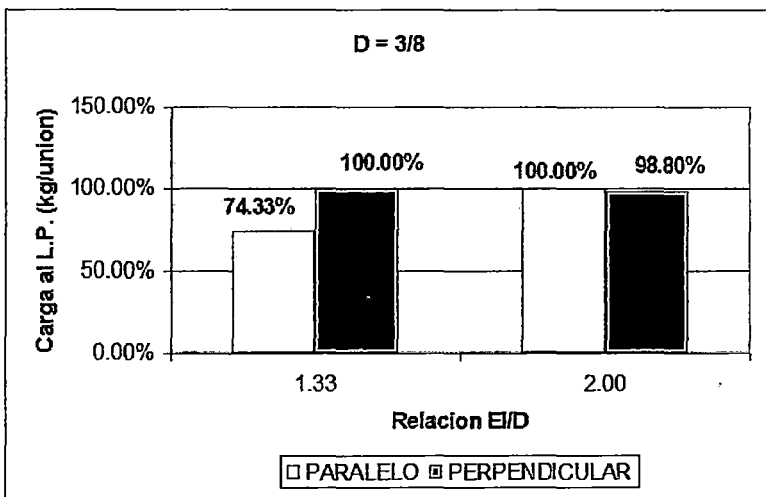
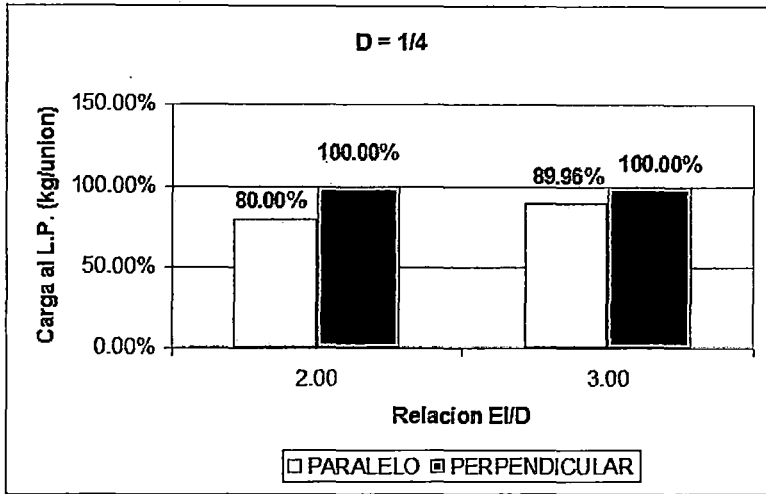
1.43  
 0.75

0.65  
 0.61

**Grafico 19: COMPARACION  
 DE CARGA MAXIMA A CIZALLAMIENTO SIMPLE  
 EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**



**Grafico 20: COMPARACION  
 DE CARGA MAXIMA A CIZALLAMIENTO SIMPLE  
 EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**



## ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DOBLE

En este ensayo se realizaron 2 series de 5 muestras cada una, debido a presentar un comportamiento inestable de parte de la pieza lateral y el tirafón en la parte roscada, como se observa en la foto 57 (pag. 110), con este inconveniente se procedió a desarrollar un solo ensayo tanto para el paralelo como para el perpendicular.

De los ensayos desarrollados podemos rescatar lo siguiente

### ❖ Cizallamiento Doble Paralelo al Grano:

1. La carga en el límite de proporcionalidad es el 49% de la carga máxima, lo que corresponde a 224.16 kg según la grafica 21(pag. 100).
2. La deformación en el límite proporcional es el 8% de la deformación máxima, lo que corresponde a 3.008 mm.

### ❖ Cizallamiento Doble Perpendicular al Grano:

1. La carga en el límite de proporcionalidad es el 46% de la carga máxima, lo que corresponde a 174.72 kg según la grafica 22.
2. La deformación en el límite proporcional es el 12% de la deformación máxima, lo que corresponde a 4.7 mm.
3. En este caso notamos que el valor a compresión paralela a la fibra son mayores que los valores a compresión perpendicular a la fibra, los cuales eran diferentes en cizallamiento simple.

**Cuadro 14: RESISTENCIA LATERAL  
 CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD Y CARGA MAXIMA  
 A CIZALLAMIENTO DOBLE PARALELO A LA FIBRA**

| <b>D</b>                   |           | <b>1/4</b> |      |  |                  |
|----------------------------|-----------|------------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafo (pulg) | EI (pulg) | Muestra    | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 2                          | 1/2       | C.1.1.     | 2.00 | 224.16                                   | 3.008            |

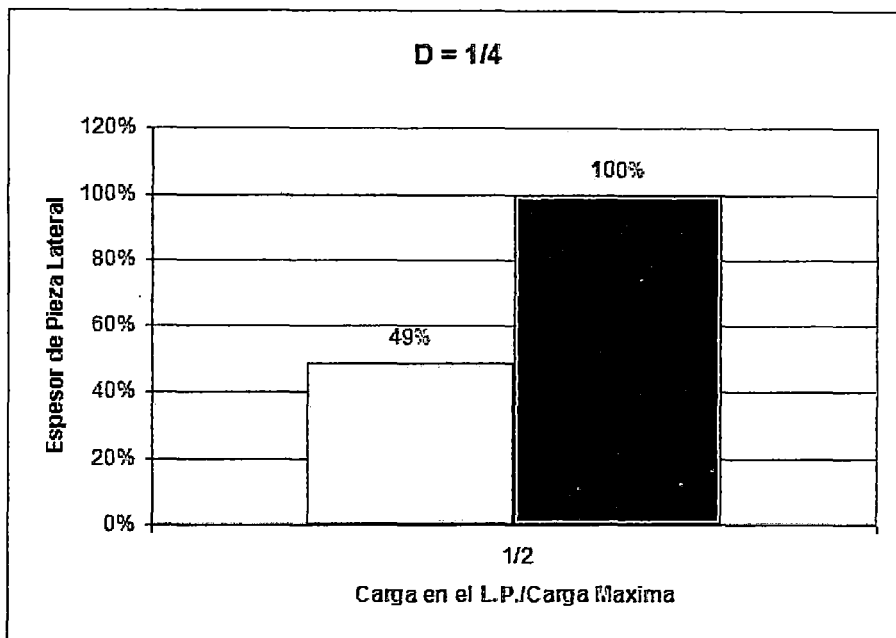
| <b>D</b>                   |           | <b>1/4</b> |      |                   |                  |
|----------------------------|-----------|------------|------|-------------------|------------------|
| Longitud del Tirafo (pulg) | EI (pulg) | Muestra    | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) |
| 2                          | 1/2       | C.1.1.     | 2.00 | 461.76            | 38.16            |

**Cuadro 15: RESISTENCIA LATERAL  
 CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD Y CARGA MAXIMA  
 A CIZALLAMIENTO DOBLE PERPENDICULAR A LA FIBRA**

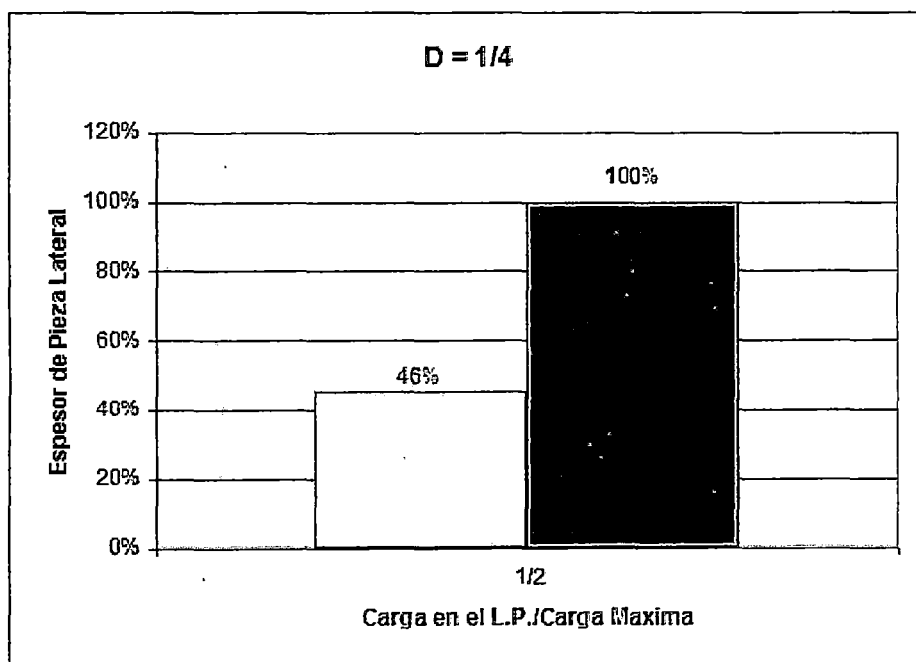
| <b>D</b>                   |           | <b>1/4</b> |      |  |                  |
|----------------------------|-----------|------------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafo (pulg) | EI (pulg) | Muestra    | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 2                          | 1/2       | D.1.1.     | 2.00 | 174.72                                   | 4.7              |

| <b>D</b>                   |           | <b>1/4</b> |      |                   |                  |
|----------------------------|-----------|------------|------|-------------------|------------------|
| Longitud del Tirafo (pulg) | EI (pulg) | Muestra    | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) |
| 2                          | 1/2       | D.1.1.     | 2.00 | 384               | 38.06            |

**Grafico 21: COMPARACION CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD CON LA CARGA MAXIMA CIZALLAMIENTO DOBLE PARALELO AL GRANO**



**Grafico 22: COMPARACION CARGA EN EL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD CON LA CARGA MAXIMA CIZALLAMIENTO DOBLE PERPENDICULAR AL GRANO**



**Cuadro 16: RESISTENCIA LATERAL - COMPARACION  
 CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD A CIZALLAMIENTO DOBLE  
 EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**

**PARALELA A LA FIBRA**

| D                             |              | 1/4     |      |  |                  |
|-------------------------------|--------------|---------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafo<br>(pulg) | EI<br>(pulg) | Muestra | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 2                             | 1/2          | D.1.1.  | 2.00 | 224.16                                   | 3.008            |

**PERPENDICULAR A LA FIBRA**

| D                             |              | 1/4     |      |  |                  |
|-------------------------------|--------------|---------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafo<br>(pulg) | EI<br>(pulg) | Muestra | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 2                             | 1/2          | D.1.1.  | 2.00 | 174.72                                   | 4.7              |

FACTOR DE REDUCCION 0.78 1.56

**Cuadro 17: RESISTENCIA LATERAL - COMPARACION  
 CARGA MAXIMA A CIZALLAMIENTO DOBLE  
 EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**

**PARALELA A LA FIBRA**

| D                             |              | 1/4     |      |                   |                  |
|-------------------------------|--------------|---------|------|-------------------|------------------|
| Longitud del Tirafo<br>(pulg) | EI<br>(pulg) | Muestra | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) |
| 2                             | 1/2          | C.1.1.  | 2.00 | 461.76            | 38.16            |

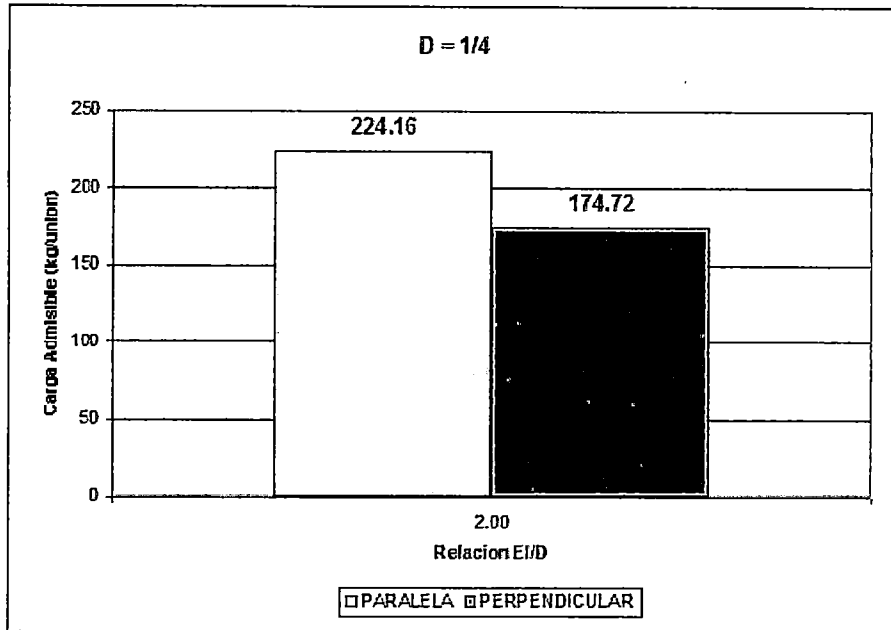
**PERPENDICULAR A LA FIBRA**

| D                             |              | 1/4     |      |                   |                  |
|-------------------------------|--------------|---------|------|-------------------|------------------|
| Longitud del Tirafo<br>(pulg) | EI<br>(pulg) | Muestra | EI/D | Carga Maxima (kg) | Deformacion (mm) |
| 2                             | 1/2          | D.1.1.  | 2.00 | 384               | 38.06            |

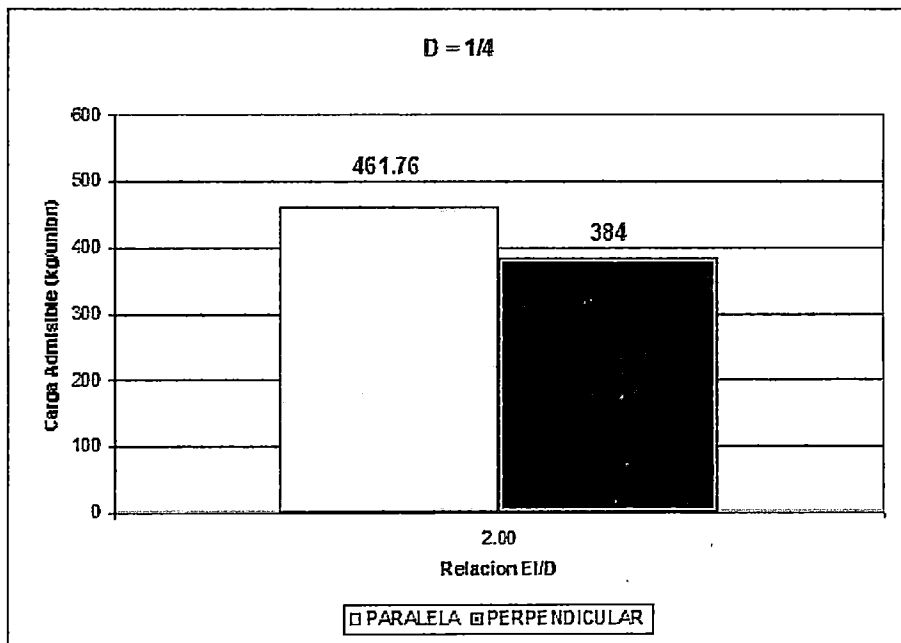
FACTOR DE REDUCCION 0.83 0.997



**Grafico 23: COMPARACION  
CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD A CIZALLAMIENTO DOBLE  
EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**



**Grafico 24: COMPARACION  
CARGA MAXIMA A CIZALLAMIENTO DOBLE  
EN PARALELO VERSUS PERPENDICULAR A LA FIBRA**



**Cuadro 18: ANALISIS VISUAL DE LAS MUESTRAS ENSAYADAS**

| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO       | MUESTRA | Ei (espesor pieza lateral) | D (Diámetro) | Ei/D  | ELEMENTO QUE FALLA |
|-------------------------------|---------|----------------------------|--------------|-------|--------------------|
| SIMPLE PARALELO AL GRANO      | A.1.1.  | 1/2                        | 1/4          | 2.00  | MADERA             |
|                               | C.2.1.  | 3/4                        | 1/4          | 3.00  | TIRAFON            |
|                               | A.2.1.  | 1                          | 1/4          | 4.00  | TIRAFON            |
|                               | A.3.1.  | 1 1/2                      | 1/4          | 6.00  | TIRAFON            |
|                               | A.1.2.  | 1/2                        | 3/8          | 1.33  | MADERA             |
|                               | C.2.2.  | 3/4                        | 3/8          | 2.00  | AMBOS              |
|                               | A.2.2.  | 1                          | 3/8          | 2.67  | AMBOS              |
|                               | A.3.2.  | 1 1/2                      | 3/8          | 4.00  | TIRAFON            |
|                               | A.1.3.  | 1/2                        | 1/2          | 1.00  | MADERA             |
|                               | C.2.3.  | 3/4                        | 1/2          | 1.50  | AMBOS              |
|                               | A.2.3.  | 1                          | 1/2          | 2.00  | AMBOS              |
| A.3.3.                        | 1 1/2   | 1/2                        | 3.00         | AMBOS |                    |
| SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO | B.1.1.  | 1/2                        | 1/4          | 2.00  | TIRAFON            |
|                               | D.2.1.  | 3/4                        | 1/4          | 3.00  | TIRAFON            |
|                               | B.1.2.  | 1/2                        | 3/8          | 1.33  | MADERA             |
|                               | D.1.2.  | 1/2                        | 3/8          | 1.33  | MADERA             |
|                               | D.2.2.  | 3/4                        | 3/8          | 2.00  | AMBOS              |
|                               | D.1.3.  | 1/2                        | 1/2          | 1.00  | MADERA             |
|                               | D.2.3.  | 3/4                        | 1/2          | 1.50  | MADERA             |
| DOBLE PARALELO                | C.1.1.  | 1/2                        | 1/4          | 2     | TIRAFON            |
| DOBLE PERPENDICULAR           | D.1.1.  | 1/2                        | 1/4          | 2     | TIRAFON            |

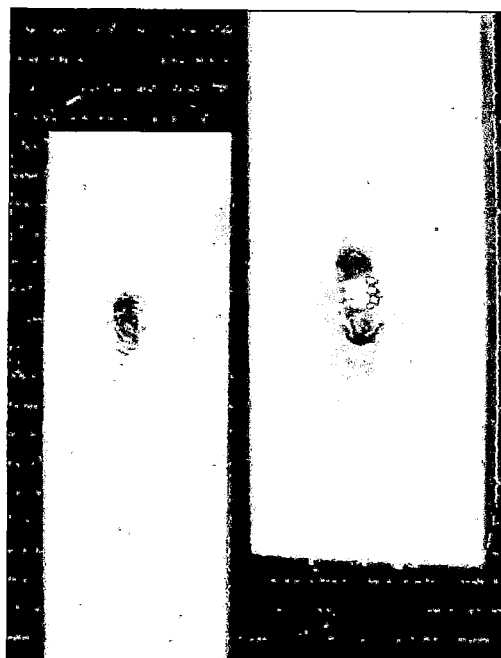
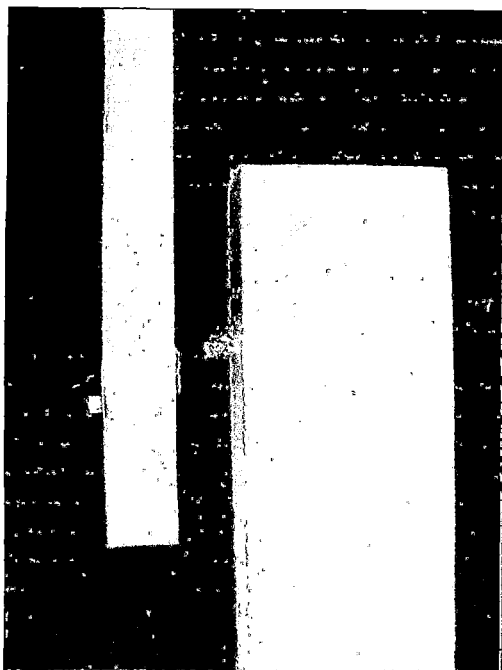
## Continúa Cuadro18

| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO |     |  |
|--|-----|--|
| MUESTRA  | D   | OBSERVACION  |
| A.1.1.   | 1/4 | El bajo espesor de la madera lateral origina el punto de falla en la unión la cual es muy perceptible. Ver foto 49.  |
| C.2.1.   | 1/4 | Al aumentar el espesor de la pieza lateral, esta se hace mas resistente y es a partir de aquí que el elemento que falla es el tirafón de 1/4", en este ensayo el tirafón se dobla. Ver foto 51.  |
| A.2.1.   | 1/4 | El tirafón se dobla, llega al estado plástico y llega hasta la rotura como se observa en las fotos 47.   |
| A.3.1.   | 1/4 | Mientras se aumenta el espesor de la pieza lateral para un diámetro constante y muy bajo como es el de 1/4" falla el tirafón. Concluimos que esta relación de E/D no es recomendable, por presentar una falla frágil. Ver foto 47.   |
| A.1.2.   | 3/8 | El diámetro del tirafón ahora analizado es el de 3/8" el cual es más resistente, como consecuencia de ello el elemento que falla esta vez debido a su escaso espesor es la pieza lateral.  |
| C.2.2.   | 3/8 | Al aumentar el espesor de la pieza lateral y poseer un diámetro resistente como es el de 3/8", el elemento que falla ya no es uno solo, si no son ambos, resaltando la falla de parte de la madera.  |
| A.2.2.   | 3/8 | En este ensayo se aprecia la falla de parte de ambos elementos equitativamente, ya que no es como el ensayo anterior donde predominaba la falla de la madera con respecto al tirafón. Ver foto 51.   |
| A.3.2.   | 3/8 | Este ensayo nos demuestra claramente que al aumentar el espesor de la madera este se hace mas resistente, y el elemento que falla es sin duda alguna el tirafón; podemos rescatar además que esta relación e/D no es la mas indicada pues el elemento que falla es el tirafón, sin un previo aviso de falla por parte de la madera. Falla frágil. Ver foto 50.                   |
| A.1.3.   | 1/2 | El aumento en el diámetro del tirafón la hace más resistente, por tal motivo el elemento que falla mas aun es la madera.   |
| C.2.3.   | 1/2 | Este ensayo nos muestra que ambos elementos fallan, pero la madera resulta mas afectada debido a que esta vez el diámetro que lo esta atravesando tiene un espesor de 1/2".  |
| A.2.3.   | 1/2 | Al aumentar el espesor de la madera se hace más resistente y hace que el tirafón se encuentre mas cercano al punto de falla como se demuestra en este ensayo.  |
| A.3.3.   | 1/2 | El espesor de la madera se incrementa, como consecuencia el tirafón es el elemento que falla, siendo la madera no muy afectada por lo tanto se presenta una falla frágil en la unión tirafón - madera la cual no es recomendable, debido a que no se puede apreciar exactamente cuando falla la unión, excepto por el sonido que se produce al momento de la falla. Ver foto 50. |

| <b>ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO</b> |          |   |
|--|----------|---|
| <b>MUESTRA</b>   | <b>D</b> | <b>OBSERVACION</b>  |
| B.1.1.   | 1/4      | El diámetro del tirafón de 1/4" es muy bajo para este ensayo, el cual tiende a fallar rápidamente, sin presencia de rajaduras en la pieza lateral, lo cual es muy preocupante. Ver foto 54.   |
| D.2.1.   | 1/4      | Se presenta una falla frágil de la misma manera que la observación anterior el tirafón es el que presenta la falla y se dobla a un aumento en espesor de la pieza lateral, sin cambio de la madera.   |
| B.1.2.   | 3/8      | El diámetro del tirafón aumenta y la hace mas resistente al corte, de tal manera que la falla es producida por la madera. Ver foto 55.  |
| D.1.2.   | 3/8      | Este ensayo contiene las mismas características que el ensayo anterior, lo que se quiso demostrar fue el comportamiento similar, el cual se presento en la resistencia y también aquí en la observación física, notando que la madera es la que falla.  |
| D.2.2.   | 3/8      | Esta relación de E/D es un poco alta por tal motivo el espesor de la madera se incrementa la cual trae como consecuencia la falla del tirafón, pero a su vez se observa unas rajaduras por parte de la madera, la cual no llega totalmente a partirse. Ver foto 53.   |
| D.1.3.   | 1/2      | Esta relación de E/D es la ideal para diseñar y tener en cuenta la falla frágil de la unión, ya que el elemento de falla es la madera, y nos proporciona una visión inicial del punto de falla.   |
| D.2.3.   | 1/2      | De igual manera para una relación de E/D baja, el comportamiento de la unión será la indicada ya que se observa una mejor resistencia en el tirafón, dicho de otra manera, la unión fallara debido a la resistencia última de la madera.  |
| <b>ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DOBLE PARALELO AL GRANO</b>       |          |   |
| <b>MUESTRA</b>   | <b>D</b> | <b>OBSERVACION</b>  |
| C.1.1.   | 1/4      | Este ensayo es muy especial debido a que al tener dos fuerzas actuantes sobre un tirafón, estas hacen que dicho tirafón pierda consistencia y llegue rápidamente al punto de falla, además que falle rápidamente en la zona de la punta roscada, por no presentar un buen agarre en las fibras de la madera. Ver foto 57.                                   |
| <b>ENSAYO DE CIZALLAMIENTO DOBLE PERPENDICULAR AL GRANO</b>  |          |   |
| <b>MUESTRA</b>   | <b>D</b> | <b>OBSERVACION</b>  |
| D.1.1.   | 1/4      | Como se explico en la observación anterior, estos ensayos dobles no son recomendables para un solo tirafón, ya que el lado de agarre de la punta roscada no presenta buena estabilidad y esto genera que el elemento no falle solo por el tirafón, sino también por la zona roscada donde no existe un buen agarre de las fibras de la madera. Ver foto 60. |

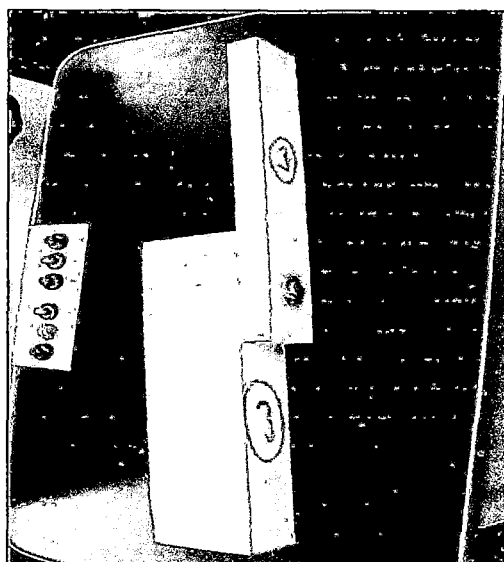
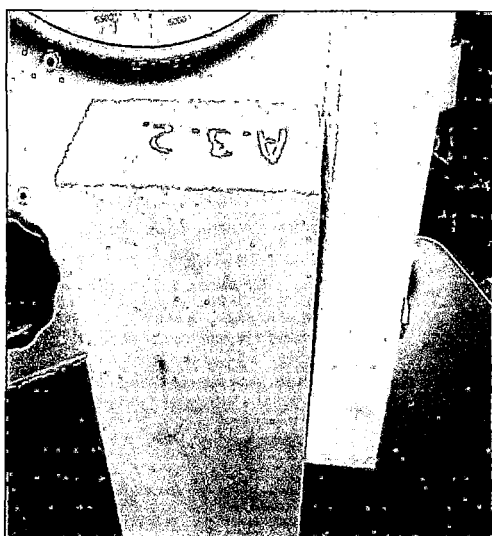
**Foto 47.: Tirafón falla – rotura total.**

**Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano**



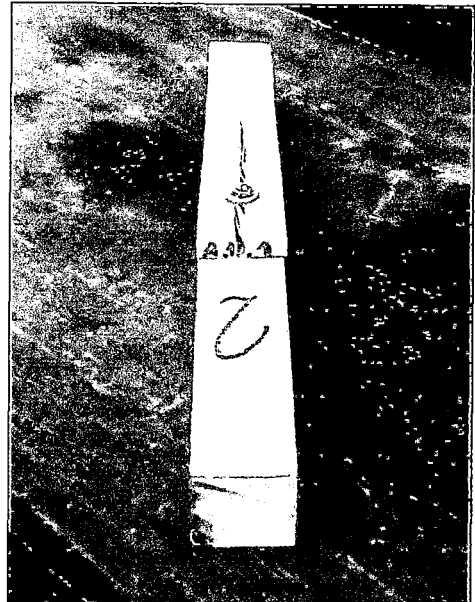
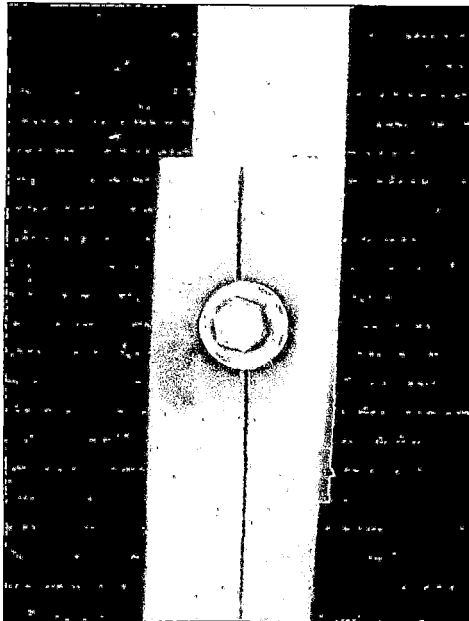
**Foto 48: Tirafón falla – rotura parcial.**

**Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano**



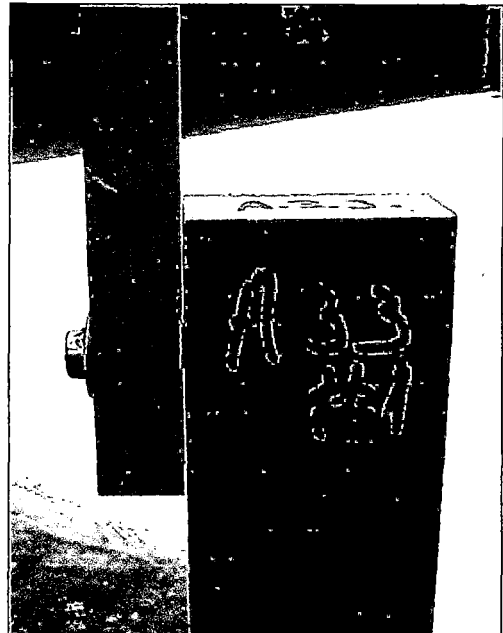
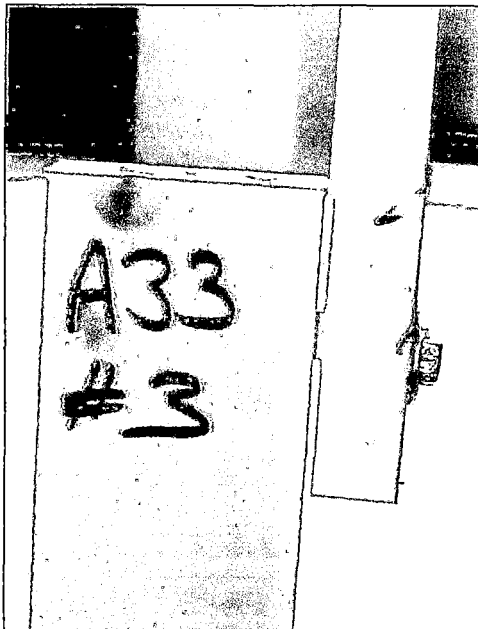
**Foto 49: Madera falla.**

**Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano**

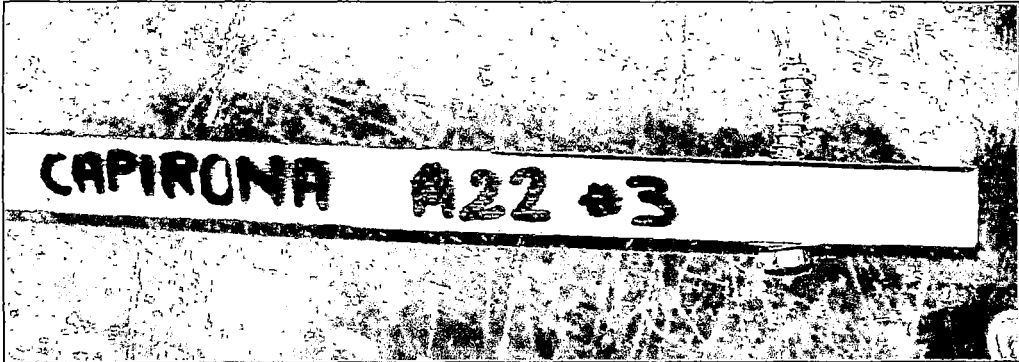


**Foto 50: Tirafón falla – rotura parcial.**

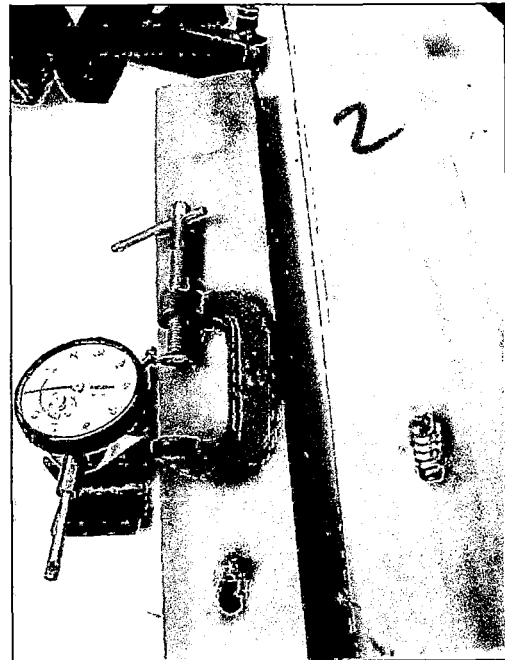
**Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano**



**Foto 51: Tirafón falla – doblado parcial**  
**Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano**

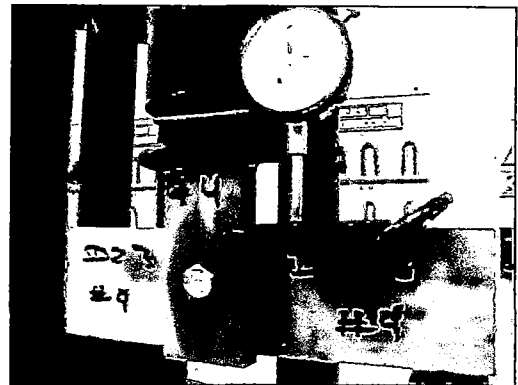
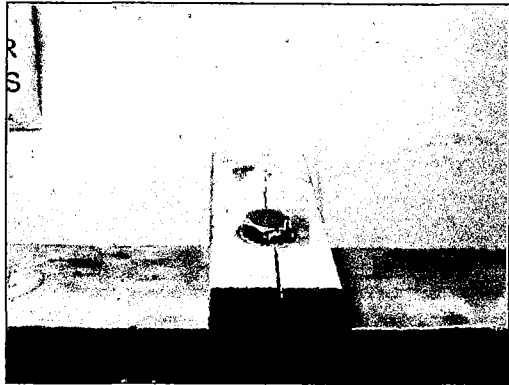


**Foto 52: Fallan ambos – Madera (derecha) y Tirafón (izquierda)**  
**Ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano**



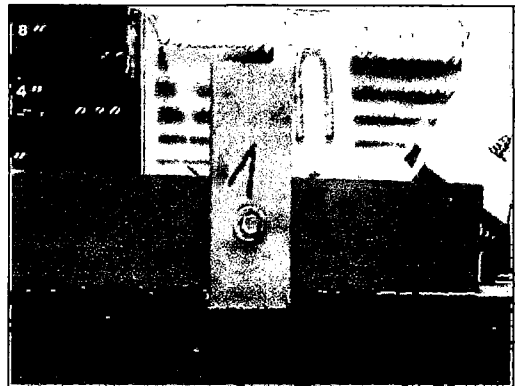
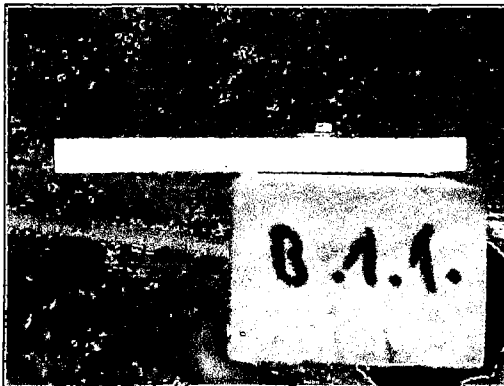
**Foto 53: Falla madera**

**Ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano**



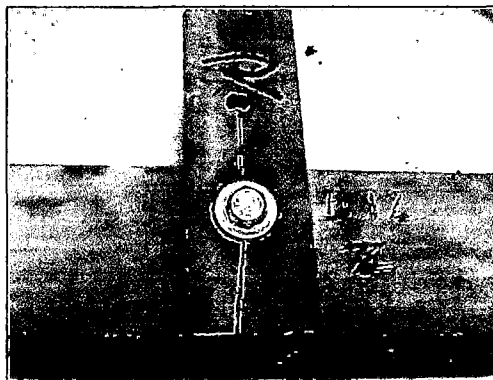
**Foto 54: Falla tirafón**

**Ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano**



**Foto 55: Fallan ambos - madera y tirafón**

**Ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano**





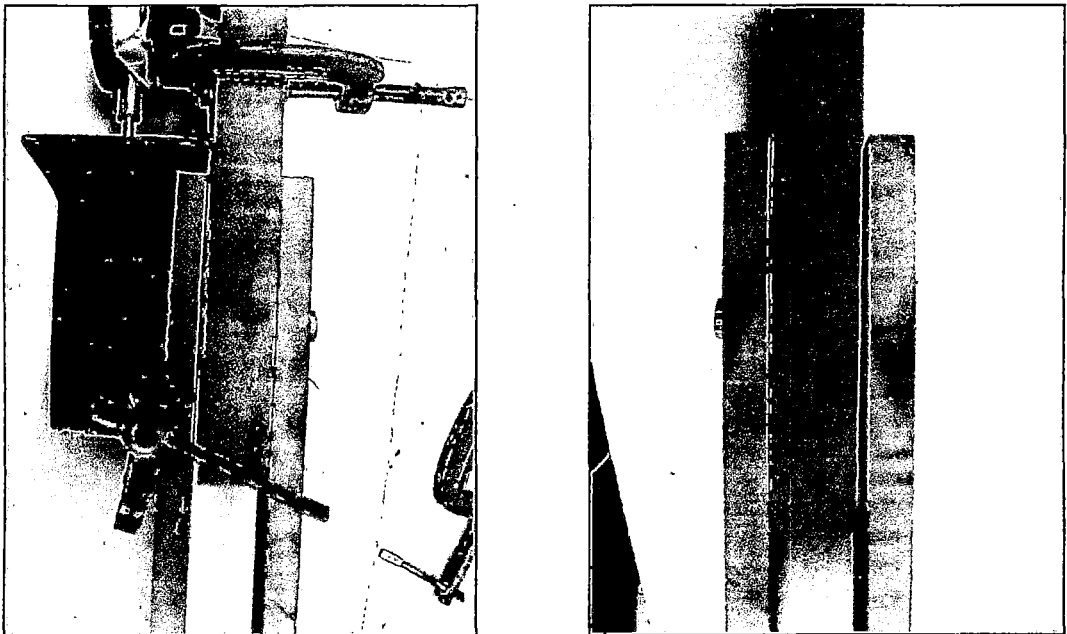
**Foto 56: Falla tirafón**

**Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano**

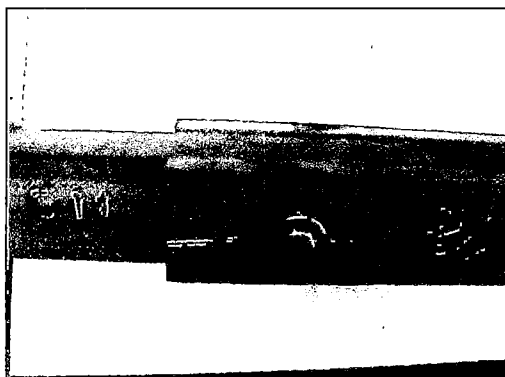
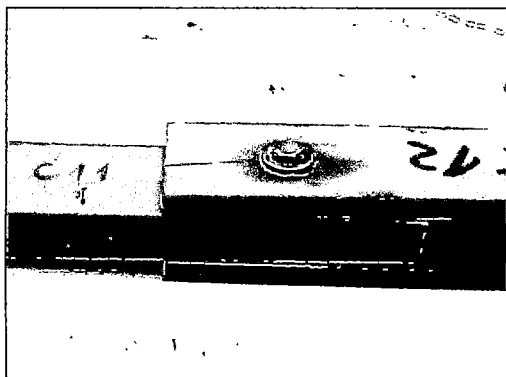


**Foto 57: Falla madera en zona mal roscada**

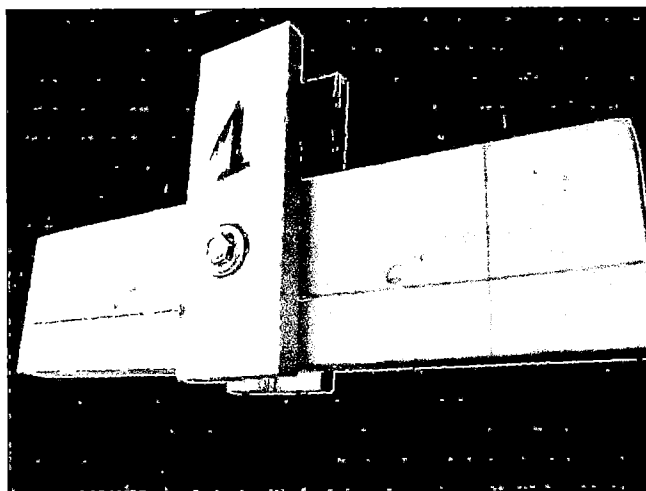
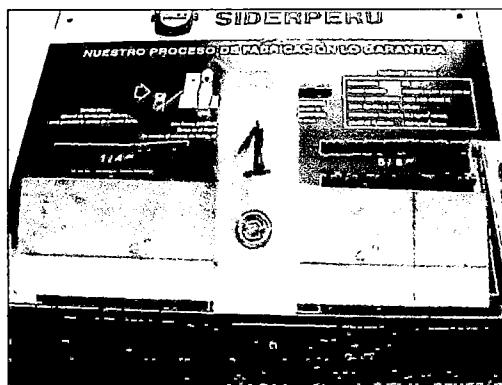
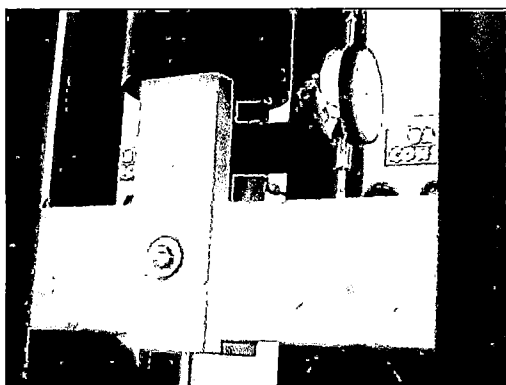
**Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano**



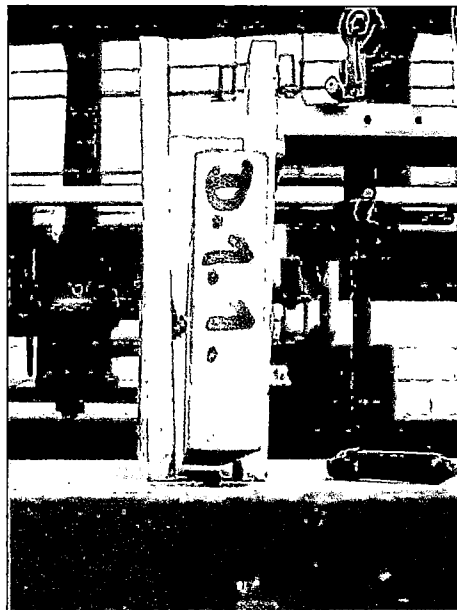
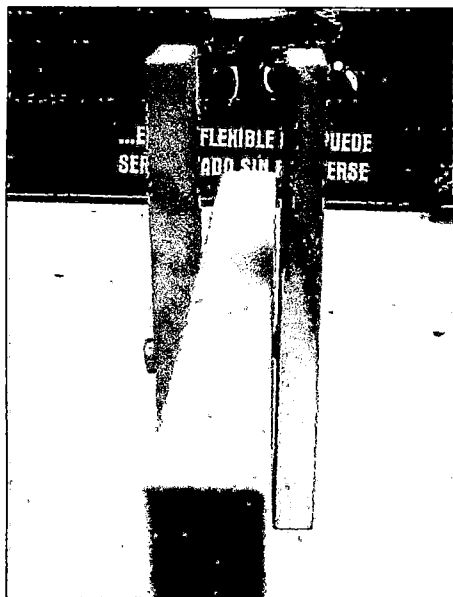
**Foto 58: Fallan ambos – madera y tirafón**  
**Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano**



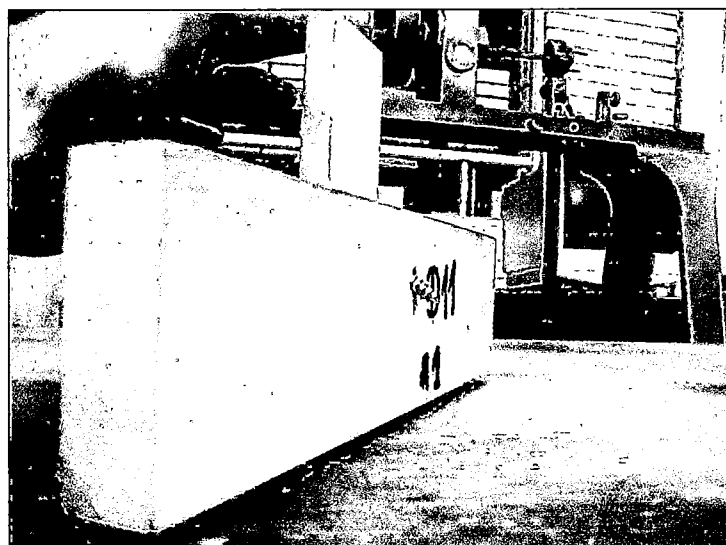
**Foto 59: Falla tirafón**  
**Ensayo de cizallamiento doble perpendicular al grano**



**Foto 60: Falla madera en zona mal roscada**  
**Ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano**



**Foto 61: Falla tirafón se dobla**  
**Ensayo de cizallamiento doble perpendicular al grano**



## SINTESIS

Las cargas de diseño para los ensayos de cizallamiento en la presente investigación se muestran resumidas en los siguientes cuadros:

### CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO A LA FIBRA

| D                           |               |                 | 1/4                                      | 3/8                                      | 1/2                                      |
|-----------------------------|---------------|-----------------|--|--|--|
| Longitud del Tirafón (pulg) | Pieza Lateral | Pieza Principal | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) |
| 1 ½                         | ½             | 2               | 102.24                                   | 140.64                                   | 132.48                                   |
| 1 ½                         | ¾             | 1 ½             | 149.76                                   | 205.44                                   | 188.16                                   |
| 2 ½                         | 1             | 3               | 163.68                                   | 256.32                                   | 228                                      |
| 3 ½                         | 1 ½           | 4               | 160.992                                  | 281.28                                   | 346.08                                   |

### CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR A LA FIBRA

| D                           |               |                 | 1/4                                      | 3/8                                      | 1/2                                      |
|-----------------------------|---------------|-----------------|--|--|--|
| Longitud del Tirafón (pulg) | Pieza Lateral | Pieza Principal | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) |
| 1 ½                         | 1/2           | 2               | 121.44                                   | 144.48                                   | 160                                      |
| 1 ½                         | ¾             | 1 ½             | 164.64                                   | 202.08                                   | 222.24                                   |

### CIZALLAMIENTO DOBLE PARALELO AL GRANO

| D                           |               |                 | 1/4                                      |
|-----------------------------|---------------|-----------------|--|
| Longitud del Tirafón (pulg) | Pieza Lateral | Pieza Principal | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) |
| 2                           | 1/2           | 1               | 224.16                                   |

### CIZALLAMIENTO DOBLE PERPENDICULAR AL GRANO

| D                           |               |                 | 1/4                                      |
|-----------------------------|---------------|-----------------|--|
| Longitud del Tirafón (pulg) | Pieza Lateral | Pieza Principal | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) |
| 2                           | 1/2           | 1               | 174.72                                   |

- ❖ De acuerdo a la tabla presentada podemos apreciar que las uniones a cizallamiento simple cargadas en forma paralela a la dirección del grano resistieron menos que las uniones perpendiculares al grano; lo cual al comparar con las propiedades de la madera Quinilla, encontramos que son muy diferentes ya que las cargas paralelas al grano son mayores a las cargas perpendiculares; esto se debe a distintas razones, una de las mas importantes son los tipos de fallas que se generan en los ensayos.
- ❖ El porcentaje de variación de la carga proporcional entre el ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano y el perpendicular se encuentra hasta en 17%. Ver grafico 18.
- ❖ El porcentaje de variación de la carga máxima entre el ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano y el perpendicular es hasta en 25%. Ver grafico 20.
- ❖ Debido a que la madera Capirona y la Quinilla pertenecen a un mismo grupo estructural (grupo A) poseen valores cercanos en sus comportamientos mecánicos en extracción directa y cizallamiento.
- ❖ El comportamiento del tirafón en el ensayo de cizallamiento doble es irregular debido a la poca profundidad de penetración en la segunda pieza lateral (Ver foto 57 y 60); es por este el motivo principal que se realizaron solo dos series representativas, una para el ensayo de cizallamiento doble paralelo al grano y otra para el ensayo de cizallamiento doble perpendicular al grano. Comparándolos con los ensayos de la tesis realizada por la Ing. Claudia Paredes se encuentran resultados similares.
- ❖ La unión a cizallamiento doble cargada en forma paralela presento una resistencia mayor que la unión cargada perpendicularmente tanto en la carga al limite proporcional como en la carga máxima. Ver cuadro 16 y cuadro 17.
- ❖ El límite de proporcionalidad en el ensayo de cizallamiento simple es aproximadamente el 35% de la carga máxima, mientras que en el ensayo de cizallamiento doble es aproximadamente el 45% de la carga máxima.

- ❖ De las muestras representativas realizadas en los ensayos de cizallamiento doble, podemos indicar que al poseer mas planos de corte poseeremos mayor resistencia, como se comprueba en esta investigación.
- ❖ Según el cuadro 18 “Análisis Visual de las Muestras Ensayadas” se presentaron dos tipos de fallas, falla dúctil y falla frágil.
- ❖ La falla frágil se genera a partir del cual el elemento que falla es el tirafón sin una previa falla de la madera, el cual no es recomendable para construcciones como medida de seguridad, siempre en cuando se utilice un factor de seguridad apropiado.
- ❖ De distinta manera, en la falla dúctil se produce rajadura de la fibra o rotura de la madera antes que falle el tirafón; esto genera un aviso previo antes de la falla.
- ❖ En los ensayos de cizallamiento simple la relación  $e/D < 2$ , generara una falla dúctil en la unión, fallando la madera. Ver cuadro 18.
- ❖ En los ensayos representativos de cizallamiento doble la relación  $e/D = 2$ , generara una falla frágil en la unión, fallando el tirafón. Ver cuadro 18.

### **5.3 .COMPARACIÓN CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA OTRAS ESPECIES**

Las propiedades mecánicas de la unión estructural con tirafón en madera capirona descubiertas en esta investigación están relacionadas con estudios anteriores, los cuales hacen mención a este tipo de unión con tirafones pero con distinta especie maderable, las cuales son:

- ❖ Uniones Estructurales con Tirafones en madera tornillo  
Autor: Manuel La Rosa Musante – 1983
  
- ❖ Uniones Estructurales con tirafones en madera quinilla colorada  
Autor: Claudia Paredes Palomino – 2006

Dichos estudios han sido en todo momento referencias utilizadas para seguir el correcto procedimiento y análisis de la presente investigación.

Los factores para determinar los valores de diseño utilizados en la tesis del Ingeniero Manuel La Rosa Musante difieren de la tesis realizada por la Ingeniera Claudia Paredes Palomino y así como los de esta investigación por lo que para poder compararlos hemos utilizado los factores de diseño señalados en la *National Design Specification* (NDS).

## ENSAYO DE EXTRACCION DIRECTA

- ❖ En el cuadro 19 se indican los valores de diseño encontradas para las especies maderables ya estudiadas como son la Quinilla y el Tornillo, además de la madera norteamericana mas densa dada por el Timber Design and Construction Handbook.
- ❖ La carga admisible de extracción de tirafón en madera Capirona es relativamente baja respecto a la Quinilla y de la madera que indica el Timber Design and Construction Handbook, pero mucho mayor que la del Tornillo, como se observa en el grafico 19.
- ❖ Analizando una misma penetración e igual diámetro del tirafón para las distintas especies maderables estudiadas podemos indicar que el comportamiento de la madera Capirona se encuentra entre el de la madera tornillo y de la quinilla. Ver grafico 26.
- ❖ De acuerdo a las comparaciones hechas, podemos decir que para una misma profundidad de penetración del tirafón y un mismo diámetro, la carga admisible de extracción de la madera Tornillo es el 44% de la madera Capirona, y así mismo, para la madera Quinilla es el 159% de la madera Capirona Ver grafico 26.



**Cuadro 19: RESULTADOS DE VALORES DE DISEÑO  
ENSAYO DE EXTRACCION DIRECTA EN  
ESPECIES MADERABLES ESTUDIADAS**

**CAPIRONA**

| Diámetro del Tirafón (cm) | Carga de Extracción Permisible (kg/cm) |
|---------------------------|--|
| 0.63                      | 46.06                                  |
| 0.94                      | 48.21                                  |
| 1.27                      | 61.13                                  |

**QUINILLA**

| Diámetro del Tirafón (cm) | Carga de Extracción Permisible (kg/cm) |
|---------------------------|--|
| 0.63                      | 67.61                                  |
| 0.77                      | 73.66                                  |
| 0.94                      | 76.54                                  |

Fuente: Tesis "Uniones Estructurales en madera Quinilla Colorada" (7)

**TORNILLO**

| Diámetro del Tirafón (cm) | Carga de Extracción Permisible (kg/cm) |
|---------------------------|--|
| 0.94                      | 21.13                                  |
| 1.27                      | 25                                     |

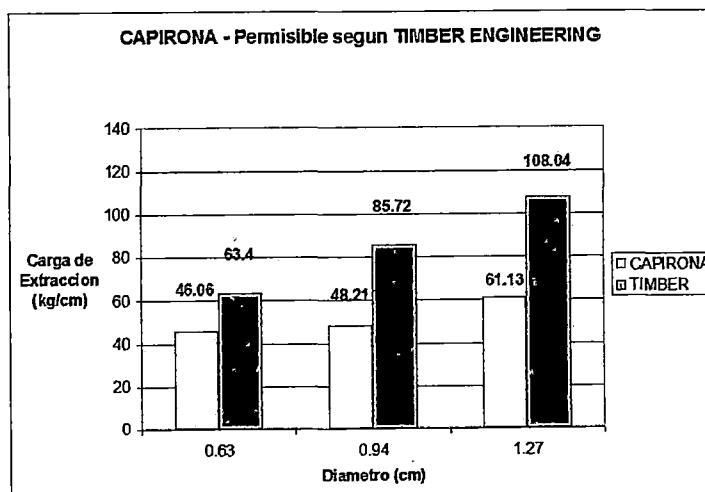
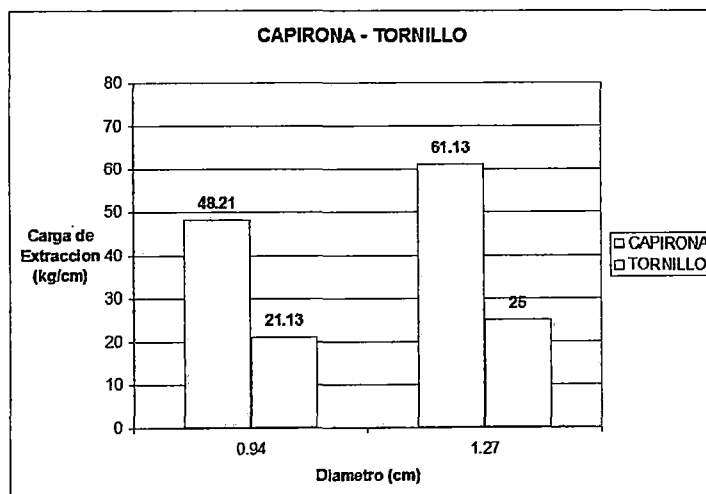
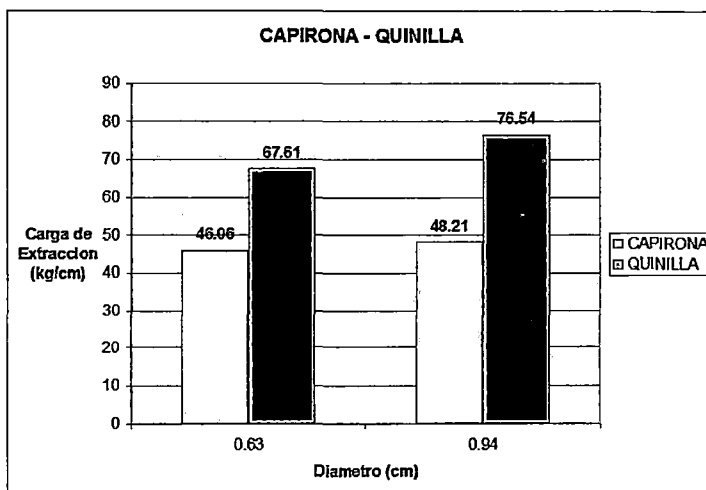
Fuente: Tesis "Uniones Estructurales en madera Tornillo" (8)

**Permisible según Timber Engineering  
Company**

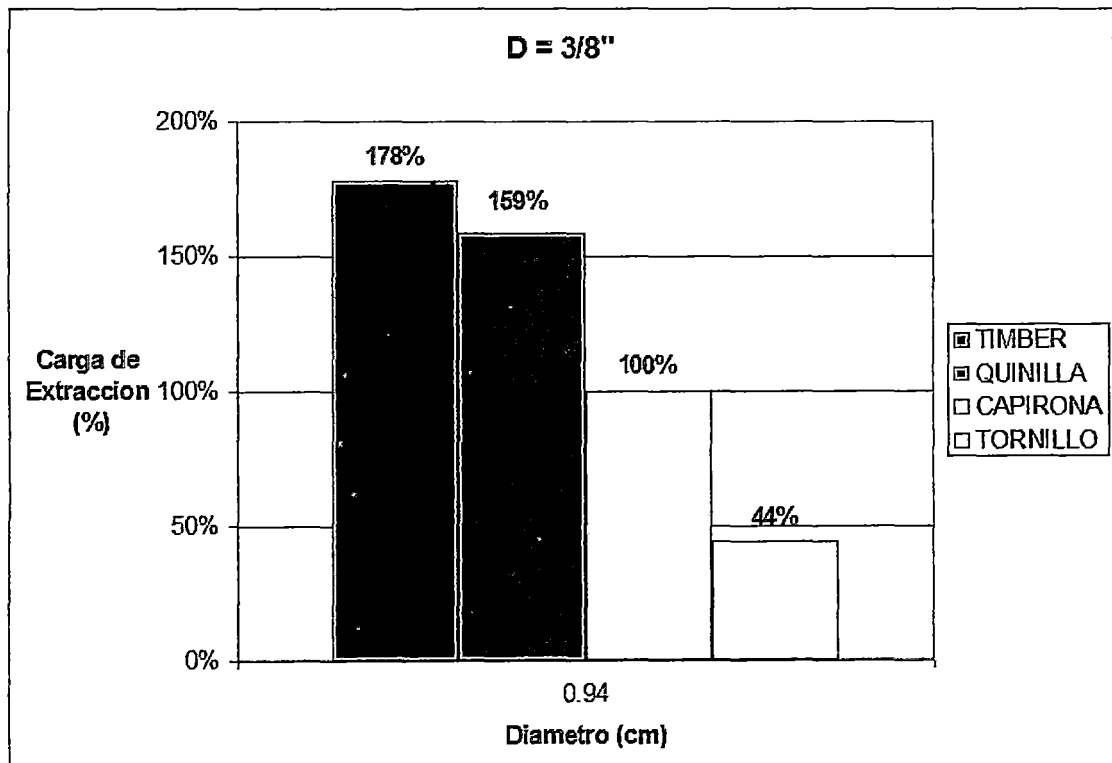
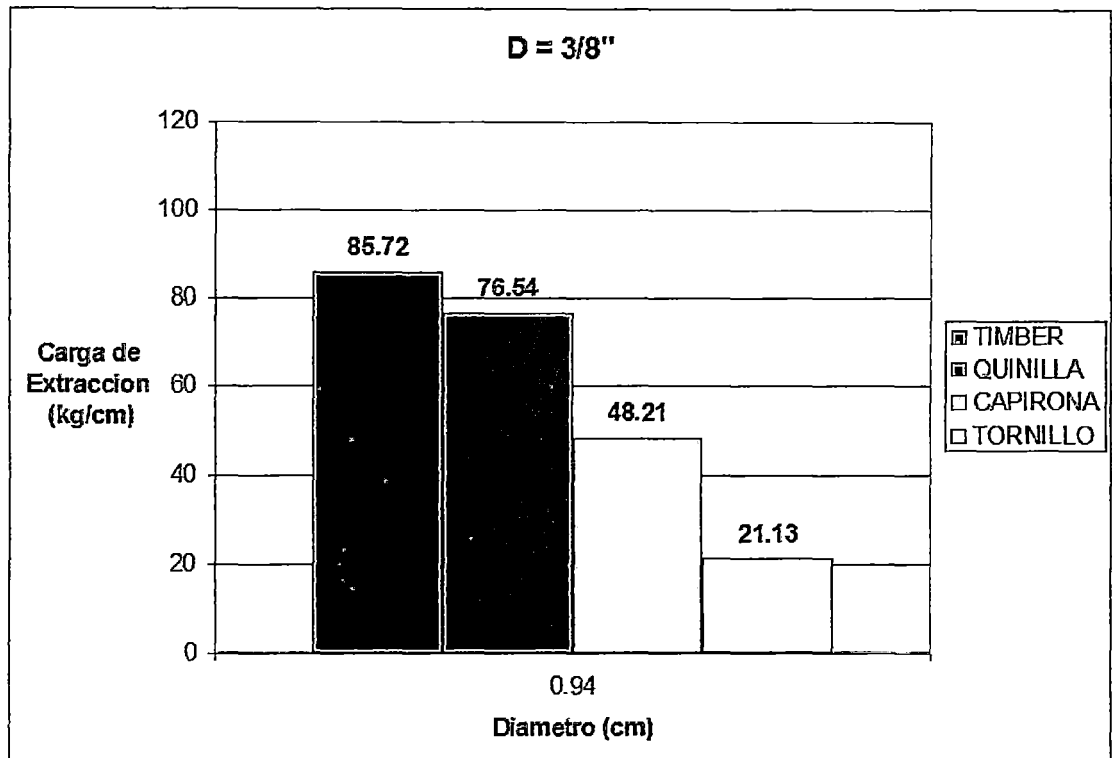
| Diámetro del Tirafón (cm) | Carga de Extracción Permisible (kg/cm) |
|---------------------------|--|
| 0.63                      | 63.4                                   |
| 0.94                      | 85.72                                  |
| 1.27                      | 108.04                                 |

Fuente: "Timber Design and Construccion Handbook" (11)

**Grafico 25: COMPORTAMIENTO DE LA CAPIRONA RESPECTO DE OTRAS ESPECIES ESTUDIADAS - ENSAYO DE EXTRACCION DIRECTA**



**Grafico 26: COMPARACION DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS  
ENSAYO DE EXTRACCION DIRECTA  
VALORES DE DISEÑO**



## ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

- ❖ En el ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano se puede apreciar que la especie “tornillo” tiene muy pocos valores de diseño encontrados (Ver cuadro 20), por tal motivo la comparación mas ideal será con la madera quinilla.
  
- ❖ Anteriormente se indico que la carga admisible en el ensayo de cizallamiento simple paralelo al grano en madera Capirona es superior al de la carga admisible de la madera Quinilla y muy superior a la carga admisible de la madera Tornillo, siendo ambas el 72% y el 9% de la carga admisible de la unión tirafón madera capirona, respectivamente. Ver grafico 27.
  
- ❖ El valor de diseño de la carga admisible para el ensayo de cizallamiento simple en madera Quinilla varia entre el 74% al 106% de la madera Capirona según la relación E/D. Ver grafico 28.
  
- ❖ Como apreciamos en el grafico 29 la madera capirona posee un valor de diseño en el ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano muy superior al que presenta la madera Quinilla.

**Cuadro 20: COMPARACION DE VALORES DE DISEÑO  
CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD  
ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO  
EN ESPECIES MADERABLES ESTUDIADAS**

**CAPIRONA**

| D                           |           | 1/4  |  |                  | 3/8  |  |                  | 1/2  |  |                  |
|-----------------------------|-----------|------|--|------------------|------|--|------------------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafon (pulg) | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 1 ½                         | ½         | 2.00 | 102.24                                   | 5                | 1.33 | 140.24                                   | 6.68             | 1.00 | 132.48                                   | 3.53             |
| 2 ½                         | 1         | 3.00 | 149.76                                   | 8.32             | 2.00 | 205.44                                   | 5.43             | 1.50 | 188.16                                   | 3.39             |
| 3 ½                         | 1 ½       | 4.00 | 183.68                                   | 5.9              | 2.67 | 258.22                                   | 9.31             | 2.00 | 228                                      | 7.72             |
| 1 ½                         | ¾         | 6.00 | 160.892                                  | 9.88             | 4.00 | 281.28                                   | 8.09             | 3.00 | 346.08                                   | 8.71             |

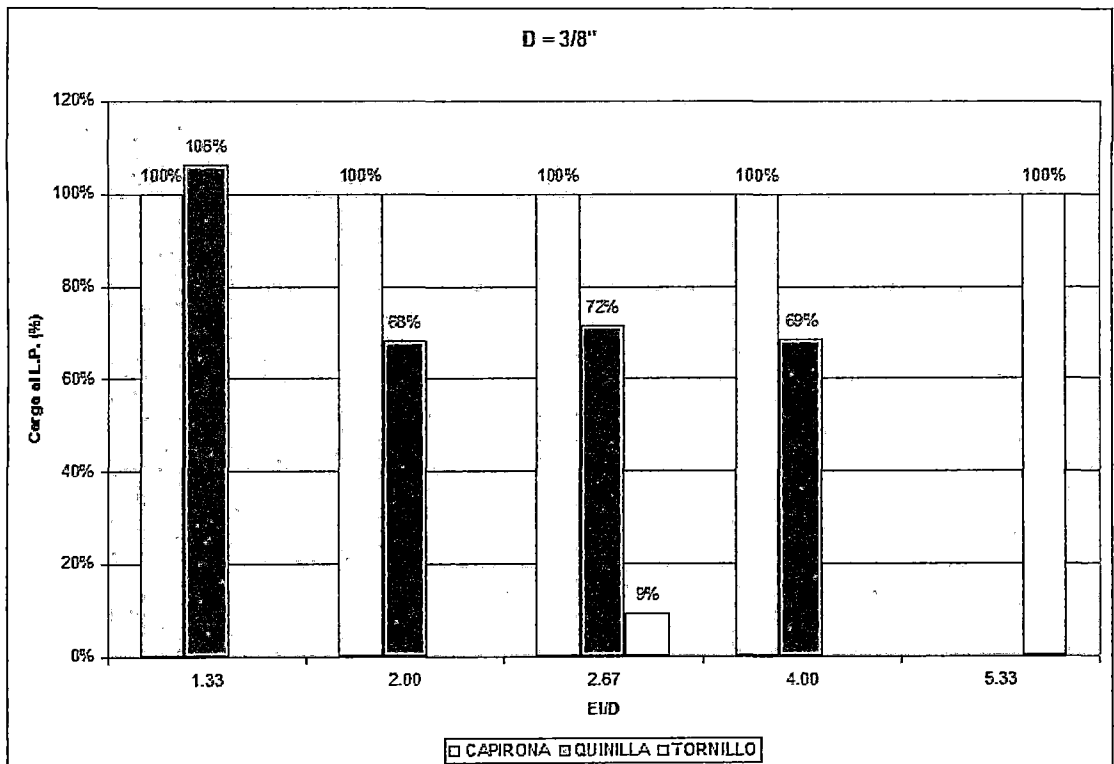
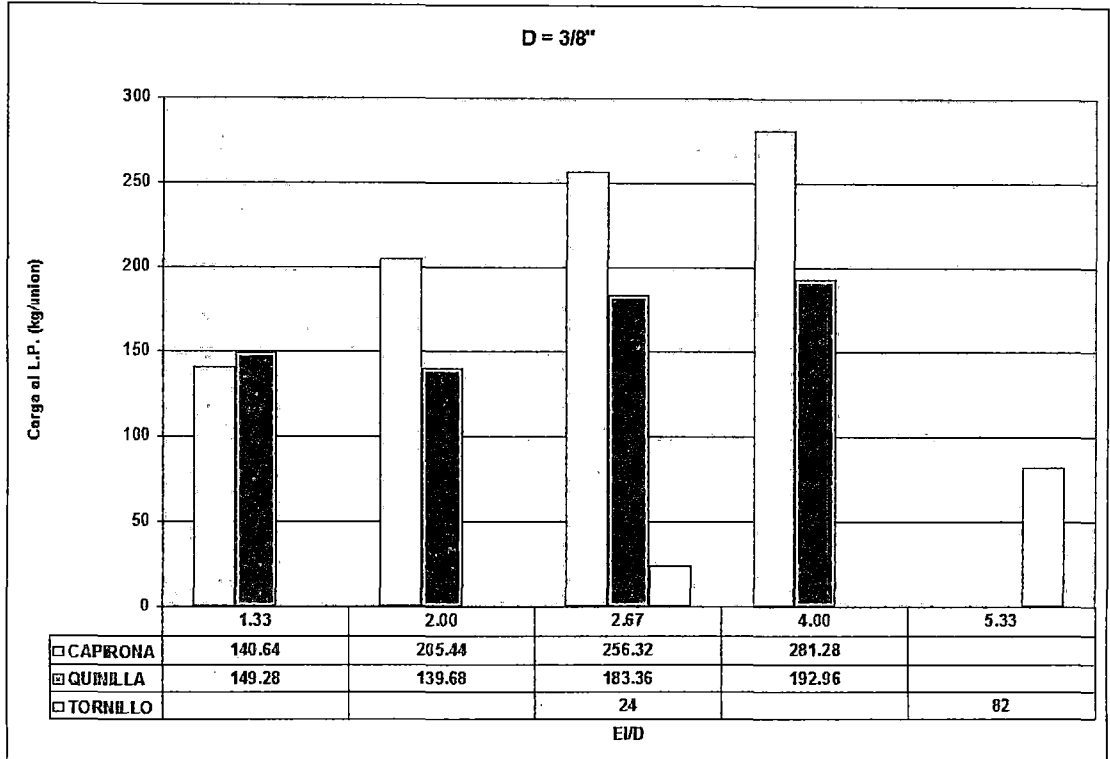
**QUINILLA**

| D                           |           | 1/4  |  |                  | 5/16 |  |                  | 3/8  |  |                  |
|-----------------------------|-----------|------|--|------------------|------|--|------------------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafon (pulg) | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 1 ½                         | ½         | 2.00 | 110.40                                   | 1.11             | 1.50 | 128.25                                   | 0.89             | 1.33 | 149.28                                   | 0.91             |
| 2                           | ¾         | 3.00 | 116.2                                    | 0.86             | 2.40 | 133.92                                   | 0.99             | 2.00 | 139.68                                   | 0.93             |
| 2                           | 1         | 4.00 | 121.92                                   | 0.89             | 3.20 | 170.88                                   | 0.94             | 2.67 | 183.36                                   | 1.24             |
| 2 ½                         | 1 ½       | 6.00 | 147.36                                   | 1.15             | 4.80 | 189.9                                    | 0.98             | 4.00 | 192.96                                   | 1.35             |

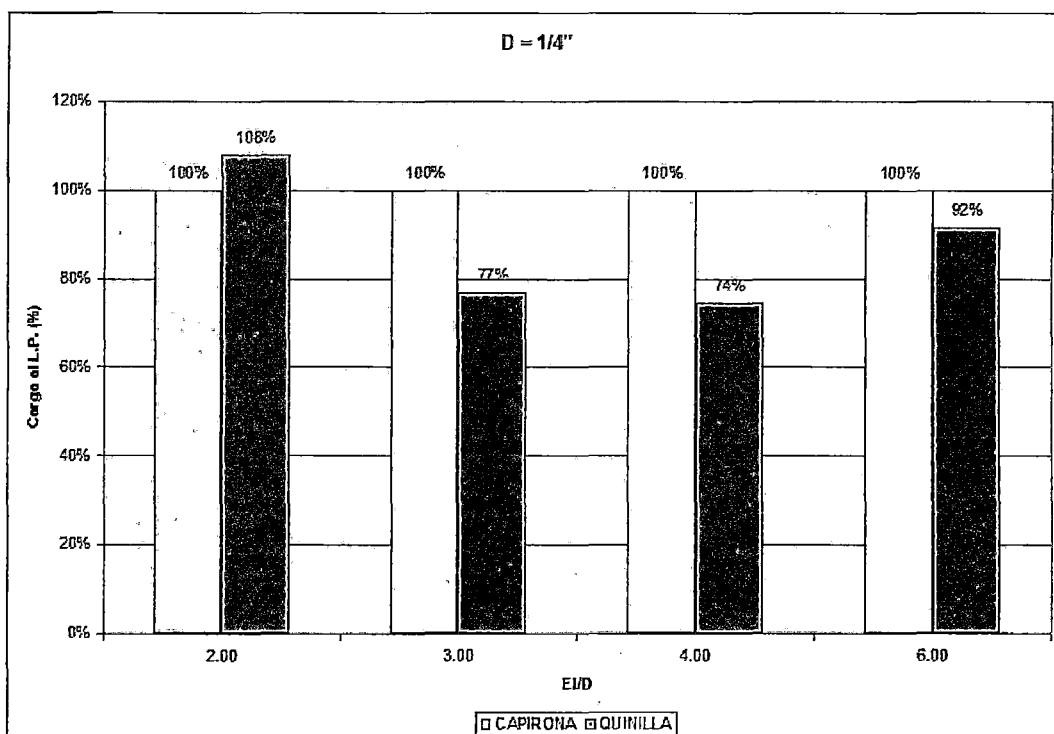
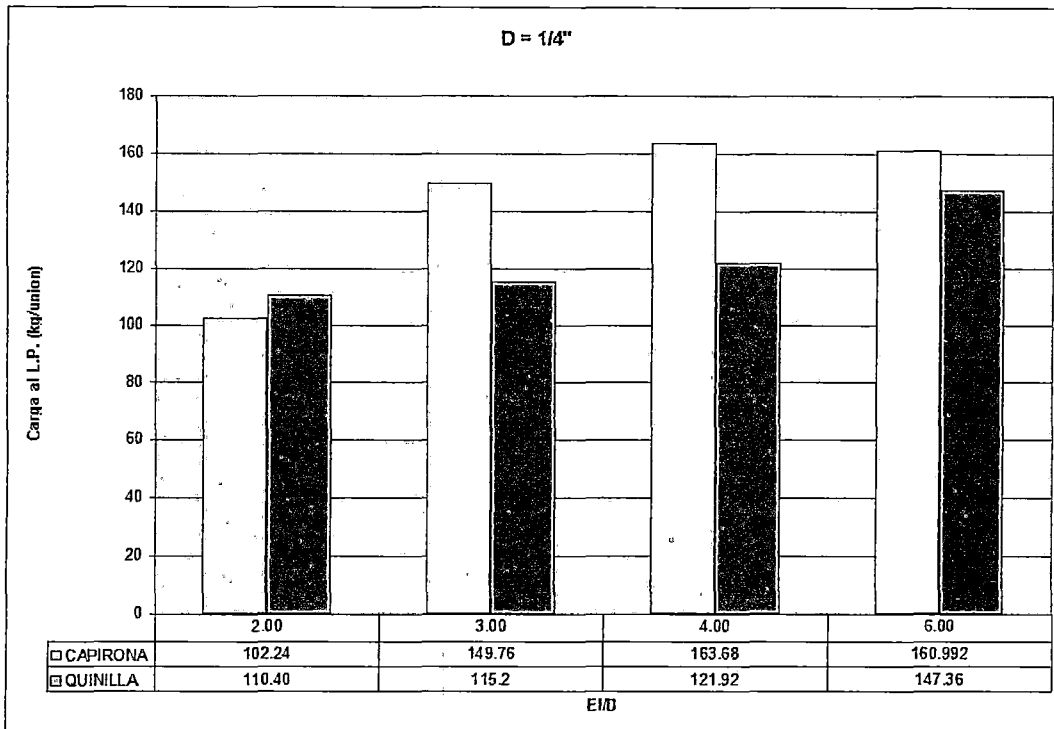
**TORNILLO**

| D                           |           | 3/8  |  |                  |
|-----------------------------|-----------|------|--|------------------|
| Longitud del Tirafon (pulg) | EI (pulg) | EI/D | Carga al Limite de Proporcionalidad (kg) | Deformacion (mm) |
| 3                           | 1         | 2.67 | 24                                       | 2.27             |
| 4                           | 2         | 5.33 | 82                                       | 3.48             |

**Grafico 27: COMPARACION DE LAS ESPECIES ESTUDIADAS  
 ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO**



**Grafico 28: COMPARACION DE LAS ESPECIES  
 CAPIRONA – QUINILLA  
 ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PARALELO AL GRANO**



**Cuadro 21: COMPARACION DE VALORES DE DISEÑO  
CARGA AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD  
ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO  
EN ESPECIES MADERABLES ESTUDIADAS**

**CAPIRONA**

| 1/4          |      |  |                     | 3/8          |      |  |                     | 1/2          |      |  |                     |
|--------------|------|--|---------------------|--------------|------|--|---------------------|--------------|------|--|---------------------|
| EI<br>(pulg) | EI/D | Carga al Limite de<br>Proporcionalidad<br>(kg) | Deformacion<br>(mm) | EI<br>(pulg) | EI/D | Carga al Limite de<br>Proporcionalidad<br>(kg) | Deformacion<br>(mm) | EI<br>(pulg) | EI/D | Carga al Limite de<br>Proporcionalidad<br>(kg) | Deformacion<br>(mm) |
| 1/2          | 2.00 | 121.44   | 2.916               | 1/2          | 1.33 | 144.48   | 6.83                | 1/2          | 1.00 | 160  | 3.34                |
| 3/4          | 3.00 | 164.64   | 6.48                | 3/4          | 2.00 | 202.08   | 6.76                | 3/4          | 1.50 | 222.24   | 4.88                |

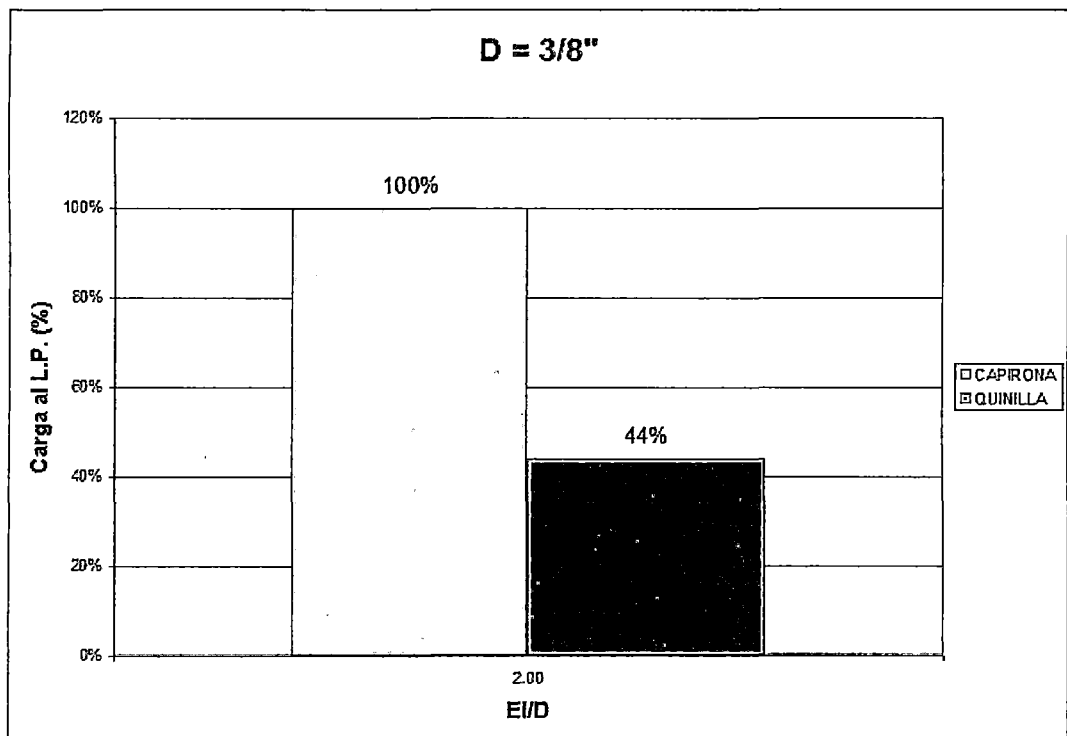
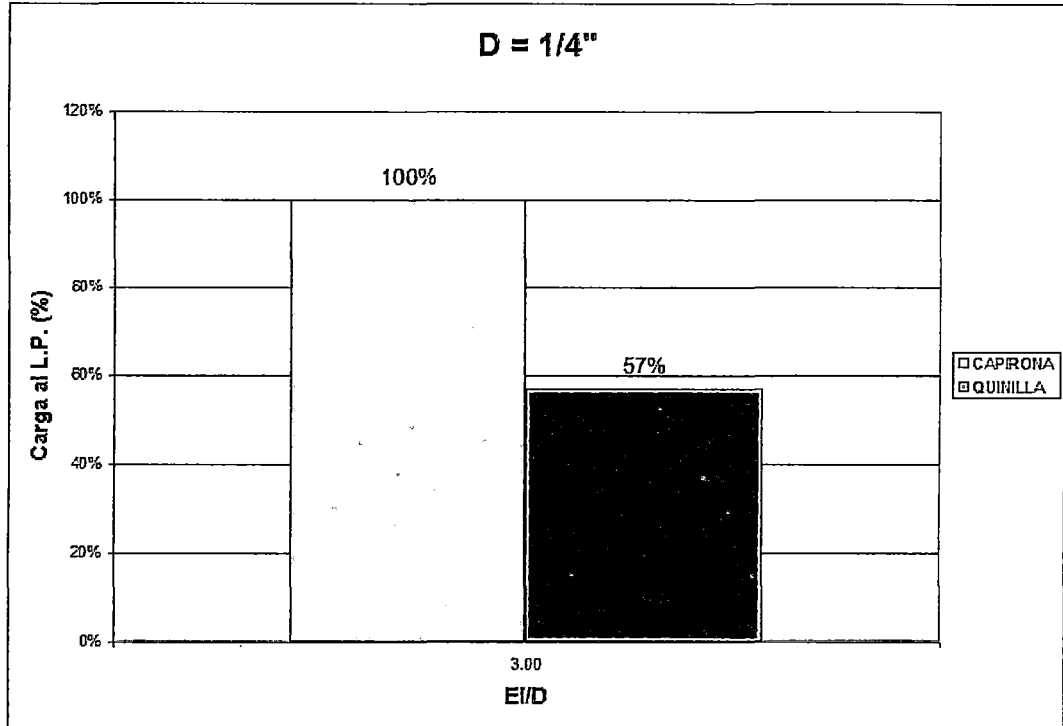
**QUINILLA**

| 1/4          |      |  |                     | 5/16         |      |  |                     | 3/8          |      |  |                     |
|--------------|------|--|---------------------|--------------|------|--|---------------------|--------------|------|--|---------------------|
| EI<br>(pulg) | EI/D | Carga al Limite de<br>Proporcionalidad<br>(kg) | Deformacion<br>(mm) | EI<br>(pulg) | EI/D | Carga al Limite de<br>Proporcionalidad<br>(kg) | Deformacion<br>(mm) | EI<br>(pulg) | EI/D | Carga al Limite de<br>Proporcionalidad<br>(kg) | Deformacion<br>(mm) |
| 3/4          | 3.00 | 93.6   | 0.58                | 3/4          | 2.40 | 95.8   | 0.97                | 3/4          | 2.00 | 97.68  | 1.29                |



**Grafico 29: COMPARACION DE LAS ESPECIES  
CAPIRONA – QUINILLA**

**ENSAYO DE CIZALLAMIENTO SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO**



## CAPITULO VI

### DISEÑO ESTRUCTURAL

#### 6.1 FUERZAS ADMISIBLES SEGÚN NORMAS DE OTROS PAISES

Los estudios en uniones con tirafones son escasos, sin embargo se encontraron en bibliografías algunos métodos utilizados en otros países para desarrollar este tipo de uniones en construcciones de madera; a continuación mostraremos algunos de estos métodos que consideran ciertos países para diseñar este tipo de uniones de acuerdo a criterios estudiados en la unión estructural con tirafones en madera, entre ellos tenemos los métodos de diseño de:

- Wood Design Manual - USA
- Anschlussverformungen - ALEMANIA
- Jeu de l'assemblage - FRANCIA
- Canadian Wood Construction - CANADA

Todos estos métodos se encuentran en el Anexo F.

Cabe resaltar que para la realización de estas normas, se analizaron las uniones con tirafones en especímenes de maderas utilizables en el país de origen de la investigación que son muy distintas a las de nuestro país, siendo esto un factor importante por el cual no se puede generalizar este tipo de métodos para encontrar valores de diseño precisos.

## **6.2 RECOMENDACIONES PARA UNIONES CON TIRAFONES EN MADERA CAPIRONA Y OTRAS SIMILARES**

Como se observo en el análisis del comportamiento de la unión de esta investigación y una anterior realizada con madera quinilla, nos demuestran una vez mas que la resistencia que puede soportar la capirona respecto de la quinilla es similar, esto se debe a que ambas maderas son altamente densas y se encuentran ubicadas en el grupo A de las especies maderables; de esta manera el comportamiento estructural que pueda tener esta especie es de medianamente a alta, esto también se ve claramente en las densidades que se encontraron, siendo la capirona un material el se pueda trabajar de manera similar a la quinilla, no se puede decir lo mismo que del tornillo, ya que presenta características mecánicas mas bajas que las ya mencionadas.

De otra parte para trabajos de extracción, se hallaron valores permisibles los cuales se encuentran detallados en el cuadro 24; estos valores son útiles para un diseño de extracción, tanto para clavos o pernos.

De los valores de diseño podemos observar que a diferencia de la quinilla la cual es una madera más densa así mismo mas resistente, los valores obtenidos de la capirona están por debajo de la quinilla.

la ventaja del tirafón es que además de poseer una determinada resistencia a la extracción, también solo se apreciara externamente de la cara de la madera, mas no internamente lo cual hace una mejor imagen al interior del lugar.

Una vez conocidas ciertas características mecánicas de la capirona además de sus características físicas ya conocidas y comprobadas también en esta investigación podemos concluir que dicha especie de material puede utilizarse como material de construcción tales como estructuras pesadas vigas, viguetas y columnas, construcción naval así también en ebanistería, pisos, puertas, ventanas, tarugos, carrocerías, torneria, y en series que tienen contacto con alimentos ya que por poseer una gran resistencia tiene la propiedad de preservarse mucho mejor que las especies menos resistentes.

### 6.3 ESPACIAMIENTOS RECOMENDADOS

De la tesis anterior además de considerar la recomendación de Hansen el cual explica que los espaciamientos son medidas del centro del tirafón a los cantos y los extremos, y la sección neta se proporcionarán como corresponde a uniones hechas con pernos, cuyo diámetro sea igual al diámetro del vástago del tirafón.

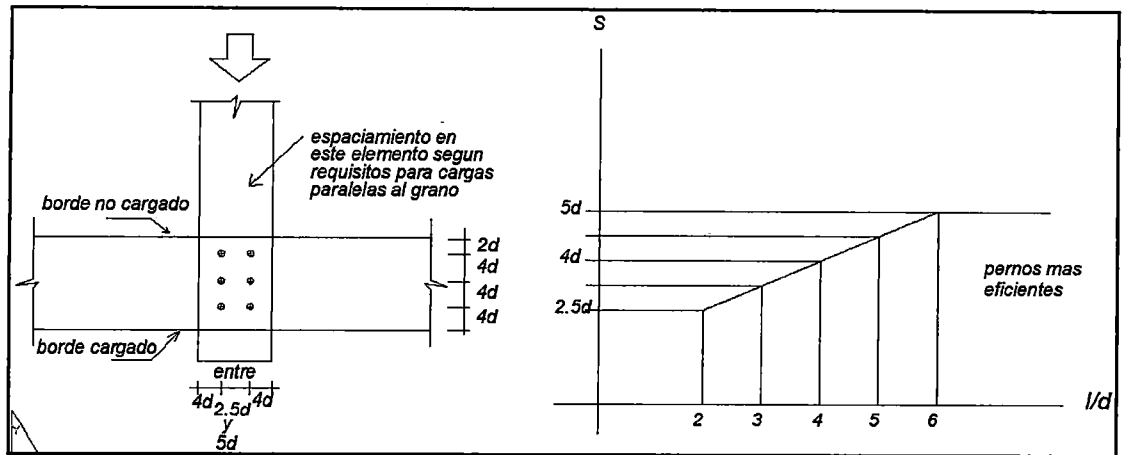
De esta manera el espaciamiento indicado por Hansen podemos relacionarlo con la del Manual de Diseño del Grupo Andino, el cual presenta la tabla de espaciamientos mínimos para pernos.

**Cuadro 22: ESPACIAMIENTOS MINIMOS PARA PERNOS**

|  |   |  |            |
|--|---|--|------------|
| Elementos cargados paralelamente al grano (Fig. 6.3.1.)      | A lo largo del grano                        | Espaciamiento entre pernos                 | 4d         |
|  |   | Distancia al extremo en traccion           | 5d         |
|  |   | Distancia al extremo en compresion         | 4d         |
|  | Perpendicularmente a la direccion del grano | Espaciamientos entre lineas de pernos      | 2d         |
|  |   | Distancia a los bordes                     | 2d         |
| Elementos cargados perpendicularmente al grano (Fig. 6.3.2.) | A lo largo del grano                        | Espaciamiento entre lineas de pernos, "s": |            |
|  |   | Para $\frac{\ell}{d} < 2$                  | $s = 2.5d$ |
|  |   | Para $\frac{\ell}{d} > 6$                  | $s = 5d$   |
|  | Para $2 < \frac{\ell}{d} < 6$               | $2.5d < s < 5d$                            |            |
|  | Perpendicularmente a la direccion del grano | Espaciamientos entre pernos                | 4d         |
|  |   | Distancia al borde cargado                 | 4d         |
|  |   | Distancia al borde no cargado              | 2d         |

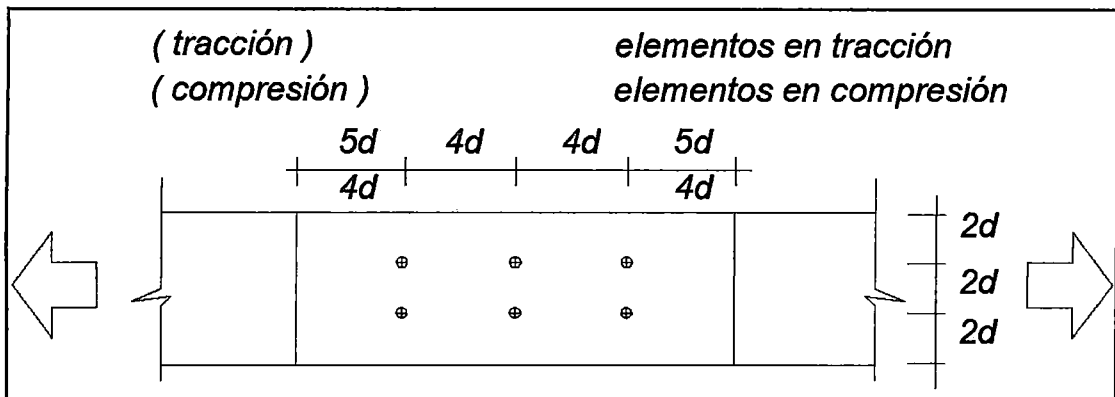
Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino

**Figura 7: Espaciamientos mínimos entre pernos, cargas paralelas al grano.**



Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino

**Figura 8: Espaciamiento mínimo entre pernos, cargas perpendiculares al grano.**



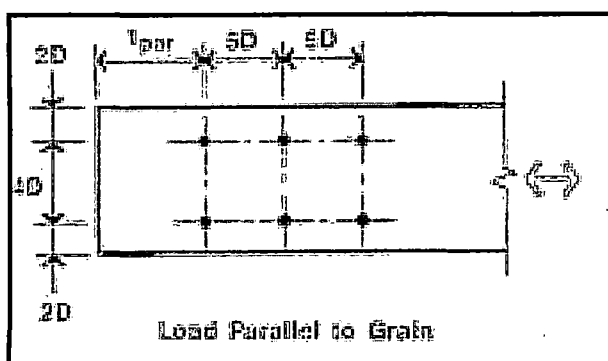
Fuente: Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino

De la misma manera que el manual de acuerdo de Cartagena presenta un cuadro para espaciamientos mínimos en pernos, el Timber Joint Design - 3 también nos presenta un cuadro de espaciamientos mínimos para pernos (bolts) y tirafones (coach screw ó lag screw) el cual mostramos a continuación:

**Cuadro 23: ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS PARA PERNOS Y TIRAFONES**

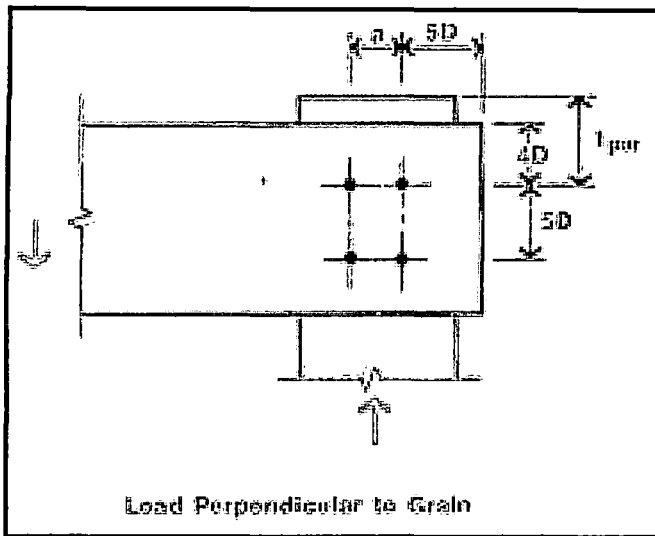
|  |   |   |
|--|---|---|
| Elementos cargados paralelamente al grano<br>(Fig. 6.3.3.)                   | A lo largo del grano                        | Espaciamiento entre pernos $6d - 5d$<br>Distancia al extremo en traccion $8d - 7d$<br>Distancia al extremo en compresion $5d$   |
|  | Perpendicularmente a la direccion del grano | Espaciamientos entre lineas de pernos $4d$<br>Distancia a los bordes $2d$   |
| Elementos cargados perpendicularmente al grano<br>(Fig. 6.3.4. - Fig 6.3.5.) | A lo largo del grano                        | Espaciamiento entre lineas de pernos, "s":<br>Para $\frac{l}{d} < 2$ $s = 2.5d$<br>Para $\frac{l}{d} > 6$ $s = 5d$<br>Para $2 < \frac{l}{d} < 6$ $s = 1.25 + 0.625 \frac{l}{d}$ |
|  | Perpendicularmente a la direccion del grano | Espaciamientos entre pernos $5d$<br>Distancia al borde cargado $4d$<br>Distancia al borde no cargado $5d$   |

Fuente: Timber Word Design – 3



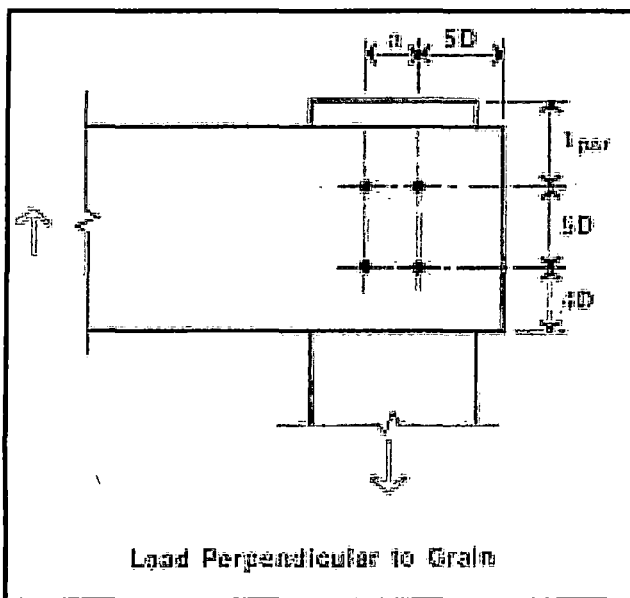
Fuente: Timber Word Design – 3

**Figura 9**  
**Carga paralela al grano**



Fuente: Timber Word Design – 3

**Figura 10**  
**Carga perpendicular al grano**



Fuente: Timber Word Design – 3

**Figura 11**  
**Carga perpendicular al grano**

Como notamos las diferencias entre cada bibliografía, para nuestro caso podemos trabajar con el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, ya que en este manual las propiedades encontradas son de materiales de nuestra región a diferencia del manual Norteamericano el cual tiene propiedades para especies maderables distintas a las nuestras; la que hace del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino el mas indicado para seguir las recomendaciones dadas.

## VALORES DE DISEÑO

### EXTRACCION DIRECTA

El valor de diseño de extracción total permisible de un tirafón viene dado por el valor de diseño tabulado por longitud de penetración de la parte roscada dentro del miembro principal. Los resultados de los mismos se muestran a continuación:

**Cuadro 24: VALOR DE DISEÑO DE EXTRACCIÓN DIRECTA PERMISIBLE**

| <b>Diámetro del Tirafón (cm)</b> | <b>Carga de Extracción Permisible F.S.= 5 (kg/cm)</b> | <b>Permisible según Timber Engineering Company (kg/cm)</b> |
|----------------------------------|---|--|
| 0.63                             | 46.06   | 63.4   |
| 0.94                             | 48.21   | 85.72  |
| 1.27                             | 61.13   | 108.04   |

La carga admisible de extracción de tirafones de 2 1/2", con un factor de seguridad de cinco, que ofrecen las maderas de grupo A, como la Capirona respecto de la madera mas densa encontrada en la bibliografía del "Timber Engineering", son bajas esto se debe a la diferencia que existe entre las propiedades físicas y mecánicas de ambas especies



## CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos; la Capirona es un material altamente resistente, con propiedades mecánicas en cizallamiento muy altas e incluso varias veces superiores a maderas más densas como es el caso de la quinilla.
2. Realizando el ensayo de cizallamiento simple y doble con tirafones cuyo diámetro (D) permanezca constante, se obtuvo un aumento de carga admisible para un valor creciente de  $EI/D$ .
3. El valor de la carga de diseño encontrado en cizallamiento simple es aproximadamente el 35% de la carga máxima, mientras que en el ensayo de cizallamiento doble es aproximadamente el 45% de la carga máxima.
4. La deformación en el límite proporcional en cizallamiento simple es aproximadamente el 20% de la deformación máxima, mientras que en el ensayo de cizallamiento doble es el 10% de la deformación máxima.
5. De acuerdo a los ensayos efectuados de cizallamiento simple y doble se presentaron dos tipos de fallas en las probetas analizadas: la falla frágil y la falla dúctil, producidos por la rotura del elemento tirafón y la rotura del elemento madera respectivamente; por lo que efectos estructurales es recomendable trabajar con falla dúctil antes que la frágil.
6. Estructuralmente la unión tirafón y Capirona es recomendable en construcciones debido a que posee una gran resistencia mecánica a cizallamiento, tal es así que se comporta de la misma manera hasta mejor que maderas mucho más densas como la quinilla.
7. Para un mismo diámetro de tirafón, el valor de diseño a simple y doble cizallamiento en compresión paralela y perpendicular aumenta respectivamente según se incremente su relación entre el espesor del elemento lateral y el diámetro del tirafón, sin que se produzca una falla frágil.

8. Los resultados encontrados para el ensayo de cizallamiento nos indican que la unión con tirafón en madera Capirona es más resistente que la del Tornillo; se puede interpretar que debido a que la Capirona posee una alta densidad (0.728 gr/ml) la cual la ubica en el grupo estructural A es mucho mas resistente que el Tornillo, ya que esta ultima debido a su baja densidad (0.45 gr/ml) se encuentra ubicada en el grupo estructural C.
  
9. En el ensayo de extracción directa: tirafón – Capirona, para un diámetro de tirafón ( $D= 0.94$  cm) notamos que el espécimen ensayado posee una resistencia (48.21 kg/cm) ubicada entre la resistencia de la madera Tornillo (21.13 kg/cm) y la resistencia de la madera Quinilla (76.54 kg/cm).
  
10. En el ensayo de extracción directa notamos que la probeta tiende a fallar debido al rompimiento de las fibras de la madera, mas no del tirafón, presentándose una falla dúctil, que se puede apreciar mediante sonido o variación física en la probeta. Ver foto 46.

## RECOMENDACIONES

1. El estudio realizado se llevo a cabo con madera de condición húmeda de 24%, seria de gran ayuda tener datos con madera en condición seca al aire.
2. Seria muy provechoso desarrollar ensayos a cizallamiento doble con tirafones a ambos lados para que se pueda observar la estabilidad en ambas piezas laterales.
3. Se recomienda trabajar con probetas libres de defectos que no presenten fallas iniciales como rajaduras o grietas en sus fibras para obtener valores confiables en el comportamiento del material.
4. Se recomienda realizar mayores cantidades de replicas por cada tipo de ensayo estudiado y además de ello tomar lecturas de carga con frecuencias mas cortas, para así obtener una mayor precisión de los resultados debido a la cantidad de ensayos y al comportamiento mas adecuado de la curva: carga – deformación.
5. Se recomienda continuar este tipo de estudios dado la cantidad y diversidad de variables a estudiar, tales como: diferentes especies maderables, numero de elementos de unión, diferentes dimensiones del tirafón (diámetro y longitud), planos de cizallamiento, tipo de hincado, profundidad de penetración del elemento de unión, entre otros, todo esto en cizallamiento.
6. Se podrá desarrollar comparaciones mas profundas e incluso clasificar especies maderables de acuerdo a la resistencia que posean en futuras investigaciones con diferentes especies maderables de este tipo de uniones con tirafones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino  
Junta del Acuerdo de Cartagena  
1984 - 4ta Edición – FIC
2. Norma ASTM (American Society for Testing and Materials) Test for Metal Fasteners and Wood Construction ASTM D-1761 – 88T Part Philadelphia USA
3. Clasificación e Influencia del Contenido de Humedad y defectos en las propiedades Físico - Mecánicas de la Madera capirona  
Huaraz Del Castillo, Eder Allen  
2004 – Facultad de Ingeniería Civil – UNI Lima (Perú)
4. Propiedades Físico – Mecánicas; resistencia a las cargas laterales en uniones clavadas de Capirona – Capirona Negra  
Allende Gardella, Jorge J.  
Dupuy Montori, Jose L.  
1971 – Facultad de Ingeniería Civil – UNI Lima (Perú)
5. Clasificación Estructural de la Madera Capirona  
Mera Farias, Luis Alberto  
2002 – Facultad de Ingeniería Civil – UNI Lima (Perú)
6. Guia de Procesamiento Industrial  
Fabricación de Muebles con Maderas Poco Conocidas - LKS  
Ana Maria Sibila Martina  
2006 – CITE – Lima (Perú)
7. Uniones Estructurales con Tirafones en madera Quinilla Colorada (*manilkara bidentada*)  
Paredes Palomino, Claudia Elizabeth  
2006 – Facultad de Ingeniería Civil – UNI Lima (Perú)

8. Uniones estructurales con Tirafones en madera Tornillo  
(*Cedrelinga Catenaeformis* Ducke)  
La Rosa Musante, M.R  
1984 – Facultad de Ciencias Forestales – UNA Lima (Perú)
9. Construcción de Viviendas en Madera - Unidad 7: Fijaciones y Uniones  
2003 - Corporación Chilena de la Madera – CORMA
10. Proyecto de Norma Chilena 1198.cR2004; Madera–Construcciones en  
madera–Cálculo  
2004 - Instituto Nacional de Normalización – INN
11. “*Timber design and construction handbook*”  
Timber Engineering Company  
1956 - New York: McGraw Hill, FIC – UNI Lima (Perú)
12. American Forest & Paper Association, 2004  
NDS Comentary  
Inc, Washington, D.C. -
13. Hansen Howard, J - 1948  
Diseño Moderno de Estructuras Modernas.  
Inc, Washington, D.C. -
14. “*Design of wood structures*”  
Breyer, Donald E.  
1988 - New York : McGraw-Hill, FIC – UNI Lima (Perú)
15. “*Canadian Wood Construction*”  
Canadian Word Council  
1979 – Ottawa Canada, CITE - Lima (Perú)
16. “*Anschlussverformungen s. S. 12*”  
Jeu de l’assemblage cf. p. 12  
1986 – Francia, CITE – Lima (Perú)

# ANEXOS

# ANEXO A

## ENSAYOS DESARROLLADOS

### CUADRO 25: DENSIDAD BASICA

FECHA 18/10/2006

| MUESTRA         | W (inicial)<br>(gr) | W<br>(saturado)<br>(gr) | VOLUMEN<br>(desplazado)<br>(ml) | W<br>(seco)<br>(gr) | DENSIDAD<br>(gr/ml) |
|-----------------|---------------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1               | 54.0                | 60.0                    | 60.0                            | 45.5                | 0.758               |
| 2               | 56.0                | 58.5                    | 65.0                            | 47.0                | 0.723               |
| 3               | 54.0                | 57.5                    | 63.0                            | 46.0                | 0.730               |
| 4               | 53.0                | 59.0                    | 65.0                            | 44.5                | 0.685               |
| 5               | 50.0                | 56.5                    | 60.0                            | 42.5                | 0.708               |
| 6               | 54.0                | 61.0                    | 65.0                            | 46.0                | 0.708               |
| 7               | 53.0                | 59.5                    | 60.0                            | 44.5                | 0.742               |
| 8               | 53.5                | 60.0                    | 61.0                            | 45.5                | 0.746               |
| 9               | 54.5                | 60.5                    | 63.0                            | 46.0                | 0.730               |
| 10              | 52.0                | 58.5                    | 60.0                            | 43.5                | 0.725               |
| 11              | 54.0                | 58.0                    | 60.0                            | 45.0                | 0.750               |
| 12              | 56.0                | 59.5                    | 60.0                            | 46.0                | 0.767               |
| 13              | 55.0                | 57.5                    | 60.0                            | 45.0                | 0.750               |
| 14              | 52.0                | 60.5                    | 60.0                            | 43.5                | 0.725               |
| 15              | 52.5                | 61.0                    | 65.0                            | 44.0                | 0.677               |
| 16              | 53.0                | 59.0                    | 60.0                            | 44.0                | 0.733               |
| 17              | 55.0                | 59.5                    | 60.0                            | 45.0                | 0.750               |
| 18              | 54.0                | 58.0                    | 60.0                            | 44.5                | 0.742               |
| 19              | 54.5                | 57.0                    | 60.0                            | 45.0                | 0.750               |
| 20              | 54.0                | 56.0                    | 65.0                            | 43.5                | 0.669               |
| <b>PROMEDIO</b> |                     |                         |                                 |                     | <b>0.728</b>        |

**CUADRO 26: CONTENIDO DE HUMEDAD**

FECHA 14 de septiembre de 2006

| <b>MUESTRA</b>  | <b>W (inicial)<br/>(gr)</b> | <b>W (seco)<br/>(gr)</b> | <b>C.H.</b>   |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------|---------------|
| 1               | 56.0                        | 43.5                     | 28.74         |
| 2               | 57.5                        | 45.5                     | 26.37         |
| 3               | 56.0                        | 45.0                     | 24.44         |
| 4               | 56.0                        | 45.5                     | 23.08         |
| 5               | 59.5                        | 45.5                     | 30.77         |
| 6               | 59.5                        | 48.5                     | 22.68         |
| 7               | 55.0                        | 45.0                     | 22.22         |
| 8               | 56.0                        | 45.5                     | 23.08         |
| 9               | 56.0                        | 43.0                     | 30.23         |
| 10              | 56.5                        | 44.0                     | 28.41         |
| 11              | 57.5                        | 46.0                     | 25.00         |
| 12              | 55.5                        | 45.0                     | 23.33         |
| 13              | 58.4                        | 46.5                     | 25.59         |
| 14              | 56.3                        | 45.5                     | 23.74         |
| 15              | 56.0                        | 46.3                     | 20.95         |
| 16              | 59.0                        | 49.5                     | 19.19         |
| 17              | 58.5                        | 49.5                     | 18.18         |
| 18              | 57.0                        | 47.5                     | 20.00         |
| 19              | 53.0                        | 44.5                     | 19.10         |
| 20              | 59.5                        | 48.5                     | 22.68         |
| 21              | 56.5                        | 45.5                     | 24.18         |
| 22              | 58.0                        | 46.5                     | 24.73         |
| 23              | 57.5                        | 46.5                     | 23.66         |
| 24              | 55.0                        | 44.0                     | 25.00         |
| 25              | 56.3                        | 44.5                     | 26.52         |
| <b>PROMEDIO</b> |                             |                          | <b>24.075</b> |



**CUADRO 27: EXTRACCION DIRECTA**

FECHA: 9-Sep-06

CUADRO

27.1

|                 | MUESTRA | TIRAFON       |                  | Profundidad de Penetración (mm) | Carga Máxima (Kg) | Tiempo de Ensayo (min) | Velocidad de Carga (mm/min) |
|-----------------|---------|---------------|------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|
|                 |         | Largo (pulg.) | Diámetro (pulg.) |                                 |                   |                        |                             |
| 1               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 450               | 5.00                   | 1.8                         |
| 2               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 830               | 5.08                   | 2.2                         |
| 3               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 630               | 4.25                   | 1.9                         |
| 4               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 215               | 2.20                   | 2                           |
| 5               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 500               | 4.20                   | 2                           |
| 6               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 730               | 4.80                   | 2                           |
| 7               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 500               | 4.10                   | 2                           |
| 8               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 620               | 4.18                   | 2                           |
| 9               | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 640               | 4.25                   | 2                           |
| 10              | E.1.1.  | 2 1/2         | 1/4              | 25                              | 650               | 5.10                   | 2                           |
| <b>Promedio</b> |         |               |                  |                                 | <b>576.5</b>      | <b>4.316</b>           | <b>1.99</b>                 |

FECHA: 11-Sep-06

CUADRO

27.2

|                 | MUESTRA | TIRAFON       |                  | Profundidad de Penetración (mm) | Carga Máxima (Kg) | Tiempo de Ensayo (min) | Velocidad de Carga (mm/min) |
|-----------------|---------|---------------|------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|
|                 |         | Largo (pulg.) | Diámetro (pulg.) |                                 |                   |                        |                             |
| 1               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 270               | 4.35                   | 2                           |
| 2               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 470               | 5.40                   | 2                           |
| 3               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 475               | 5.14                   | 2                           |
| 4               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 200               | 2.20                   | 2                           |
| 5               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 710               | 5.50                   | 2                           |
| 6               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 610               | 5.30                   | 2                           |
| 7               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 745               | 5.36                   | 2                           |
| 8               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 615               | 5.10                   | 2                           |
| 9               | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 710               | 4.90                   | 2                           |
| 10              | E.1.2.  | 2 1/2         | 3/8              | 25                              | 690               | 5.20                   | 2                           |
| <b>Promedio</b> |         |               |                  |                                 | <b>549.5</b>      | <b>4.845</b>           | <b>2</b>                    |

Fibra de Madera paralelo a la dirección del tirafón

Fibra de Madera perpendicular a la dirección del tirafón

Probetas inicialmente falladas

FECHA: 9-Sep-06

CUADRO

27.3

|                 | MUESTRA | TIRAFON       |                  | Profundidad de Penetración (mm) | Carga Máxima (Kg) | Tiempo de Ensayo (min.) | Velocidad de Carga (mm/min.) |
|-----------------|---------|---------------|------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------|
|                 |         | Largo (pulg.) | Diámetro (pulg.) |                                 |                   |                         |                              |
| 1               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 780               | 4.12                    | 2                            |
| 2               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 700               | 3.60                    | 2                            |
| 3               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 790               | 7.37                    | 2                            |
| 4               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 785               | 7.32                    | 2                            |
| 5               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 630               | 4.11                    | 2                            |
| 6               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 620               | 3.40                    | 2                            |
| 7               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 750               | 7.32                    | 2                            |
| 8               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 700               | 2.35                    | 2                            |
| 9               | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 730               | 4.20                    | 2                            |
| 10              | E.1.3.  | 2 1/2         | 1/2              | 25                              | 780               | 3.44                    | 2                            |
| <b>Promedio</b> |         |               |                  |                                 | <b>726.5</b>      | <b>4.723</b>            | <b>2</b>                     |

FECHA: 11-Sep-06

CUADRO

27.4

|                 | MUESTRA | TIRAFON       |                  | Profundidad de Penetración (mm) | Carga Máxima (Kg) | Tiempo de Ensayo (min.) | Velocidad de Carga (mm/min.) |
|-----------------|---------|---------------|------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------|
|                 |         | Largo (pulg.) | Diámetro (pulg.) |                                 |                   |                         |                              |
| 1               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 680               | 5.50                    | 2                            |
| 2               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 720               | 5.55                    | 2                            |
| 3               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 685               | 5.36                    | 2                            |
| 4               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 605               | 5.40                    | 2                            |
| 5               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 800               | 5.05                    | 2                            |
| 6               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 810               | 5.00                    | 2                            |
| 7               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 340               | 3.02                    | 2                            |
| 8               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 690               | 4.14                    | 2                            |
| 9               | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 760               | 5.25                    | 2                            |
| 10              | E.1.4.  | 2 1/2         | 1/4              | 30                              | 810               | 5.30                    | 2                            |
| <b>Promedio</b> |         |               |                  |                                 | <b>690</b>        | <b>4.957</b>            | <b>2</b>                     |

Fibra de Madera paralelo a la dirección del tirafón

Fibra de Madera perpendicular a la dirección del tirafón

Probetas inicialmente falladas

FECHA: 11-Sep-06

CUADRO 27.5

|                 | MUESTRA | TIRAFON       |                  | Profundidad de Penetración (mm) | Carga Máxima (Kg) | Tiempo de Ensayo (min.) | Velocidad de Carga (mm/min.) |
|-----------------|---------|---------------|------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------|
|                 |         | Largo (pulg.) | Diámetro (pulg.) |                                 |                   |                         |                              |
| 1               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 790               | 4.20                    | 2                            |
| 2               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 840               | 4.05                    | 2                            |
| 3               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 800               | 4.50                    | 2                            |
| 4               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 910               | 4.30                    | 2                            |
| 5               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 800               | 4.02                    | 2                            |
| 6               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 390               | 3.51                    | 2                            |
| 7               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 780               | 4.28                    | 2                            |
| 8               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 770               | 4.43                    | 2                            |
| 9               | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 880               | 4.25                    | 2                            |
| 10              | E.1.5.  | 2 1/2         | 3/8              | 30                              | 910               | 4.70                    | 2                            |
| <b>Promedio</b> |         |               |                  |                                 | <b>787</b>        | <b>4.224</b>            | <b>2</b>                     |

FECHA: 12-Sep-06

CUADRO 27.6

|                 | MUESTRA | TIRAFON       |                  | Profundidad de Penetración (mm) | Carga Máxima (Kg) | Tiempo de Ensayo (min.) | Velocidad de Carga (mm/min.) |
|-----------------|---------|---------------|------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------------|------------------------------|
|                 |         | Largo (pulg.) | Diámetro (pulg.) |                                 |                   |                         |                              |
| 1               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 910               | 3.40                    | 2.2                          |
| 2               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 1035              | 4.52                    | 2.2                          |
| 3               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 990               | 3.41                    | 2.2                          |
| 4               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 930               | 4.18                    | 2.2                          |
| 5               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 940               | 4.00                    | 2.2                          |
| 6               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 880               | 3.55                    | 2.2                          |
| 7               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 960               | 4.31                    | 2.2                          |
| 8               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 950               | 4.30                    | 2.2                          |
| 9               | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 1000              | 4.50                    | 2.2                          |
| 10              | E.1.6.  | 2 1/2         | 1/2              | 30                              | 1025              | 5.20                    | 2.2                          |
| <b>Promedio</b> |         |               |                  |                                 | <b>962</b>        | <b>4.137</b>            | <b>2.2</b>                   |

Fibra de Madera paralelo a la dirección del tirafón

Fibra de Madera perpendicular a la dirección del tirafón

Probetas inicialmente falladas

CUADRO 28: ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

| CUADRO                     |                     | 28.1                     |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 28.2                     |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |     |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|--------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|------|------|-----|
| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO    |                     | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |      |      | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |     |
| Fecha de Ejecucion         |                     | 11 de septiembre de 2006 |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 11 de septiembre de 2006 |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |     |
| Tirafon                    |                     | Diámetro                 |      | 1/4  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 2                        |      | Diámetro |      | 3/8  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 1.33 |      |     |
| MUESTRA                    |                     | A.1.1.                   |      |      |      |          |      |       |      |      |      | A.1.2.                   |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |     |
| Replica                    |                     | 1                        |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5    |      | 1                        |      | 2        |      | 3    |      | 4        |      | 5     |      |      |      |      |      |     |
| CARGA<br>(kg)              | DEFORMACION<br>(mm) | 0                        | 0.0  | 0    | 0    | 0        | 0    | 0     | 0    | 0    | 0    | 0                        | 0    | 0        | 0    | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    |     |
|                            |                     | 50                       | 0.9  | 50   | 0.85 | 50       | 1    | 50    | 0.8  | 50   | 1    | 50                       | 0.5  | 50       | 0.6  | 50   | 0.7  | 50       | 0.6  | 50    | 0.6  | 50   | 1.4  | 50   | 1.4  | 50  |
|                            |                     | 100                      | 2.0  | 100  | 1.4  | 100      | 1.8  | 100   | 1.7  | 100  | 1.8  | 100                      | 1    | 100      | 1.1  | 100  | 1.2  | 100      | 0.9  | 100   | 0.9  | 100  | 2.7  | 100  | 2.7  | 100 |
|                            |                     | 200                      | 12.4 | 150  | 2.5  | 150      | 2.5  | 150   | 2.8  | 150  | 3    | 150                      | 1.5  | 150      | 1.8  | 150  | 1.9  | 150      | 1.4  | 150   | 1.4  | 150  | 4.8  | 150  | 4.8  | 150 |
|                            |                     | 300                      | 22.4 | 200  | 2.6  | 200      | 4.5  | 200   | 3.6  | 200  | 3.8  | 200                      | 2.4  | 200      | 2.4  | 200  | 2.4  | 200      | 1.7  | 200   | 1.7  | 200  | 6.5  | 200  | 6.5  | 200 |
|                            |                     | 350                      | 23.9 | 250  | 4.25 | 250      | 7.9  | 250   | 5.3  | 250  | 6.9  | 250                      | 6    | 250      | 3.7  | 250  | 3.5  | 250      | 6.5  | 250   | 6.5  | 250  | 8.5  | 250  | 8.5  | 250 |
|                            |                     | 400                      | 33.9 | 300  | 5.9  | 300      | 15.8 | 300   | 12.1 | 300  | 8.9  | 300                      | 8.5  | 300      | 4.9  | 300  | 4.8  | 300      | 10.7 | 300   | 10.7 | 300  | 10.2 | 300  | 10.2 | 300 |
|                            |                     | 500                      | 34.1 | 400  | 11.5 | 350      | 18.4 | 350   | 18.8 | 350  | 13.4 | 350                      | 10.1 | 350      | 6.35 | 350  | 6.0  | 350      | 14.9 | 350   | 14.9 | 350  | 12.1 | 350  | 12.1 | 350 |
|                            |                     | 600                      | 45.0 | 500  | 22.6 | 400      | 20.8 | 400   | 23.4 | 400  | 21.2 | 400                      | 11.2 | 400      | 7.4  | 400  | 7.2  | 400      | 19.1 | 400   | 19.1 | 400  | 14.2 | 400  | 14.2 | 400 |
|                            |                     | 650                      |      | 570  | 34.5 | 450      | 25.7 | 450   | 31.2 | 450  | 26.7 | 450                      | 12.7 | 450      | 8.5  | 450  | 8.7  | 450      | 20.9 | 450   | 20.9 | 450  | 16.4 | 450  | 16.4 | 450 |
|                            |                     | 700                      |      | 650  |      | 470      | 33.3 | 500   | 36.8 | 490  | 32.3 | 500                      | 14.5 | 500      | 9.8  | 500  | 10.1 | 500      | 23.5 | 500   | 23.5 | 500  | 19.2 | 500  | 19.2 | 500 |
|                            |                     | 750                      |      | 700  |      | 550      |      | 530   | 40.5 | 550  |      | 600                      | 19.8 | 550      | 11.4 | 550  | 11.9 | 550      | 27.3 | 540   | 27.3 | 540  | 20.1 | 540  | 20.1 | 540 |
|                            |                     | 800                      |      | 750  |      | 600      |      | 600   |      | 600  |      | 700                      | 31.4 | 600      | 13.6 | 600  | 13.6 | 600      | 32.8 | 600   | 32.8 | 600  |      | 600  |      | 600 |
|                            |                     | 850                      |      | 800  |      | 650      |      | 650   |      | 650  |      | 710                      | 32.3 | 650      | 15.9 | 650  | 15.9 | 625      | 38.2 | 650   | 38.2 | 650  |      | 650  |      | 650 |
|                            |                     | 900                      |      | 850  |      | 700      |      | 700   |      | 700  |      | 750                      |      | 700      | 21.2 | 700  | 20.0 | 700      | 700  | 700   | 700  | 700  |      | 700  |      | 700 |
|                            |                     | 950                      |      | 900  |      | 750      |      | 750   |      | 750  |      | 800                      |      | 740      | 29.3 | 730  | 26.0 | 750      | 750  | 750   | 750  | 750  |      | 750  |      | 750 |
|                            |                     | 1000                     |      | 950  |      | 800      |      | 800   |      | 800  |      | 850                      |      | 750      |      | 750  |      | 800      | 800  | 800   | 800  | 800  |      | 800  |      | 800 |
|                            |                     | 1050                     |      | 1000 |      | 850      |      | 850   |      | 850  |      | 900                      |      | 800      |      | 800  |      | 850      | 850  | 850   | 850  | 850  |      | 850  |      | 850 |
|                            |                     | 1100                     |      | 1050 |      | 900      |      | 900   |      | 900  |      | 950                      |      | 850      |      | 850  |      | 900      | 900  | 900   | 900  | 900  |      | 900  |      | 900 |
|                            |                     | 1150                     |      | 1100 |      | 950      |      | 950   |      | 950  |      | 1000                     |      | 900      |      | 900  |      | 950      | 950  | 950   | 950  | 950  |      | 950  |      | 950 |
| 1200                       |                     | 1150                     |      | 1000 |      | 1000     |      | 1000  |      | 1050 |      | 950                      |      | 950      |      | 1000 | 1000 | 1000     | 1000 | 1000  |      | 1000 |      | 1000 |      |     |
| 1250                       |                     | 1200                     |      | 1050 |      | 1050     |      | 1050  |      | 1100 |      | 1000                     |      | 1000     |      | 1050 | 1050 | 1050     | 1050 | 1050  |      | 1050 |      | 1050 |      |     |
| 1300                       |                     | 1250                     |      | 1100 |      | 1100     |      | 1100  |      | 1150 |      | 1050                     |      | 1050     |      | 1100 | 1100 | 1100     | 1100 | 1100  |      | 1100 |      | 1100 |      |     |
| 1350                       |                     | 1300                     |      | 1150 |      | 1150     |      | 1150  |      | 1200 |      | 1100                     |      | 1100     |      | 1150 | 1150 | 1150     | 1150 | 1150  |      | 1150 |      | 1150 |      |     |
| TIEMPO (min)               |                     | 4.5                      |      | 3.9  |      | 5.5      |      | 4.2   |      | 4.4  |      | 4.2                      |      | 5.34     |      | 6.05 |      | 6.1      |      | 4.1   |      |      |      |      |      |     |
| VELOCIDAD (mm/min)         |                     | 2.1                      |      | 2.1  |      | 2        |      | 2     |      | 2    |      | 2                        |      | 2.2      |      | 2.1  |      | 2        |      | 2     |      |      |      |      |      |     |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)   |                     | 105                      |      | 255  |      | 225      |      | 235   |      | 245  |      | 305                      |      | 400      |      | 280  |      | 230      |      | 250   |      |      |      |      |      |     |
| DEFORMACION EN EL LP. (mm) |                     | 2.7                      |      | 4.7  |      | 6.2      |      | 4.7   |      | 6.7  |      | 8.4                      |      | 7.4      |      | 4.5  |      | 4.9      |      | 8.2   |      |      |      |      |      |     |

| CUADRO                     |                     | 28.3                     |      |      |      |      |          |      |      |      |      | 28.4                     |      |      |      |      |          |      |      |     |      |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|--------------------------|------|------|------|------|----------|------|------|-----|------|
| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO    |                     | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |      |      |      |          |      |      |      |      | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |      |      |      |          |      |      |     |      |
| Fecha de Ejecución:        |                     | 12 de septiembre de 2006 |      |      |      |      |          |      |      |      |      | 12 de septiembre de 2006 |      |      |      |      |          |      |      |     |      |
| Tirafon                    |                     | Diametro                 |      |      |      |      | Longitud |      |      |      |      | Diametro                 |      |      |      |      | Longitud |      |      |     |      |
| Muestra                    |                     | A.13.                    |      |      |      |      |          |      |      |      |      | A.21.                    |      |      |      |      |          |      |      |     |      |
| Replica                    |                     | 1                        |      | 2    |      | 3    |          | 4    |      | 5    |      | 1                        |      | 2    |      | 3    |          | 4    |      | 5   |      |
| CARGA<br>(kg)              | DEFORMACION<br>(mm) | 0                        | 0    | 0    | 0    | 0    | 0        | 0    | 0    | 0    | 0    | 0                        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0    | 0.0      | 0    | 0.0  | 0   | 0.0  |
|                            |                     | 50                       | 0.8  | 50   | 0.2  | 50   | 0.25     | 50   | 0.4  | 50   | 0.7  | 50                       | 0.3  | 50   | 0.4  | 50   | 0.3      | 50   | 0.4  | 50  | 0.3  |
|                            |                     | 100                      | 1.2  | 100  | 0.5  | 100  | 0.7      | 100  | 0.7  | 100  | 1.1  | 100                      | 0.7  | 100  | 0.7  | 100  | 1.1      | 100  | 0.8  | 100 | 0.6  |
|                            |                     | 150                      | 2.5  | 150  | 1.1  | 150  | 2        | 150  | 1.7  | 150  | 1.5  | 150                      | 1.9  | 150  | 1.7  | 150  | 1.7      | 150  | 1.8  | 150 | 1.3  |
|                            |                     | 200                      | 3.5  | 200  | 1.2  | 200  | 2.3      | 200  | 1.8  | 200  | 1.8  | 200                      | 2.5  | 200  | 2.7  | 200  | 2.3      | 200  | 2.2  | 200 | 2.1  |
|                            |                     | 250                      | 3.7  | 250  | 2.25 | 250  | 2.8      | 250  | 2    | 250  | 2.8  | 250                      | 3.5  | 250  | 3.7  | 250  | 3.3      | 250  | 3.2  | 250 | 3.4  |
|                            |                     | 300                      | 4.1  | 300  | 4.5  | 300  | 4        | 300  | 3.6  | 300  | 4.5  | 300                      | 4.9  | 300  | 4.5  | 300  | 4.8      | 300  | 4.7  | 300 | 4.9  |
|                            |                     | 350                      | 7.6  | 350  | 6    | 350  | 6.3      | 350  | 4.5  | 350  | 6.1  | 350                      | 8.1  | 350  | 5.3  | 350  | 6.0      | 350  | 6.7  | 350 | 5.9  |
|                            |                     | 400                      | 9.5  | 400  | 8.5  | 400  | 10.7     | 400  | 6.2  | 400  | 8.7  | 400                      | 13.4 | 400  | 6.0  | 400  | 8.0      | 400  | 8.7  | 400 | 6.8  |
|                            |                     | 450                      | 11.4 | 450  | 10.4 | 450  | 14.3     | 450  | 9.7  | 450  | 12.5 | 450                      | 22.0 | 450  | 6.6  | 450  | 12.2     | 450  | 10.3 | 450 | 7.5  |
|                            |                     | 500                      | 14.1 | 500  | 12.6 | 500  | 17       | 500  | 11.9 | 500  | 16.3 | 500                      | 26.6 | 500  | 7.3  | 500  | 16.0     | 500  | 14.0 | 500 | 8.5  |
|                            |                     | 550                      | 17.3 | 550  | 16.7 | 550  | 21.2     | 550  | 14   | 550  | 20.8 | 550                      | 29.1 | 550  | 7.9  | 550  | 19.0     | 550  | 17.7 | 550 | 9.5  |
|                            |                     | 600                      | 21.3 | 600  | 22.4 | 600  | 25.7     | 600  | 17.4 | 600  | 27.6 | 600                      | 31.0 | 600  | 8.5  | 600  | 21.1     | 600  | 20.2 | 600 | 10.5 |
|                            |                     | 650                      | 29.7 | 650  | 26.3 | 650  | 29.1     | 650  | 21.4 | 650  |      | 650                      | 32.5 | 650  | 9.8  | 650  | 22.9     | 650  | 22.3 | 650 | 11.7 |
|                            |                     | 700                      | 37.2 | 700  |      | 700  |          | 700  | 27   | 700  |      | 700                      | 34.0 | 700  | 10.5 | 700  | 24.9     | 700  | 25.8 | 700 | 13.3 |
|                            |                     | 750                      |      | 750  |      | 750  |          | 750  |      | 750  |      | 750                      | 35.6 | 750  | 12.0 | 750  | 26.8     | 750  | 27.6 | 750 | 15.4 |
|                            |                     | 800                      |      | 800  |      | 800  |          | 800  |      | 800  |      | 800                      | 37.0 | 800  | 13.7 | 800  | 29.0     | 800  | 29.3 | 800 | 17.4 |
|                            |                     | 850                      |      | 850  |      | 850  |          | 850  |      | 850  |      | 850                      | 38.1 | 850  | 15.5 | 850  | 30.9     | 850  | 31.2 | 850 | 20.2 |
|                            |                     | 900                      |      | 900  |      | 900  |          | 900  |      | 900  |      | 900                      | 39.6 | 900  | 16.9 | 900  | 32.7     | 900  | 33.0 | 900 | 24.3 |
|                            |                     | 950                      |      | 950  |      | 950  |          | 950  |      | 950  |      | 950                      | 40.9 | 950  | 19.5 | 950  |          | 950  | 35.3 | 950 | 29.0 |
| 1000                       |                     | 1000                     |      | 1000 |      | 1000 |          | 1000 |      | 1000 | 42.7 | 1000                     | 24.0 | 1000 |      | 1000 | 37.7     | 1000 | 33.1 |     |      |
| 1050                       |                     | 1050                     |      | 1050 |      | 1050 |          | 1050 |      | 1050 | 45.0 | 1050                     | 27.7 | 1050 |      | 1050 | 39.2     | 1050 | 37.5 |     |      |
| 1100                       |                     | 1100                     |      | 1100 |      | 1100 |          | 1100 |      | 1100 | 49.1 | 1100                     |      | 1100 |      | 1100 |          | 1100 |      |     |      |
| 1150                       |                     | 1150                     |      | 1150 |      | 1150 |          | 1150 |      | 1150 |      | 1150                     |      | 1150 |      | 1150 |          | 1150 |      |     |      |
| TIEMPO (min)               |                     | 5.4                      | 5.28 | 6.01 | 4.18 | 4.13 |          |      |      | 7.4  | 8.1  | 5.1                      | 5.2  | 6.1  |      |      |          |      |      |     |      |
| VELOCIDAD (mm/min)         |                     | 2                        | 2    | 2    | 2    | 2    |          |      |      | 2    | 2    | 2                        | 2    | 2    |      |      |          |      |      |     |      |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)   |                     | 330                      | 230  | 270  | 280  | 270  |          |      |      | 325  | 300  | 345                      | 365  | 370  |      |      |          |      |      |     |      |
| DEFORMACION EN EL LP. (mm) |                     | 5.8                      | 1.75 | 3.35 | 3.4  | 3.35 |          |      |      | 5.8  | 4.3  | 5.9                      | 7.3  | 6.2  |      |      |          |      |      |     |      |

| CUADRO                      |                     | 28.5                     |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 28.6                     |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |   |  |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|--------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|---|--|
| EN SAYO DE CIZALLAMIENTO    |                     | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |      |      | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |   |  |
| Fecha de Ejecucion          |                     | 13 de septiembre de 2006 |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 13 de septiembre de 2006 |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |   |  |
| Tirafon                     |                     | Diametro                 |      | 3/8  |      | Longitud |      | 2 1/2 |      | e/D  |      | 2,67                     |      | Diametro |      | 1/2  |      | Longitud |      | 2 1/2 |      | e/D  |      | 2 |  |
| MUESTRA                     |                     | A.22.                    |      |      |      |          |      |       |      |      |      | A.23.                    |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |   |  |
| Replica                     |                     | 1                        |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5    |      | 1                        |      | 2        |      | 3    |      | 4        |      | 5     |      |      |      |   |  |
| CARGA<br>(kg)               | DEFORMACION<br>(mm) | 0                        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0                        | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  |   |  |
|                             |                     | 50                       | 0.2  | 50   | 0.3  | 50       | 0.5  | 50    | 0.3  | 50   | 0.1  | 50                       | 0.2  | 50       | 0.1  | 50   | 0.2  | 50       | 0.1  | 50    | 0.1  | 50   | 0.1  |   |  |
|                             |                     | 100                      | 0.6  | 100  | 0.7  | 100      | 0.9  | 100   | 0.5  | 100  | 0.2  | 100                      | 0.5  | 100      | 0.2  | 100  | 0.3  | 100      | 0.3  | 100   | 0.4  | 100  | 0.4  |   |  |
|                             |                     | 200                      | 2.1  | 200  | 2.7  | 200      | 3.4  | 200   | 2.1  | 200  | 1.6  | 200                      | 1.6  | 200      | 0.6  | 200  | 1.5  | 200      | 1.5  | 200   | 1.5  | 200  | 1.5  |   |  |
|                             |                     | 300                      | 4.9  | 300  | 5.4  | 300      | 4.8  | 300   | 4.2  | 300  | 4.2  | 300                      | 2.7  | 300      | 1.7  | 300  | 3.2  | 300      | 4.0  | 300   | 3.8  | 300  | 3.8  |   |  |
|                             |                     | 400                      | 6.6  | 400  | 7.0  | 400      | 7.1  | 400   | 6.0  | 400  | 5.8  | 400                      | 5.1  | 400      | 3.0  | 400  | 5.8  | 400      | 7.5  | 400   | 6.0  | 400  | 6.0  |   |  |
|                             |                     | 600                      | 10.5 | 600  | 13.0 | 600      | 10.5 | 600   | 12.4 | 600  | 8.8  | 600                      | 10.1 | 600      | 7.6  | 600  | 11.0 | 600      | 11.3 | 600   | 10.3 | 600  | 10.3 |   |  |
|                             |                     | 800                      | 17.4 | 800  | 24.6 | 800      | 15.5 | 800   | 20.1 | 800  | 13.6 | 800                      | 15.0 | 800      | 13.7 | 800  | 14.5 | 800      | 15.0 | 800   | 14.1 | 800  | 14.1 |   |  |
|                             |                     | 900                      | 24.3 | 900  | 31.0 | 900      | 18.9 | 900   | 25.4 | 900  | 17.7 | 900                      | 18.2 | 900      | 16.7 | 900  | 16.5 | 900      | 17.4 | 900   | 15.9 | 900  | 15.9 |   |  |
|                             |                     | 1000                     | 33.1 | 1000 | 35.8 | 1000     | 24.5 | 1000  | 31.9 | 1000 | 23.5 | 1000                     | 20.6 | 1000     | 20.6 | 1000 | 19.0 | 1000     | 19.6 | 1000  | 18.1 | 1000 | 18.1 |   |  |
|                             |                     | 1050                     | 37.5 | 1050 | 38.5 | 1050     | 28.5 | 1050  | 35.8 | 1050 | 28.6 | 1050                     | 22.3 | 1050     | 21.9 | 1050 | 20.5 | 1050     | 21.2 | 1050  | 19.2 | 1050 | 19.2 |   |  |
|                             |                     | 1100                     |      | 1100 | 41.9 | 1100     | 33.1 | 1100  | 41.0 | 1100 | 34.0 | 1100                     | 24.0 | 1100     | 23.3 | 1100 | 22.5 | 1100     | 23.2 | 1100  | 20.5 | 1100 | 20.5 |   |  |
|                             |                     | 1150                     |      | 1150 | 45.7 | 1150     | 39.2 | 1150  | 47.1 | 1150 | 39.7 | 1150                     | 25.9 | 1150     | 24.9 | 1150 | 24.5 | 1150     | 24.8 | 1150  | 22.2 | 1150 | 22.2 |   |  |
|                             |                     | 1200                     |      | 1200 | 50.0 | 1200     | 44.0 | 1200  | 51.6 | 1200 | 45.5 | 1200                     | 27.3 | 1200     | 26.8 | 1200 | 26.7 | 1200     | 26.5 | 1200  | 23.5 | 1200 | 23.5 |   |  |
|                             |                     | 1250                     |      | 1250 | 54.5 | 1250     | 48.0 | 1250  |      | 1250 | 50.4 | 1250                     | 30.4 | 1250     | 28.6 | 1250 | 28.6 | 1250     | 28.0 | 1250  | 24.9 | 1250 | 24.9 |   |  |
|                             |                     | 1300                     |      | 1300 | 60.5 | 1300     | 52.4 | 1300  |      | 1300 | 58.0 | 1300                     | 33.2 | 1300     | 31.3 | 1300 | 31.1 | 1300     | 30.5 | 1300  | 26.4 | 1300 | 26.4 |   |  |
|                             |                     | 1350                     |      | 1350 |      | 1350     | 56.5 | 1350  |      | 1350 | 62.7 | 1350                     | 36.9 | 1350     | 34.3 | 1350 | 34.1 | 1350     | 32.6 | 1350  | 27.9 | 1350 | 27.9 |   |  |
|                             |                     | 1400                     |      | 1400 |      | 1400     | 62.5 | 1400  |      | 1400 | 67.9 | 1400                     |      | 1400     | 37.6 | 1400 | 37.2 | 1400     | 35.6 | 1400  | 29.6 | 1400 | 29.6 |   |  |
|                             |                     | 1450                     |      | 1450 |      | 1450     | 65.0 | 1450  |      | 1450 | 74.5 | 1450                     |      | 1450     | 41.1 | 1450 | 38.3 | 1450     | 39.0 | 1450  | 31.7 | 1450 | 31.7 |   |  |
|                             |                     | 1500                     |      | 1500 |      | 1470     | 77.3 | 1500  |      | 1500 |      | 1500                     |      | 1500     | 46.6 | 1500 | 42.0 | 1500     | 42.5 | 1500  | 34.1 | 1500 | 34.1 |   |  |
| 1550                        |                     | 1550                     |      | 1550 |      | 1550     |      | 1550  |      | 1550 |      | 1550                     | 49.6 | 1550     | 45.0 | 1550 |      | 1550     | 37.5 | 1550  | 37.5 |      |      |   |  |
| 1600                        |                     | 1500                     |      | 1600 |      | 1600     |      | 1600  |      | 1600 |      | 1600                     |      | 1600     |      | 1600 |      | 1600     | 38.9 | 1600  | 38.9 |      |      |   |  |
| 1650                        |                     | 1650                     |      | 1650 |      | 1650     |      | 1650  |      | 1650 |      | 1650                     |      | 1650     |      | 1650 |      | 1650     |      | 1650  |      |      |      |   |  |
| 1700                        |                     | 1700                     |      | 1700 |      | 1700     |      | 1700  |      | 1700 |      | 1700                     |      | 1700     |      | 1700 |      | 1700     |      | 1700  |      |      |      |   |  |
| TIEMPO (min)                |                     | 7.3                      |      | 8.1  |      | 10.3     |      | 6     |      | 8.1  |      | 6                        |      | 6.24     |      | 6.15 |      | 6.15     |      | 5.45  |      |      |      |   |  |
| VELOCIDAD (mm/min)          |                     | 2                        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      | 2    |      | 2                        |      | 2        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      |      |      |   |  |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)    |                     | 550                      |      | 550  |      | 400      |      | 520   |      | 650  |      | 520                      |      | 385      |      | 500  |      | 380      |      | 580   |      |      |      |   |  |
| DEFORMACION EN EL L.P. (mm) |                     | 9.5                      |      | 11.2 |      | 7.1      |      | 8.75  |      | 10   |      | 8.2                      |      | 2.7      |      | 8.8  |      | 7.1      |      | 11.8  |      |      |      |   |  |

| CUADRO                      |                     | 28.7                     |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 28.8                     |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|--------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|------|------|
| EN SAYO DE CIZALLAMIENTO    |                     | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |      |      | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Fecha de Ejecucion          |                     | 14 de septiembre de 2006 |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 14 de septiembre de 2006 |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Tirafon                     |                     | Diametro                 |      | 1/4  |      | Longitud |      | 3 1/2 |      | e/D  |      | 6                        |      | Diametro |      | 3/8  |      | Longitud |      | 3 1/2 |      | e/D  |      | 4    |      |
| MUESTRA                     |                     | A.3.1.                   |      |      |      |          |      |       |      |      |      | A.3.2.                   |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Replica                     |                     | 1                        |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5    |      | 1                        |      | 2        |      | 3    |      | 4        |      | 5     |      |      |      |      |      |
| CARGA<br>(kg)               | DEFORMACION<br>(mm) | 0                        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0                        | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0    | 0.0  |
|                             |                     | 50                       | 0.1  | 50   | 0.1  | 50       | 0.6  | 50    | 0.7  | 50   | 0.3  | 50                       | 0.2  | 50       | 0.2  | 50   | 0.2  | 50       | 0.2  | 50    | 0.2  | 50   | 0.1  | 50   | 0.1  |
|                             |                     | 100                      | 0.4  | 100  | 0.2  | 100      | 1.5  | 100   | 1.5  | 100  | 1.3  | 100                      | 0.3  | 100      | 0.3  | 100  | 0.2  | 100      | 0.4  | 100   | 0.4  | 100  | 0.4  | 100  | 0.4  |
|                             |                     | 150                      | 1.1  | 150  | 0.5  | 150      | 3.4  | 150   | 3.0  | 150  | 3.2  | 150                      | 1.5  | 150      | 0.5  | 150  | 0.3  | 150      | 1.1  | 150   | 0.8  | 150  | 0.8  | 150  | 0.8  |
|                             |                     | 200                      | 2.3  | 200  | 1.2  | 200      | 5.2  | 200   | 4.2  | 200  | 4.5  | 200                      | 1.6  | 200      | 0.7  | 200  | 0.4  | 200      | 1.8  | 200   | 1.3  | 200  | 1.3  | 200  | 1.3  |
|                             |                     | 250                      | 4.1  | 250  | 2.6  | 250      | 6.8  | 250   | 5.7  | 250  | 5.8  | 400                      | 6.0  | 400      | 3.3  | 400  | 2.5  | 400      | 5.6  | 400   | 4.0  | 400  | 4.0  | 400  | 4.0  |
|                             |                     | 300                      | 6.2  | 300  | 5.1  | 300      | 8.7  | 300   | 7.9  | 300  | 6.7  | 500                      | 8.8  | 500      | 4.9  | 500  | 4.2  | 500      | 8.0  | 500   | 5.7  | 500  | 5.7  | 500  | 5.7  |
|                             |                     | 350                      | 8.7  | 350  | 9.3  | 350      | 12.8 | 350   | 11.3 | 350  | 10.2 | 600                      | 17.0 | 600      | 6.7  | 600  | 5.9  | 600      | 11.3 | 600   | 8.0  | 600  | 8.0  | 600  | 8.0  |
|                             |                     | 400                      | 14.5 | 400  | 14.5 | 400      | 17.6 | 400   | 14.6 | 400  | 14.1 | 700                      | 27.4 | 700      | 9.1  | 700  | 7.7  | 700      | 14.9 | 700   | 10.6 | 700  | 10.6 | 700  | 10.6 |
|                             |                     | 450                      | 20.6 | 450  | 20.5 | 450      | 21.9 | 450   | 18.1 | 450  | 21.2 | 800                      | 32.1 | 800      | 16.3 | 800  | 16.8 | 800      | 24.3 | 800   | 17.9 | 800  | 17.9 | 800  | 17.9 |
|                             |                     | 500                      | 29.0 | 500  | 24.5 | 500      | 29.5 | 500   | 22.0 | 500  | 25.4 | 1000                     | 33.5 | 1000     | 20.4 | 1000 | 20.5 | 1000     | 28.2 | 1000  | 21.2 | 1000 | 21.2 | 1000 | 21.2 |
|                             |                     | 540                      | 58.2 | 550  | 35.0 | 550      | 37.9 | 550   | 26.0 | 550  | 29.8 | 1100                     | 35.0 | 1100     | 24.9 | 1100 | 23.6 | 1100     | 32.0 | 1100  | 25.1 | 1100 | 25.1 | 1100 | 25.1 |
|                             |                     | 600                      |      | 600  |      | 600      | 39.8 | 600   | 30.9 | 600  | 34.5 | 1300                     | 39.0 | 1300     | 31.6 | 1300 | 31.5 | 1300     | 38.9 | 1300  | 31.6 | 1300 | 31.6 | 1300 | 31.6 |
|                             |                     | 650                      |      | 650  |      | 650      | 40.8 | 650   | 35.5 | 650  |      | 1500                     | 44.7 | 1500     | 38.3 | 1500 | 39.6 | 1500     | 48.0 | 1500  | 40.4 | 1500 | 40.4 | 1500 | 40.4 |
|                             |                     | 700                      |      | 700  |      | 700      | 41.8 | 700   | 37.7 | 700  |      | 1600                     | 53.9 | 1600     | 46.6 | 1600 | 50.5 | 1600     | 56.6 | 1600  | 49.1 | 1600 | 49.1 | 1600 | 49.1 |
|                             |                     | 750                      |      | 750  |      | 750      | 43.1 | 750   |      | 750  |      | 1700                     | 61.5 | 1700     | 50.7 | 1700 | 58.2 | 1700     |      | 1700  |      | 1700 |      | 1700 |      |
|                             |                     | 800                      |      | 800  |      | 800      | 43.3 | 800   |      | 800  |      | 1750                     | -7.9 | 1750     | -0.3 | 1750 | 62.2 | 1750     |      | 1750  |      | 1750 |      | 1750 |      |
|                             |                     | 850                      |      | 850  |      | 850      | 44.3 | 850   |      | 850  |      | 1800                     | -7.9 | 1800     | -0.3 | 1760 | 63.2 | 1800     |      | 1800  |      | 1800 |      | 1800 |      |
|                             |                     | 900                      |      | 900  |      | 900      | 44.8 | 900   |      | 900  |      | 1900                     | -7.9 | 1900     | 55.7 | 1900 |      | 1900     |      | 1900  |      | 1900 |      | 1900 |      |
|                             |                     | 950                      |      | 950  |      | 950      | 45.8 | 950   |      | 950  |      | 1950                     | 64.1 | 1950     | 56.8 | 1950 |      | 1950     |      | 1950  |      | 1950 |      | 1950 |      |
|                             |                     | 1000                     |      | 1000 |      | 1000     | 47.0 | 1000  |      | 1000 |      | 2000                     |      | 2000     | 58.9 | 2000 |      | 2000     |      | 2000  |      | 2000 |      | 2000 |      |
|                             |                     | 2100                     |      | 2100 |      | 2100     |      | 2100  |      | 2100 |      | 2100                     |      | 2100     | 66.5 | 2100 |      | 2100     |      | 2100  |      | 2100 |      | 2100 |      |
| 2150                        |                     | 2150                     |      | 2150 |      | 2150     |      | 2150  |      | 2150 |      | 2150                     | 72.2 | 2150     |      | 2150 |      | 2150     |      | 2150  |      | 2150 |      |      |      |
| 2200                        |                     | 2200                     |      | 2200 |      | 2200     |      | 2200  |      | 2200 |      | 2200                     |      | 2200     |      | 2200 |      | 2200     |      | 2200  |      | 2200 |      |      |      |
| TIEMPO (min)                |                     | 6.1                      |      | 6.5  |      | 7.45     |      | 7.18  |      | 7.12 |      | 7.19                     |      | 8.01     |      | 10.3 |      | 8.59     |      | 8.18  |      |      |      |      |      |
| VELOCIDAD (mm/min)          |                     | 2                        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      | 2    |      | 2                        |      | 2        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      |      |      |      |      |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)    |                     | 375                      |      | 275  |      | 345      |      | 335   |      | 347  |      | 495                      |      | 660      |      | 630  |      | 570      |      | 575   |      |      |      |      |      |
| DEFORMACION EN EL L.P. (mm) |                     | 10.6                     |      | 3.8  |      | 12.2     |      | 10.8  |      | 11   |      | 8.2                      |      | 7.8      |      | 6.4  |      | 10.5     |      | 7.55  |      |      |      |      |      |

| CUADRO                     |                     | 28.9                     |      |      |      |          |      |       |      |       |      | 28.10                         |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
|----------------------------|---------------------|--------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|-------|------|-------------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|------|------|
| EN SAYO DE CIZALLAMIENTO   |                     | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |       |      | SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Fecha de Ejecucion         |                     | 15 de septiembre de 2006 |      |      |      |          |      |       |      |       |      | 15 de septiembre de 2006      |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Tirafon                    |                     | Diametro                 |      | 1/2  |      | Longitud |      | 3 1/2 |      | e/D   |      | 3                             |      | Diametro |      | 1/4  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 2    |      |
| MUESTRA                    |                     | A.3.3.                   |      |      |      |          |      |       |      |       |      | B.1.1.                        |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Replica                    |                     | 1                        |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5     |      | 1                             |      | 2        |      | 3    |      | 4        |      | 5     |      |      |      |      |      |
| CARGA<br>(kg)              | DEFORMACION<br>(mm) | 0                        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0     | 0.0  | 0                             | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0    | 0.0  |
|                            |                     | 50                       | 0.1  | 50   | -0.1 | 50       | 0.1  | 50    | 0.1  | 50    | 0.1  | 50                            | 0.1  | 50       | 0.5  | 50   | 0.1  | 50       | 0.2  | 50    | 0.1  | 50   | 0.1  | 50   | 0.1  |
|                            |                     | 100                      | 0.2  | 100  | 0.2  | 100      | 0.3  | 100   | 0.2  | 100   | 0.2  | 100                           | 0.2  | 100      | 1.0  | 100  | 0.3  | 100      | 0.3  | 100   | 0.2  | 100  | 0.2  | 100  | 0.2  |
|                            |                     | 200                      | 0.4  | 200  | 0.8  | 200      | 0.9  | 200   | 0.3  | 200   | 0.6  | 200                           | 0.6  | 150      | 1.5  | 150  | 0.7  | 150      | 0.7  | 150   | 0.2  | 150  | 0.8  | 150  | 0.8  |
|                            |                     | 400                      | 2.4  | 400  | 3.4  | 400      | 5.3  | 400   | 2.2  | 400   | 4.3  | 200                           | 2.5  | 200      | 1.2  | 200  | 1.6  | 200      | 2.1  | 200   | 2.1  | 200  | 1.9  | 200  | 1.9  |
|                            |                     | 600                      | 7.0  | 600  | 9.0  | 600      | 10.2 | 600   | 6.9  | 600   | 10.0 | 250                           | 3.3  | 250      | 2.0  | 250  | 2.6  | 250      | 5.9  | 250   | 2.9  | 250  | 2.9  | 250  | 2.9  |
|                            |                     | 800                      | 11.1 | 800  | 12.8 | 800      | 14.6 | 800   | 10.1 | 800   | 14.1 | 300                           | 5.1  | 300      | 3.4  | 300  | 3.7  | 300      | 10.5 | 300   | 3.9  | 300  | 3.9  | 300  | 3.9  |
|                            |                     | 900                      | 12.5 | 900  | 14.6 | 900      | 16.9 | 900   | 11.5 | 900   | 16.6 | 350                           | 6.5  | 350      | 5.3  | 350  | 4.9  | 350      | 13.4 | 350   | 5.0  | 350  | 5.0  | 350  | 5.0  |
|                            |                     | 1000                     | 13.8 | 1000 | 16.6 | 1000     | 19.6 | 1000  | 12.9 | 1000  | 19.2 | 400                           | 8.7  | 400      | 7.8  | 400  | 7.1  | 400      | 15.5 | 400   | 8.8  | 400  | 8.8  | 400  | 8.8  |
|                            |                     | 1100                     | 15.2 | 1100 | 18.5 | 1100     | 22.4 | 1100  | 14.4 | 1100  | 22.2 | 450                           | 11.8 | 450      | 11.0 | 450  | 9.7  | 450      | 18.1 | 450   | 12.1 | 450  | 12.1 | 450  | 12.1 |
|                            |                     | 1200                     | 17.4 | 1200 | 21.2 | 1200     | 25.3 | 1200  | 16.1 | 1200  | 25.3 | 500                           | 16.4 | 500      | 16.5 | 500  | 13.9 | 500      | 23.8 | 500   | 15.4 | 500  | 15.4 | 500  | 15.4 |
|                            |                     | 1300                     | 20.1 | 1300 | 24.4 | 1300     | 27.9 | 1300  | 17.6 | 1300  | 28.0 | 550                           | 24.0 | 550      | 20.0 | 550  | 19.6 | 520      | 26.8 | 550   | 21.0 | 550  | 21.0 | 550  | 21.0 |
|                            |                     | 1400                     | 22.8 | 1400 | 28.0 | 1400     | 31.6 | 1400  | 19.7 | 1400  | 31.3 | 600                           | 29.5 | 600      | 24.5 | 600  | 26.7 | 600      |      | 600   | 24.6 | 600  | 24.6 | 600  | 24.6 |
|                            |                     | 1500                     | 16.7 | 1500 | 33.6 | 1500     | 35.4 | 1500  | 22.8 | 1500  | 36.7 | 645                           | 37.1 | 650      | 29.6 | 650  | 32.2 | 650      |      | 650   | 31.1 | 650  | 31.1 | 650  | 31.1 |
|                            |                     | 1600                     | 28.1 | 1600 | 46.6 | 1600     | 44.0 | 1600  | 29.7 | 1600  | 45.9 | 700                           |      | 700      | 36.7 | 700  | 36.9 | 700      |      | 680   | 38.8 | 680  | 38.8 | 680  | 38.8 |
|                            |                     | 1700                     | 35.1 | 1700 | 54.7 | 1700     | 51.7 | 1700  | 40.7 | 1700  | -2.2 | 750                           |      | 730      | 39.3 | 750  | 45.7 | 750      |      | 750   |      | 750  |      | 750  |      |
|                            |                     | 1750                     | 35.9 | 1750 | 54.8 | 1750     | 55.5 | 1750  | 41.2 | 1750  | 55.8 | 1750                          |      | 1750     |      | 1750 |      | 1750     |      | 1750  |      | 1750 |      | 1750 |      |
|                            |                     | 1800                     | 43.1 | 1800 |      | 1800     | -1.3 | 1800  | 48.4 | 1800  | 68.8 | 1800                          |      | 1800     |      | 1800 |      | 1800     |      | 1800  |      | 1800 |      | 1800 |      |
|                            |                     | 1850                     | -4.9 | 1850 |      | 1850     | -1.3 | 1850  | 50.7 | 1850  |      | 1850                          |      | 1850     |      | 1850 |      | 1850     |      | 1850  |      | 1850 |      | 1850 |      |
|                            |                     | 1900                     | -4.9 | 1900 |      | 1900     | -1.3 | 1900  | 51.7 | 1900  |      | 1900                          |      | 1900     |      | 1900 |      | 1900     |      | 1900  |      | 1900 |      | 1900 |      |
|                            |                     | 1950                     | -4.9 | 1950 |      | 1950     | -1.3 | 1950  | 57.0 | 1950  |      | 1950                          |      | 1950     |      | 1950 |      | 1950     |      | 1950  |      | 1950 |      | 1950 |      |
| 2000                       | 45.1                | 2000                     |      | 2000 | 64.7 | 2000     |      | 2000  |      | 2000  |      | 2000                          |      | 2000     |      | 2000 |      | 2000     |      | 2000  |      | 2000 |      |      |      |
| 2040                       | 55.7                | 2050                     |      | 2040 | 69.7 | 2050     |      | 2050  |      | 2050  |      | 2050                          |      | 2050     |      | 2050 |      | 2050     |      | 2050  |      | 2050 |      |      |      |
| 2100                       |                     | 2100                     |      | 2100 |      | 2100     |      | 2100  |      | 2100  |      | 2100                          |      | 2100     |      | 2100 |      | 2100     |      | 2100  |      | 2100 |      |      |      |
| TIEMPO (min)               |                     | 9.15                     |      | 8.48 |      | 10.4     |      | 9.55  |      | 10.23 |      | 9.47                          |      | 8.41     |      | 8.58 |      | 5.53     |      | 8.23  |      |      |      |      |      |
| VELOCIDAD (mm/min)         |                     | 2                        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      | 2     |      | 2                             |      | 2        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      |      |      |      |      |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)   |                     | 695                      |      | 730  |      | 750      |      | 680   |      | 750   |      | 265                           |      | 270      |      | 280  |      | 190      |      | 280   |      |      |      |      |      |
| DEFORMACION EN EL LP. (mm) |                     | 8.95                     |      | 10.8 |      | 13.5     |      | 7.5   |      | 2.8   |      | 3.9                           |      | 2.5      |      | 2.68 |      | 1.8      |      | 3.7   |      |      |      |      |      |



| CUADRO                      |                     | 28.11                         |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 28.12                    |      |          |      |      |      |          |      |      |      |      |      |     |      |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|--------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|-----|------|
| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO     |                     | SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |      |      | DOBLE PARALELO AL GRANO  |      |          |      |      |      |          |      |      |      |      |      |     |      |
| Fecha de Ejecucion          |                     | 18 de septiembre de 2006      |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 21 de septiembre de 2006 |      |          |      |      |      |          |      |      |      |      |      |     |      |
| Tirafon                     |                     | Diametro                      |      | 38   |      | Longitud |      | 2 1/2 |      | e/D  |      | 1,33                     |      | Diametro |      | 1/4  |      | Longitud |      | 2    |      | e/D  |      | 2   |      |
| MUESTRA                     |                     | B.12                          |      |      |      |          |      |       |      |      |      | C.11                     |      |          |      |      |      |          |      |      |      |      |      |     |      |
| Replica                     |                     | 1                             |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5    |      | 1                        |      | 2        |      | 3    |      | 4        |      | 5    |      |      |      |     |      |
| CARGA<br>(kg)               | DEFORMACION<br>(mm) | 0                             | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0                        | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0    | 0.0  | 0   | 0.0  |
|                             |                     | 50                            | 2.0  | 50   | 0.3  | 50       | 0.3  | 50    | 0.8  | 50   | 0.2  | 50                       | 0.1  | 50       | 0.2  | 50   | 0.2  | 50       | 0.1  | 50   | 0.2  | 50   | 0.2  | 50  | 0.2  |
|                             |                     | 100                           | 4.9  | 100  | 0.5  | 100      | 0.4  | 100   | 1.8  | 100  | 0.4  | 100                      | 0.2  | 100      | 0.7  | 100  | 0.4  | 100      | 0.2  | 100  | 0.4  | 100  | 0.4  | 100 | 0.4  |
|                             |                     | 150                           | 10.1 | 150  | 0.6  | 150      | 0.8  | 150   | 2.8  | 150  | 1.2  | 150                      | 0.3  | 150      | 0.8  | 150  | 0.5  | 150      | 0.4  | 150  | 0.4  | 150  | 0.8  | 150 | 0.8  |
|                             |                     | 200                           | 13.9 | 200  | 0.9  | 200      | 1.1  | 200   | 4.1  | 200  | 2.1  | 200                      | 0.5  | 200      | 1.2  | 200  | 0.6  | 200      | 0.6  | 200  | 0.6  | 200  | 1.2  | 200 | 1.2  |
|                             |                     | 250                           | 17.1 | 250  | 1.3  | 250      | 1.5  | 250   | 5.5  | 250  | 3.5  | 250                      | 0.8  | 250      | 1.5  | 250  | 0.8  | 250      | 0.8  | 250  | 0.8  | 250  | 1.7  | 250 | 1.7  |
|                             |                     | 300                           | 19.6 | 300  | 2.1  | 300      | 2.5  | 300   | 6.4  | 300  | 5.6  | 300                      | 1.1  | 300      | 2.0  | 300  | 1.0  | 300      | 1.2  | 300  | 1.2  | 300  | 2.1  | 300 | 2.1  |
|                             |                     | 350                           | 22.6 | 350  | 2.6  | 350      | 2.9  | 350   | 7.5  | 350  | 7.2  | 350                      | 1.4  | 350      | 2.5  | 350  | 1.2  | 350      | 1.6  | 350  | 1.6  | 350  | 2.9  | 350 | 2.9  |
|                             |                     | 400                           | 25.4 | 400  | 3.2  | 400      | 3.5  | 400   | 8.5  | 400  | 8.2  | 400                      | 1.9  | 400      | 3.0  | 400  | 1.5  | 400      | 1.9  | 400  | 1.9  | 400  | 3.2  | 400 | 3.2  |
|                             |                     | 450                           | 28.3 | 450  | 4.1  | 450      | 4.5  | 450   | 9.3  | 450  | 9.2  | 450                      | 2.4  | 450      | 3.5  | 450  | 1.9  | 450      | 2.6  | 450  | 2.6  | 450  | 3.7  | 450 | 3.7  |
|                             |                     | 500                           | 30.6 | 500  | 4.9  | 500      | 5.5  | 500   | 10.8 | 500  | 10.3 | 500                      | 3.1  | 500      | 4.0  | 500  | 2.6  | 500      | 3.2  | 500  | 3.2  | 500  | 4.2  | 500 | 4.2  |
|                             |                     | 550                           |      | 550  | 5.9  | 550      | 7.3  | 550   | 12.0 | 550  | 11.5 | 550                      | 3.8  | 550      | 4.6  | 550  | 3.6  | 550      | 4.1  | 550  | 4.1  | 550  | 5.0  | 550 | 5.0  |
|                             |                     | 600                           |      | 600  | 6.8  | 600      | 8.1  | 600   | 13.6 | 600  | 12.5 | 600                      | 4.8  | 600      | 5.4  | 600  | 5.4  | 600      | 5.8  | 600  | 5.8  | 600  | 5.8  | 600 | 5.8  |
|                             |                     | 650                           |      | 650  | 7.8  | 650      | 11.1 | 650   | 15.5 | 650  | 14.1 | 650                      | 6.0  | 650      | 6.3  | 650  | 6.3  | 650      | 6.5  | 650  | 6.5  | 650  | 6.9  | 650 | 6.9  |
|                             |                     | 700                           |      | 700  | 8.8  | 700      | 12.5 | 700   | 17.1 | 700  | 16.8 | 700                      | 7.5  | 700      | 7.8  | 700  | 12.8 | 700      | 7.9  | 700  | 7.9  | 700  | 8.1  | 700 | 8.1  |
|                             |                     | 750                           |      | 750  | 10.2 | 750      | 14.5 | 750   | 18.9 | 750  | 19.0 | 750                      | 9.1  | 750      | 9.3  | 750  | 18.3 | 750      | 9.7  | 750  | 9.7  | 750  | 10.2 | 750 | 10.2 |
|                             |                     | 800                           |      | 800  | 12.0 | 800      | 16.9 | 800   | 21.2 | 800  | 21.5 | 800                      | 11.0 | 800      | 12.3 | 800  | 24.1 | 800      | 12.1 | 800  | 12.1 | 800  | 12.9 | 800 | 12.9 |
|                             |                     | 850                           |      | 850  | 13.7 | 850      | 19.2 | 850   | 23.6 | 850  | 24.5 | 850                      | 13.8 | 850      | 19.8 | 850  | 27.0 | 850      | 16.9 | 850  | 16.9 | 850  | 19.2 | 850 | 19.2 |
|                             |                     | 900                           |      | 900  | 15.1 | 900      | 21.8 | 900   | 26.9 | 900  | 27.8 | 900                      | 17.1 | 900      | 27.8 | 900  | 31.3 | 900      | 23.4 | 900  | 23.4 | 900  | 25.6 | 900 | 25.6 |
|                             |                     | 950                           |      | 950  | 17.2 | 950      | 28.9 | 950   | 30.9 | 950  | 31.4 | 950                      | 23.2 | 950      | 35.8 | 950  | 33.3 | 950      | 34.2 | 950  | 34.2 | 950  | 30.2 | 950 | 30.2 |
| 1000                        |                     | 1000                          | 20.0 | 1000 |      | 1000     | 34.9 | 1000  | 35.8 | 1000 | 31.3 | 1000                     | 45.8 | 1000     |      | 1000 | 43.1 | 1000     | 43.1 | 1000 | 36.3 | 1000 | 36.3 |     |      |
| 1050                        |                     | 1050                          | 24.1 | 1050 |      | 1050     |      | 1050  |      | 1050 |      | 1050                     |      | 1050     |      | 1050 |      | 1050     |      | 1050 |      | 1050 |      |     |      |
| 1100                        |                     | 1100                          | 28.7 | 1100 |      | 1100     |      | 1100  |      | 1100 |      | 1100                     |      | 1100     |      | 1100 |      | 1100     |      | 1100 |      | 1100 |      |     |      |
| 1150                        |                     | 1150                          |      | 1150 |      | 1150     |      | 1150  |      | 1150 |      | 1150                     |      | 1150     |      | 1150 |      | 1150     |      | 1150 |      | 1150 |      |     |      |
| TIEMPO (min)                |                     | 3.4                           |      | 5.1  |      | 4.5      |      | 5.48  |      | 5.23 |      | 6.2                      |      | 7.8      |      | 7.3  |      | 8.2      |      | 7.8  |      |      |      |     |      |
| VELOCIDAD (mm/min)          |                     | 2                             |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      | 2    |      | 2                        |      | 2        |      | 2    |      | 2        |      | 2    |      |      |      |     |      |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)    |                     | 280                           |      | 305  |      | 420      |      | 220   |      | 280  |      | 420                      |      | 495      |      | 450  |      | 460      |      | 510  |      |      |      |     |      |
| DEFORMACION EN EL L.P. (mm) |                     | 18.2                          |      | 2.45 |      | 4        |      | 4.4   |      | 5.1  |      | 2.2                      |      | 3.85     |      | 1.9  |      | 2.75     |      | 4.34 |      |      |      |     |      |

| CUADRO                      |                     | 28.13                    |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 28.14                    |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|--------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|------|------|
| EN SAYO DE CIZALLAMIENTO    |                     | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |      |      | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Fecha de Ejecucion          |                     | 21 de septiembre de 2006 |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 22 de septiembre de 2006 |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Tirafon                     |                     | Diametro                 |      | 1/4  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 3                        |      | Diametro |      | 3/8  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 2    |      |
| MUESTRA                     |                     | C.2.1.                   |      |      |      |          |      |       |      |      |      | C.2.2.                   |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Replica                     |                     | 1                        |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5    |      | 1                        |      | 2        |      | 3    |      | 4        |      | 5     |      |      |      |      |      |
| CARGA<br>(kg)               | DEFORMACION<br>(mm) | 0                        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0                        | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0    | 0.0  |
|                             |                     | 50                       | 0.3  | 50   | 1.1  | 50       | 0.5  | 50    | 0.2  | 50   | 0.7  | 50                       | 0.1  | 50       | 0.2  | 50   | 0.4  | 50       | 0.3  | 50    | 0.2  | 50   | 0.2  | 50   | 0.2  |
|                             |                     | 100                      | 1.2  | 100  | 1.8  | 100      | 1.1  | 100   | 1.0  | 100  | 1.6  | 100                      | 0.3  | 100      | 0.4  | 100  | 1.4  | 100      | 0.6  | 100   | 1.0  | 100  | 1.0  | 100  | 1.0  |
|                             |                     | 150                      | 2.3  | 150  | 2.8  | 150      | 1.9  | 150   | 1.8  | 150  | 2.7  | 150                      | 0.8  | 150      | 1.0  | 150  | 2.3  | 150      | 1.2  | 150   | 1.5  | 150  | 1.5  | 150  | 1.5  |
|                             |                     | 200                      | 3.5  | 200  | 4.2  | 200      | 2.9  | 200   | 2.8  | 200  | 3.9  | 200                      | 1.7  | 200      | 1.6  | 200  | 3.0  | 200      | 2.0  | 200   | 2.5  | 200  | 2.5  | 200  | 2.5  |
|                             |                     | 300                      | 5.8  | 300  | 6.9  | 300      | 5.1  | 300   | 5.2  | 300  | 6.1  | 300                      | 3.4  | 300      | 2.7  | 300  | 4.2  | 300      | 3.4  | 300   | 3.0  | 300  | 3.0  | 300  | 3.0  |
|                             |                     | 400                      | 10.0 | 400  | 13.3 | 400      | 8.9  | 400   | 15.2 | 400  | 9.8  | 400                      | 5.5  | 400      | 4.8  | 400  | 5.2  | 400      | 4.9  | 400   | 3.9  | 400  | 3.9  | 400  | 3.9  |
|                             |                     | 500                      | 17.7 | 500  | 25.2 | 500      | 15.7 | 500   | 24.1 | 500  | 12.4 | 500                      | 7.2  | 500      | 7.0  | 500  | 6.1  | 500      | 6.7  | 500   | 5.6  | 500  | 5.6  | 500  | 5.6  |
|                             |                     | 600                      | 25.1 | 600  | 31.2 | 600      | 22.9 | 600   | 28.3 | 600  | 15.5 | 600                      | 9.7  | 600      | 8.3  | 600  | 7.0  | 600      | 8.1  | 600   | 7.8  | 600  | 7.8  | 600  | 7.8  |
|                             |                     | 650                      | 28.9 | 650  | 33.9 | 650      | 26.3 | 650   | 30.5 | 650  | 17.6 | 650                      | 10.9 | 650      | 9.2  | 650  | 7.4  | 650      | 9.0  | 650   | 9.0  | 650  | 9.0  | 650  | 9.0  |
|                             |                     | 700                      | 31.5 | 700  | 36.4 | 700      | 28.6 | 700   | 32.8 | 700  | 20.6 | 700                      | 11.9 | 700      | 10.1 | 700  | 7.9  | 700      | 10.1 | 700   | 10.2 | 700  | 10.2 | 700  | 10.2 |
|                             |                     | 750                      | 34.0 | 750  | 38.7 | 750      | 32.1 | 750   | 35.1 | 750  | 27.5 | 750                      | 13.2 | 750      | 11.2 | 750  | 8.3  | 750      | 11.4 | 750   | 11.3 | 750  | 11.3 | 750  | 11.3 |
|                             |                     | 800                      |      | 800  |      | 800      | 34.1 | 800   | 36.8 | 800  |      | 800                      | 14.2 | 800      | 12.4 | 800  | 8.9  | 800      | 12.9 | 800   | 12.4 | 800  | 12.4 | 800  | 12.4 |
|                             |                     | 850                      |      | 850  |      | 850      | 36.6 | 850   | 38.6 | 850  |      | 850                      | 15.4 | 850      | 13.8 | 850  | 9.6  | 850      | 14.4 | 850   | 13.6 | 850  | 13.6 | 850  | 13.6 |
|                             |                     | 900                      |      | 900  |      | 900      | 42.1 | 900   | 41.3 | 900  |      | 900                      | 16.8 | 900      | 14.9 | 900  | 11.3 | 900      | 16.8 | 900   | 15.3 | 900  | 15.3 | 900  | 15.3 |
|                             |                     | 950                      |      | 950  |      | 950      |      | 950   |      | 950  |      | 950                      | 18.4 | 950      | 16.9 | 950  | 13.3 | 950      | 19.4 | 950   | 16.8 | 950  | 16.8 | 950  | 16.8 |
|                             |                     | 1000                     |      | 1000 |      | 1000     |      | 1000  |      | 1000 |      | 1000                     | 20.5 | 1000     | 19.2 | 1000 | 16.4 | 1000     | 22.7 | 1000  | 19.3 | 1000 | 19.3 | 1000 | 19.3 |
|                             |                     | 1050                     |      | 1050 |      | 1050     |      | 1050  |      | 1050 |      | 1050                     | 22.8 | 1050     | 21.1 | 1050 | 20.1 | 1050     | 25.7 | 1050  | 22.6 | 1050 | 22.6 | 1050 | 22.6 |
|                             |                     | 1100                     |      | 1100 |      | 1100     |      | 1100  |      | 1100 |      | 1100                     | 25.1 | 1100     | 26.7 | 1100 | 24.4 | 1100     | 29.2 | 1100  | 25.3 | 1100 | 25.3 | 1100 | 25.3 |
|                             |                     | 1150                     |      | 1150 |      | 1150     |      | 1150  |      | 1150 |      | 1150                     | 28.5 | 1150     | 33.6 | 1150 |      | 1150     | 34.7 | 1150  | 28.6 | 1150 | 28.6 | 1150 | 28.6 |
| 1200                        |                     | 1200                     |      | 1200 |      | 1200     |      | 1200  |      | 1200 |      | 1190                     |      | 1200     |      | 1200 | 38.9 | 1200     | 22.5 | 1200  | 22.5 | 1200 | 22.5 |      |      |
| 1250                        |                     | 1250                     |      | 1250 |      | 1250     |      | 1250  |      | 1250 |      | 1250                     |      | 1250     |      | 1250 |      | 1250     | 36.6 | 1250  | 36.6 | 1250 | 36.6 |      |      |
| 1300                        |                     | 1300                     |      | 1300 |      | 1300     |      | 1300  |      | 1300 |      | 1300                     |      | 1300     |      | 1300 |      | 1300     |      | 1300  |      | 1300 |      |      |      |
| 1350                        |                     | 1350                     |      | 1350 |      | 1350     |      | 1350  |      | 1350 |      | 1350                     |      | 1350     |      | 1350 |      | 1350     |      | 1350  |      | 1350 |      |      |      |
| TIEMPO (min)                |                     | 8.3                      |      | 9.5  |      | 8.55     |      | 8.1   |      | 7.2  |      | 11                       |      | 8.9      |      | 10.1 |      | 9.5      |      | 9.2   |      |      |      |      |      |
| VELOCIDAD (mm/min)          |                     | 2                        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      | 2    |      | 2                        |      | 2        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      |      |      |      |      |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)    |                     | 300                      |      | 310  |      | 335      |      | 265   |      | 350  |      | 400                      |      | 440      |      | 420  |      | 420      |      | 460   |      |      |      |      |      |
| DEFORMACION EN EL L.P. (mm) |                     | 5.8                      |      | 7    |      | 6.7      |      | 4     |      | 8.1  |      | 5.5                      |      | 5.65     |      | 5.4  |      | 5.8      |      | 4.8   |      |      |      |      |      |

| CUADRO                      |                     | 28.15                    |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 28.16                        |      |          |      |      |      |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|---------------------|--------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|------------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO     |                     | SIMPLE PARALELO AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |      |      | DOBLE PERPENDICULAR AL GRANO |      |          |      |      |      |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Fecha de Ejecucion          |                     | 22 de septiembre de 2006 |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 29 de septiembre de 2006     |      |          |      |      |      |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Tirafon                     |                     | Diametro                 |      | 1/2  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 1.5                          |      | Diametro |      | 1/4  |      | Longitud |      | 2    |      | e/D  |      | 2    |      |      |      |
| MUESTRA                     |                     | C.23.                    |      |      |      |          |      |       |      |      |      | D.111.                       |      |          |      |      |      |          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Replica                     |                     | 1                        |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5    |      | 1                            |      | 2        |      | 3    |      | 4        |      | 5    |      |      |      |      |      |      |      |
| CARGA<br>(kg)               | DEFORMACION<br>(mm) | 0                        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0                            | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0    | 0.0  | 0    | 0.0  |      |      |
|                             |                     | 50                       | 0.1  | 50   | 0.1  | 50       | 0.1  | 50    | 0.1  | 50   | 0.1  | 50                           | 0.1  | 50       | 0.1  | 50   | 0.1  | 50       | 0.1  | 50   | 0.1  | 50   | 0.1  | 50   | 0.1  | 50   | 0.1  |
|                             |                     | 100                      | 0.2  | 100  | 0.5  | 100      | 0.2  | 100   | 0.3  | 100  | 0.3  | 100                          | 0.3  | 100      | 0.3  | 100  | 0.3  | 100      | 0.3  | 100  | 0.3  | 100  | 0.3  | 100  | 0.3  | 100  | 0.3  |
|                             |                     | 150                      | 0.3  | 150  | 1.1  | 150      | 0.4  | 150   | 0.7  | 150  | 0.5  | 150                          | 0.5  | 150      | 0.5  | 150  | 0.5  | 150      | 0.5  | 150  | 0.5  | 150  | 0.5  | 150  | 0.5  | 150  | 0.5  |
|                             |                     | 200                      | 0.7  | 200  | 1.8  | 200      | 0.8  | 200   | 1.2  | 200  | 0.8  | 200                          | 0.8  | 200      | 0.8  | 200  | 0.8  | 200      | 0.8  | 200  | 0.8  | 200  | 0.8  | 200  | 0.8  | 200  | 0.8  |
|                             |                     | 250                      | 1.0  | 250  | 2.6  | 250      | 1.3  | 250   | 1.9  | 250  | 1.2  | 250                          | 1.2  | 250      | 1.2  | 250  | 1.2  | 250      | 1.2  | 250  | 1.2  | 250  | 1.2  | 250  | 1.2  | 250  | 1.2  |
|                             |                     | 300                      | 1.4  | 300  | 3.1  | 300      | 1.7  | 300   | 2.6  | 300  | 1.7  | 300                          | 1.7  | 300      | 1.7  | 300  | 1.7  | 300      | 1.7  | 300  | 1.7  | 300  | 1.7  | 300  | 1.7  | 300  | 1.7  |
|                             |                     | 350                      | 2.0  | 350  | 3.8  | 350      | 2.3  | 350   | 3.3  | 350  | 2.5  | 350                          | 2.5  | 350      | 2.5  | 350  | 2.5  | 350      | 2.5  | 350  | 2.5  | 350  | 2.5  | 350  | 2.5  | 350  | 2.5  |
|                             |                     | 400                      | 2.7  | 400  | 4.4  | 400      | 3.0  | 400   | 4.1  | 400  | 3.2  | 400                          | 3.2  | 400      | 3.2  | 400  | 3.2  | 400      | 3.2  | 400  | 3.2  | 400  | 3.2  | 400  | 3.2  | 400  | 3.2  |
|                             |                     | 500                      | 4.7  | 500  | 5.9  | 500      | 5.7  | 500   | 5.8  | 500  | 6.0  | 500                          | 6.0  | 500      | 6.0  | 500  | 6.0  | 500      | 6.0  | 500  | 6.0  | 500  | 6.0  | 500  | 6.0  | 500  | 6.0  |
|                             |                     | 700                      | 9.6  | 700  | 8.4  | 700      | 8.6  | 700   | 8.5  | 700  | 11.1 | 700                          | 11.1 | 700      | 11.1 | 700  | 11.1 | 700      | 11.1 | 700  | 11.1 | 700  | 11.1 | 700  | 11.1 | 700  | 11.1 |
|                             |                     | 750                      | 10.8 | 750  | 9.1  | 750      | 9.3  | 750   | 9.4  | 750  | 12.4 | 750                          | 12.4 | 750      | 12.4 | 750  | 12.4 | 750      | 12.4 | 750  | 12.4 | 750  | 12.4 | 750  | 12.4 | 750  | 12.4 |
|                             |                     | 800                      | 11.8 | 800  | 9.7  | 800      | 10.2 | 800   | 10.2 | 800  | 13.2 | 800                          | 13.2 | 800      | 13.2 | 800  | 13.2 | 800      | 13.2 | 800  | 13.2 | 800  | 13.2 | 800  | 13.2 | 800  | 13.2 |
|                             |                     | 850                      | 12.8 | 850  | 8.0  | 850      | 10.9 | 850   | 11.2 | 850  | 14.6 | 850                          | 14.6 | 850      | 14.6 | 850  | 14.6 | 850      | 14.6 | 850  | 14.6 | 850  | 14.6 | 850  | 14.6 | 850  | 14.6 |
|                             |                     | 900                      | 14.1 | 900  | 11.2 | 900      | 12.0 | 900   | 12.0 | 900  | 15.7 | 900                          | 15.7 | 900      | 15.7 | 900  | 15.7 | 900      | 15.7 | 900  | 15.7 | 900  | 15.7 | 900  | 15.7 | 900  | 15.7 |
|                             |                     | 1000                     | 16.2 | 1000 | 13.5 | 1000     | 13.9 | 1000  | 14.3 | 1000 | 18.4 | 1000                         | 18.4 | 1000     | 18.4 | 1000 | 18.4 | 1000     | 18.4 | 1000 | 18.4 | 1000 | 18.4 | 1000 | 18.4 | 1000 | 18.4 |
|                             |                     | 1050                     | 17.5 | 1050 | 14.4 | 1050     | 15.2 | 1050  | 16.0 | 1050 | 20.0 | 1050                         | 20.0 | 1050     | 20.0 | 1050 | 20.0 | 1050     | 20.0 | 1050 | 20.0 | 1050 | 20.0 | 1050 | 20.0 | 1050 | 20.0 |
|                             |                     | 1100                     | 18.9 | 1100 | 15.7 | 1100     | 17.3 | 1100  | 17.7 | 1100 | 21.6 | 1100                         | 21.6 | 1100     | 21.6 | 1100 | 21.6 | 1100     | 21.6 | 1100 | 21.6 | 1100 | 21.6 | 1100 | 21.6 | 1100 | 21.6 |
|                             |                     | 1200                     | 21.8 | 1200 | 18.8 | 1200     | 19.8 | 1200  | 21.3 | 1200 |      | 1200                         |      | 1200     |      | 1200 |      | 1200     |      | 1200 |      | 1200 |      | 1200 |      | 1200 |      |
|                             |                     | 1250                     | 24.8 | 1250 | 20.0 | 1250     | 23.2 | 1250  | 23.3 | 1250 |      | 1250                         |      | 1250     |      | 1250 |      | 1250     |      | 1250 |      | 1250 |      | 1250 |      | 1250 |      |
| 1260                        | 25.3                | 1300                     | 21.5 | 1300 |      | 1300     | 25.8 | 1300  |      | 1300 |      | 1300                         |      | 1300     |      | 1300 |      | 1300     |      | 1300 |      | 1300 |      | 1300 |      |      |      |
| 1350                        |                     | 1350                     | 23.4 | 1350 |      | 1350     | 29.5 | 1350  |      | 1350 |      | 1350                         |      | 1350     |      | 1350 |      | 1350     |      | 1350 |      | 1350 |      | 1350 |      |      |      |
| 1400                        |                     | 1360                     | 27.0 | 1400 |      | 1400     |      | 1400  |      | 1400 |      | 1400                         |      | 1400     |      | 1400 |      | 1400     |      | 1400 |      | 1400 |      | 1400 |      |      |      |
| 1450                        |                     | 1450                     |      | 1450 |      | 1450     |      | 1450  |      | 1450 |      | 1450                         |      | 1450     |      | 1450 |      | 1450     |      | 1450 |      | 1450 |      | 1450 |      |      |      |
| TIEMPO (min)                |                     | 7.8                      |      | 8.4  |      | 7.9      |      | 9.1   |      | 8.34 |      | 8.12                         |      | 7.56     |      | 9.1  |      | 3.48     |      | 1.56 |      |      |      |      |      |      |      |
| VELOCIDAD (mm/min)          |                     | 2                        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      | 2    |      | 2                            |      | 2        |      | 2    |      | 2        |      | 2    |      |      |      |      |      |      |      |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)    |                     | 425                      |      | 450  |      | 390      |      | 380   |      | 335  |      | 520                          |      | 350      |      | 350  |      | 380      |      | 220  |      |      |      |      |      |      |      |
| DEFORMACION EN EL L.P. (mm) |                     | 3.25                     |      | 5.1  |      | 2.8      |      | 3.5   |      | 2.3  |      | 8                            |      | 2.1      |      | 5    |      | 4.2      |      | 4.2  |      |      |      |      |      |      |      |

| CUADRO                     |                     | 28.17                         |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 28.18                         |      |          |      |      |      |          |      |       |      |     |      |   |  |
|----------------------------|---------------------|-------------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|-------------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|-------|------|-----|------|---|--|
| EN SAYO DE CIZALLAMIENTO   |                     | SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |      |      | SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO |      |          |      |      |      |          |      |       |      |     |      |   |  |
| Fecha de Ejecucion         |                     | 29 de septiembre de 2006      |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 29 de septiembre de 2006      |      |          |      |      |      |          |      |       |      |     |      |   |  |
| Tirafon                    |                     | Diametro                      |      | 3/8  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 1.33                          |      | Diametro |      | 1/2  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D |      | 1 |  |
| MUESTRA                    |                     | D.12                          |      |      |      |          |      |       |      |      |      | D.13                          |      |          |      |      |      |          |      |       |      |     |      |   |  |
| Replica                    |                     | 1                             |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5    |      | 1                             |      | 2        |      | 3    |      |          |      |       |      |     |      |   |  |
| CARGA<br>(kg)              | DEFORMACION<br>(mm) | 0                             | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0                             | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0   | 0.0  |   |  |
|                            |                     | 50                            | 1.1  | 50   | 2.2  | 50       | 4.9  | 50    | 2.4  | 50   | 4.5  | 50                            | 3.8  | 50       | 0.2  | 50   | 3.8  | 50       | 0.2  | 50    | 3.8  | 50  | 3.8  |   |  |
|                            |                     | 100                           | 1.8  | 100  | 2.6  | 100      | 5.1  | 100   | 2.5  | 100  | 5.0  | 100                           | 4.1  | 100      | 0.6  | 100  | 3.9  | 100      | 0.6  | 100   | 3.9  | 100 | 3.9  |   |  |
|                            |                     | 150                           | 2.1  | 150  | 2.9  | 150      | 5.4  | 150   | 3.0  | 150  | 5.2  | 150                           | 4.6  | 150      | 1.0  | 150  | 4.1  | 150      | 1.0  | 150   | 4.1  | 150 | 4.1  |   |  |
|                            |                     | 200                           | 2.8  | 200  | 3.3  | 200      | 5.9  | 200   | 3.2  | 200  | 5.7  | 200                           | 5.4  | 200      | 1.6  | 200  | 4.5  | 200      | 1.6  | 200   | 4.5  | 200 | 4.5  |   |  |
|                            |                     | 250                           | 3.4  | 250  | 3.9  | 250      | 6.6  | 250   | 3.4  | 250  | 6.5  | 250                           | 6.2  | 250      | 2.7  | 250  | 4.7  | 250      | 2.7  | 250   | 4.7  | 250 | 4.7  |   |  |
|                            |                     | 300                           | 4.1  | 300  | 4.5  | 300      | 7.2  | 300   | 4.8  | 300  | 7.0  | 300                           | 7.5  | 300      | 3.8  | 300  | 5.3  | 300      | 3.8  | 300   | 5.3  | 300 | 5.3  |   |  |
|                            |                     | 350                           | 5.0  | 350  | 5.5  | 350      | 7.9  | 350   | 5.5  | 350  | 8.0  | 350                           | 8.4  | 350      | 4.0  | 350  | 5.9  | 350      | 4.0  | 350   | 5.9  | 350 | 5.9  |   |  |
|                            |                     | 400                           | 6.4  | 400  | 6.4  | 400      | 8.5  | 400   | 6.8  | 400  | 8.6  | 400                           | 9.0  | 400      | 5.2  | 400  | 6.4  | 400      | 5.2  | 400   | 6.4  | 400 | 6.4  |   |  |
|                            |                     | 450                           | 7.5  | 450  | 7.4  | 450      | 9.1  | 450   | 7.2  | 450  | 9.5  | 450                           | 9.6  | 450      | 6.2  | 450  | 7.2  | 450      | 6.2  | 450   | 7.2  | 450 | 7.2  |   |  |
|                            |                     | 500                           | 8.8  | 500  | 8.5  | 500      | 9.8  | 500   | 8.8  | 500  | 10.2 | 500                           | 10.9 | 500      | 6.8  | 500  | 8.1  | 500      | 6.8  | 500   | 8.1  | 500 | 8.1  |   |  |
|                            |                     | 550                           | 9.5  | 550  | 10.0 | 550      | 10.5 | 550   | 10.5 | 550  | 11.5 | 550                           | 12.3 | 550      | 7.9  | 550  | 9.0  | 550      | 7.9  | 550   | 9.0  | 550 | 9.0  |   |  |
|                            |                     | 600                           | 10.5 | 600  | 11.2 | 600      | 11.3 | 600   | 12.1 | 600  | 12.4 | 600                           | 13.5 | 600      | 9.0  | 600  | 9.6  | 600      | 9.0  | 600   | 9.6  | 600 | 9.6  |   |  |
|                            |                     | 650                           | 11.0 | 650  | 12.7 | 650      | 12.2 | 650   | 13.0 | 650  | 13.8 | 650                           | 14.3 | 650      | 10.0 | 650  | 10.3 | 650      | 10.0 | 650   | 10.3 | 650 | 10.3 |   |  |
|                            |                     | 700                           | 11.9 | 700  | 14.2 | 700      | 13.4 | 700   | 14.5 | 700  | 15.8 | 700                           | 15.4 | 700      | 10.9 | 700  | 11.2 | 700      | 10.9 | 700   | 11.2 | 700 | 11.2 |   |  |
|                            |                     | 750                           | 12.9 | 750  | 15.6 | 750      | 15.0 | 750   | 16.8 | 750  | 16.9 | 750                           | 19.5 | 750      | 12.1 | 750  | 13.0 | 750      | 12.1 | 750   | 13.0 | 750 | 13.0 |   |  |
|                            |                     | 800                           | 13.7 | 800  | 17.3 | 800      | 15.8 | 800   | 17.9 | 800  | 17.5 | 800                           | 23.6 | 800      | 13.2 | 800  | 15.2 | 800      | 13.2 | 800   | 15.2 | 800 | 15.2 |   |  |
|                            |                     | 850                           | 15.6 | 850  | 20.0 | 850      | 17.5 | 850   | 19.4 | 850  | 19.2 | 850                           |      | 850      | 14.9 | 850  | 16.3 | 850      | 14.9 | 850   | 16.3 | 850 | 16.3 |   |  |
|                            |                     | 900                           | 17.2 | 900  |      | 900      | 19.9 | 900   | 21.2 | 900  | 22.1 | 900                           |      | 900      | 16.1 | 900  |      | 900      | 16.1 | 900   |      | 900 |      |   |  |
|                            |                     | 950                           | 20.0 | 950  |      | 950      | 24.5 | 950   |      | 950  |      | 950                           |      | 950      | 17.3 | 950  |      | 950      | 17.3 | 950   |      | 950 |      |   |  |
| 1000                       |                     | 1000                          |      | 1000 |      | 1000     |      | 1000  |      | 1000 |      | 1000                          |      | 1000     |      | 1000 |      | 1000     |      | 1000  |      |     |      |   |  |
| 1050                       |                     | 1050                          |      | 1050 |      | 1050     |      | 1050  |      | 1050 |      | 1050                          |      | 1050     |      | 1050 |      | 1050     |      | 1050  |      |     |      |   |  |
| 1100                       |                     | 1100                          |      | 1100 |      | 1100     |      | 1100  |      | 1100 |      | 1100                          |      | 1100     |      | 1100 |      | 1100     |      | 1100  |      |     |      |   |  |
| 1150                       |                     | 1150                          |      | 1150 |      | 1150     |      | 1150  |      | 1150 |      | 1150                          |      | 1150     |      | 1150 |      | 1150     |      | 1150  |      |     |      |   |  |
| TIEMPO (min)               |                     | 5.5                           | 5.8  | 7.6  | 6.4  | 7.8      | 7.45 |       |      |      |      |                               | 3.5  |          | 4.37 |      |      |          |      |       |      |     |      |   |  |
| VELOCIDAD (mm/min)         |                     | 2                             | 2    | 2    | 2    | 2        | 2    |       |      |      |      |                               | 2    |          | 2    |      |      |          |      |       |      |     |      |   |  |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)   |                     | 300                           | 370  | 350  | 280  | 240      | 375  |       |      |      |      |                               | 275  |          | 350  |      |      |          |      |       |      |     |      |   |  |
| DEFORMACION EN EL LP. (mm) |                     | 5.2                           | 6.8  | 3.5  | 3.95 | 2.9      | 3.81 |       |      |      |      |                               | 3.3  |          | 2.9  |      |      |          |      |       |      |     |      |   |  |

| CUADRO                      |                     | 28.19                         |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 28.20                         |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|---------------------|-------------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|-------------------------------|------|----------|------|------|------|----------|------|-------|------|------|------|------|------|
| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO     |                     | SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |      |      | SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Fecha de Ejecucion          |                     | 2 de octubre de 2006          |      |      |      |          |      |       |      |      |      | 2 de octubre de 2006          |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Tirafon                     |                     | Diametro                      |      | 1/4  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 3                             |      | Diametro |      | 3/8  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | e/D  |      | 2    |      |
| MUESTRA                     |                     | D.2.1                         |      |      |      |          |      |       |      |      |      | D.2.2                         |      |          |      |      |      |          |      |       |      |      |      |      |      |
| Replica                     |                     | 1                             |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5    |      | 1                             |      | 2        |      | 3    |      | 4        |      | 5     |      |      |      |      |      |
| CARGA<br>(kg)               | DEFORMACION<br>(mm) | 0                             | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0                             | 0.0  | 0        | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0    | 0.0  | 0    | 0.0  |
|                             |                     | 50                            | 0.2  | 50   | 0.1  | 50       | 0.5  | 50    | 0.2  | 50   | 0.8  | 50                            | 0.4  | 50       | 0.2  | 50   | 0.2  | 50       | 0.3  | 50    | 0.2  | 50   | 0.2  | 50   | 0.2  |
|                             |                     | 100                           | 0.7  | 100  | 0.2  | 100      | 0.6  | 100   | 0.8  | 100  | 1.3  | 100                           | 1.6  | 100      | 0.7  | 100  | 0.4  | 100      | 0.4  | 100   | 0.4  | 100  | 0.8  | 100  | 0.8  |
|                             |                     | 150                           | 1.1  | 150  | 0.6  | 150      | 0.2  | 150   | 1.4  | 150  | 1.9  | 150                           | 2.6  | 150      | 1.7  | 150  | 0.8  | 150      | 0.9  | 150   | 1.2  | 150  | 1.2  | 150  | 1.2  |
|                             |                     | 200                           | 1.5  | 200  | 1.1  | 200      | 0.8  | 200   | 1.6  | 200  | 2.5  | 200                           | 3.5  | 200      | 2.4  | 200  | 1.5  | 200      | 1.7  | 200   | 2.1  | 200  | 2.1  | 200  | 2.1  |
|                             |                     | 300                           | 3.3  | 300  | 2.3  | 300      | 11.6 | 300   | 3.5  | 300  | 4.2  | 300                           | 5.6  | 300      | 3.8  | 300  | 2.9  | 300      | 3.3  | 300   | 4.2  | 300  | 4.2  | 300  | 4.2  |
|                             |                     | 400                           | 4.1  | 400  | 7.8  | 400      | 18.3 | 400   | 7.1  | 400  | 8.1  | 400                           | 7.8  | 400      | 5.7  | 400  | 5.5  | 400      | 6.1  | 400   | 6.3  | 400  | 6.3  | 400  | 6.3  |
|                             |                     | 450                           | 7.8  | 450  | 10.8 | 450      | 20.1 | 450   | 11.2 | 450  | 14.2 | 450                           | 8.9  | 450      | 6.5  | 450  | 6.4  | 450      | 7.8  | 450   | 7.4  | 450  | 7.4  | 450  | 7.4  |
|                             |                     | 500                           | 10.6 | 500  | 14.3 | 500      | 23.2 | 500   | 14.3 | 500  | 23.5 | 500                           | 10.0 | 500      | 7.4  | 500  | 6.9  | 500      | 9.2  | 500   | 8.4  | 500  | 8.4  | 500  | 8.4  |
|                             |                     | 550                           | 13.2 | 550  | 17.7 | 550      | 26.1 | 550   | 22.0 | 550  | 25.6 | 550                           | 11.1 | 550      | 8.3  | 550  | 7.9  | 550      | 10.8 | 550   | 9.5  | 550  | 9.5  | 550  | 9.5  |
|                             |                     | 600                           | 16.6 | 600  | 20.8 | 600      | 28.7 | 600   | 24.2 | 600  | 29.8 | 600                           | 12.3 | 600      | 8.9  | 600  | 8.8  | 600      | 12.0 | 600   | 10.5 | 600  | 10.5 | 600  | 10.5 |
|                             |                     | 650                           | 20.1 | 650  | 24.0 | 650      | 31.2 | 650   | 26.4 | 650  | 31.2 | 650                           | 13.2 | 650      | 9.9  | 650  | 10.2 | 650      | 13.5 | 650   | 11.7 | 650  | 11.7 | 650  | 11.7 |
|                             |                     | 700                           | 22.7 | 700  | 28.7 | 700      | 33.3 | 700   | 29.7 | 700  | 33.4 | 700                           | 14.5 | 700      | 10.9 | 700  | 11.3 | 700      | 14.5 | 700   | 12.8 | 700  | 12.8 | 700  | 12.8 |
|                             |                     | 750                           | 24.6 | 750  | 31.3 | 750      | 36.2 | 750   | 36.5 | 750  | 36.4 | 750                           | 16.0 | 750      | 12.1 | 750  | 12.6 | 750      | 16.0 | 750   | 14.2 | 750  | 14.2 | 750  | 14.2 |
|                             |                     | 800                           | 27.2 | 800  | 32.7 | 800      | 39.0 | 800   | 37.2 | 800  | 39.2 | 800                           | 17.2 | 800      | 13.4 | 800  | 14.0 | 800      | 17.5 | 800   | 15.5 | 800  | 15.5 | 800  | 15.5 |
|                             |                     | 850                           | 29.7 | 850  | 34.5 | 850      |      | 850   |      | 850  | 41.2 | 850                           | 18.5 | 850      | 15.3 | 850  | 15.7 | 850      | 17.8 | 850   | 16.8 | 850  | 16.8 | 850  | 16.8 |
|                             |                     | 900                           | 31.8 | 900  | 37.3 | 900      | 1050 |       | 900  | 890  | 45.6 | 900                           | 19.7 | 900      | 16.9 | 900  | 17.2 | 900      | 18.6 | 900   | 18.1 | 900  | 18.1 | 900  | 18.1 |
|                             |                     | 920                           |      | 920  |      | 920      | 1100 |       | 920  | 950  |      | 920                           | 21.5 | 920      | 18.7 | 920  | 18.9 | 920      | 20.1 | 920   | 19.8 | 920  | 19.8 | 920  | 19.8 |
|                             |                     | 1000                          |      | 1000 |      | 1000     | 1150 |       | 1000 | 1000 |      | 1000                          | 24.0 | 1000     | 21.1 | 1000 | 20.9 | 1000     | 23.4 | 1000  | 22.4 | 1000 | 22.4 | 1000 | 22.4 |
|                             |                     | 1050                          |      | 1050 |      | 1050     | 1200 |       | 1050 | 1050 |      | 1050                          | 25.9 | 1050     | 22.6 | 1050 | 23.9 | 1050     | 26.3 | 1050  | 24.7 | 1050 | 24.7 | 1050 | 24.7 |
| 1100                        |                     | 1100                          |      | 1100 | 1250 |          | 1100 | 1100  |      | 1100 | 28.5 | 1100                          | 24.3 | 1100     | 27.0 | 1100 | 28.4 | 1100     | 27.6 | 1100  | 27.6 | 1100 | 27.6 |      |      |
| 1150                        |                     | 1150                          |      | 1150 |      |          | 1150 | 1150  |      | 1150 | 31.0 | 1150                          | 27.2 | 1130     |      | 1130 | 30.5 | 1150     | 30.4 | 1150  | 30.4 | 1150 | 30.4 |      |      |
| 1200                        |                     | 1200                          |      | 1200 |      |          | 1200 | 1200  |      | 1180 |      | 1180                          |      | 1200     |      | 1200 |      | 1160     | 31.2 | 1200  | 31.2 | 1200 | 31.2 |      |      |
| 1250                        |                     | 1250                          |      | 1250 |      |          | 1250 | 1250  |      | 1250 |      | 1250                          |      | 1250     |      | 1250 |      | 1250     |      | 1250  |      | 1250 |      |      |      |
| TIEMPO (min)                |                     | 7.1                           |      | 7.5  |      | 6.5      |      | 5.4   |      | 6.8  |      | 6.2                           |      | 5.55     |      | 6.34 |      | 6.8      |      | 4.5   |      |      |      |      |      |
| VELOCIDAD (mm/min)          |                     | 2                             |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      | 2    |      | 2                             |      | 2        |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      |      |      |      |      |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)    |                     | 270                           |      | 230  |      | 550      |      | 310   |      | 355  |      | 460                           |      | 400      |      | 395  |      | 500      |      | 350   |      |      |      |      |      |
| DEFORMACION EN EL L.P. (mm) |                     | 2.7                           |      | 1.65 |      | 18.3     |      | 3.75  |      | 6    |      | 9.1                           |      | 5.7      |      | 5.3  |      | 9.2      |      | 4.5   |      |      |      |      |      |

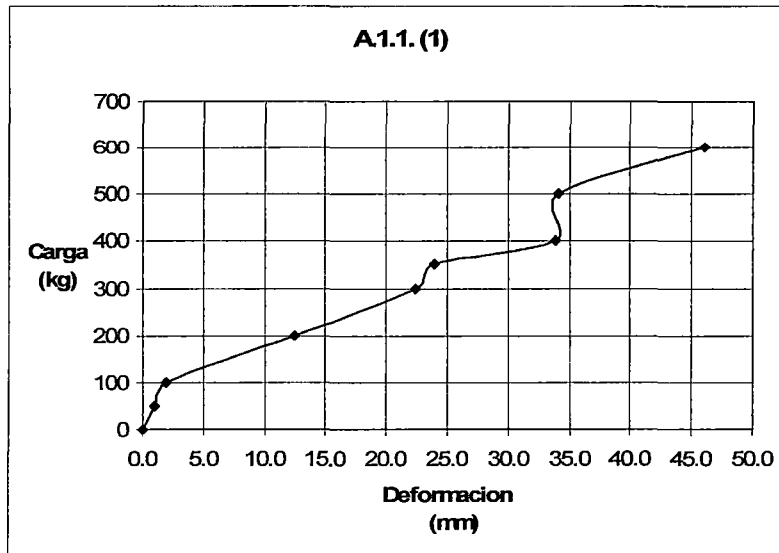
| CUADRO                     |                     | 28.21                         |      |      |      |          |      |       |      |        |      |
|----------------------------|---------------------|-------------------------------|------|------|------|----------|------|-------|------|--------|------|
| ENSAYO DE CIZALLAMIENTO    |                     | SIMPLE PERPENDICULAR AL GRANO |      |      |      |          |      |       |      |        |      |
| Fecha de Ejecucion         |                     | 22 de noviembre de 2006       |      |      |      |          |      |       |      |        |      |
| Tirafon                    |                     | Diametro                      |      | 1/2  |      | Longitud |      | 1 1/2 |      | eD 1.5 |      |
| MUESTRA                    |                     | D.23.                         |      |      |      |          |      |       |      |        |      |
| Replica                    |                     | 1                             |      | 2    |      | 3        |      | 4     |      | 5      |      |
| CARGA<br>(kg)              | DEFORMACION<br>(mm) | 0                             | 0.0  | 0    | 0.0  | 0        | 0.0  | 0     | 0.0  | 0      | 0.0  |
|                            |                     | 50                            | 0.1  | 50   | 0.2  | 50       | 1.0  | 400   | 3.8  | 250    | 2.0  |
|                            |                     | 100                           | 0.8  | 100  | 0.9  | 100      | 1.8  | 450   | 3.8  | 300    | 2.3  |
|                            |                     | 150                           | 1.3  | 150  | 1.6  | 150      | 2.4  | 500   | 4.0  | 350    | 2.7  |
|                            |                     | 200                           | 2.0  | 200  | 2.2  | 200      | 3.2  | 550   | 4.4  | 400    | 3.0  |
|                            |                     | 250                           | 2.4  | 250  | 3.1  | 250      | 3.9  | 600   | 5.0  | 450    | 3.6  |
|                            |                     | 300                           | 2.7  | 300  | 3.7  | 300      | 4.5  | 650   | 6.2  | 500    | 4.2  |
|                            |                     | 350                           | 3.0  | 350  | 4.4  | 350      | 5.2  | 700   | 7.0  | 550    | 4.7  |
|                            |                     | 400                           | 3.4  | 400  | 5.1  | 400      | 5.9  | 750   | 9.3  | 600    | 4.9  |
|                            |                     | 450                           | 3.9  | 450  | 5.9  | 450      | 6.4  | 800   | 11.2 | 650    | 5.3  |
|                            |                     | 500                           | 4.5  | 500  | 6.6  | 500      | 7.0  | 850   | 12.5 | 700    | 6.0  |
|                            |                     | 550                           | 5.2  | 550  | 7.6  | 550      | 7.3  | 900   | 14.2 | 750    | 6.8  |
|                            |                     | 600                           | 6.1  | 600  | 8.5  | 600      | 8.2  | 950   | 14.7 | 800    | 8.0  |
|                            |                     | 650                           | 7.0  | 650  | 9.3  | 650      | 9.7  | 1000  |      | 850    | 9.5  |
|                            |                     | 700                           | 8.5  | 700  | 10.2 | 700      | 11.1 | 1050  |      | 900    | 10.1 |
|                            |                     | 750                           | 10.3 | 750  | 11.2 | 750      | 12.9 | 1100  |      | 950    | 11.5 |
|                            |                     | 800                           | 11.8 | 800  | 12.0 | 800      | 15.0 | 1150  |      | 980    | 12.6 |
|                            |                     | 850                           | 13.6 | 850  | 13.0 | 850      | 16.2 | 1200  |      | 1050   |      |
|                            |                     | 900                           | 15.9 | 900  | 14.1 | 900      |      | 1250  |      | 1100   |      |
|                            |                     | 950                           |      | 950  | 14.9 | 950      |      | 1300  |      | 1150   |      |
| 1000                       |                     | 1000                          | 16.7 | 1000 |      | 1350     |      | 1200  |      |        |      |
| 1050                       |                     | 1020                          | 18.4 | 1050 |      | 1400     |      | 1250  |      |        |      |
| 1100                       |                     | 1050                          |      | 1100 |      | 1450     |      | 1300  |      |        |      |
| 1100                       |                     | 1100                          |      | 1150 |      | 1500     |      | 1350  |      |        |      |
| TIEMPO (min)               |                     | 5.1                           |      | 4.2  |      | 7.25     |      | 4.2   |      | 4.45   |      |
| VELOCIDAD (mm/min)         |                     | 2                             |      | 2    |      | 2        |      | 2     |      | 2      |      |
| LIMITE PROPORCIONAL (kg)   |                     | 480                           |      | 500  |      | 435      |      | 455   |      | 445    |      |
| DEFORMACION EN EL LP. (mm) |                     | 4.3                           |      | 6.6  |      | 6.3      |      | 3.8   |      | 3.4    |      |

# ANEXO B

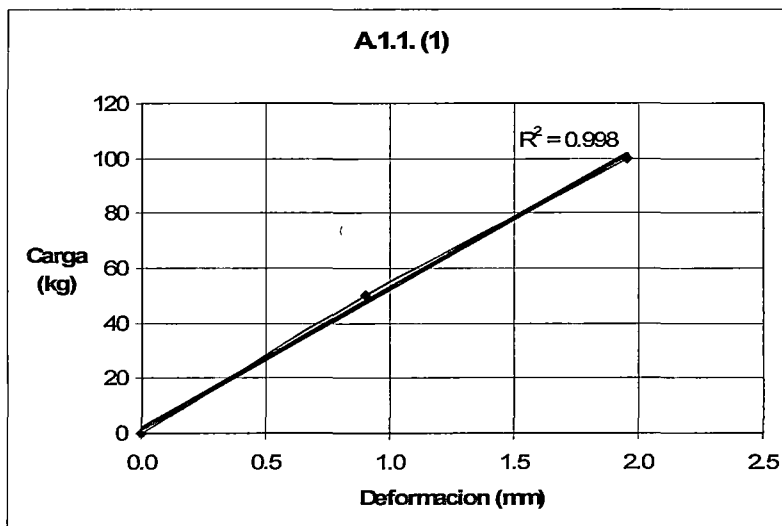
## GRÁFICOS DE ENSAYO DE CIZALLAMIENTO

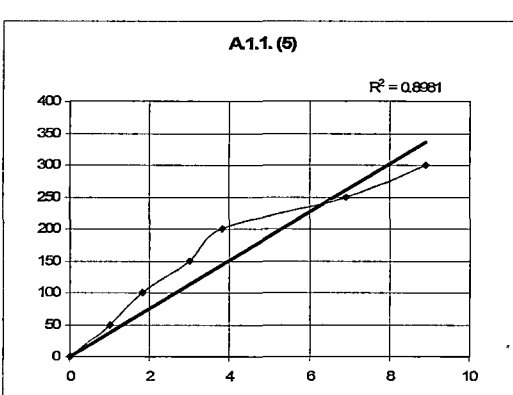
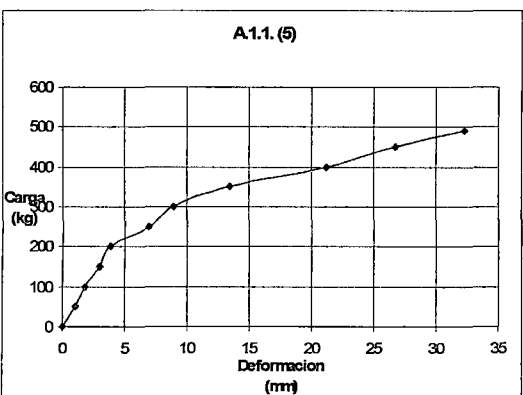
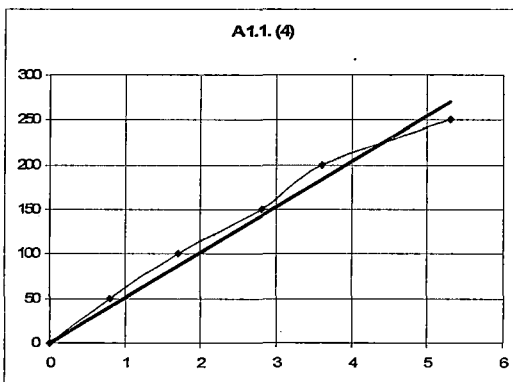
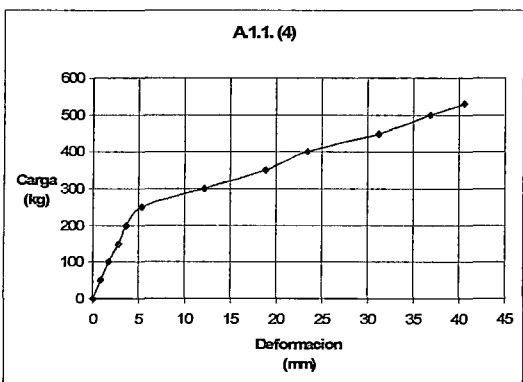
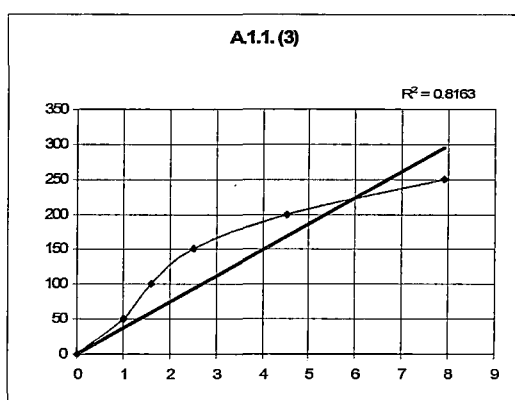
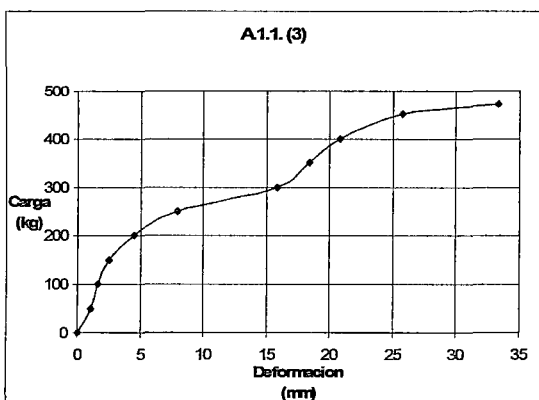
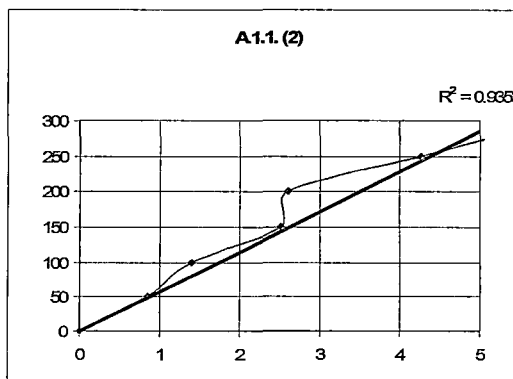
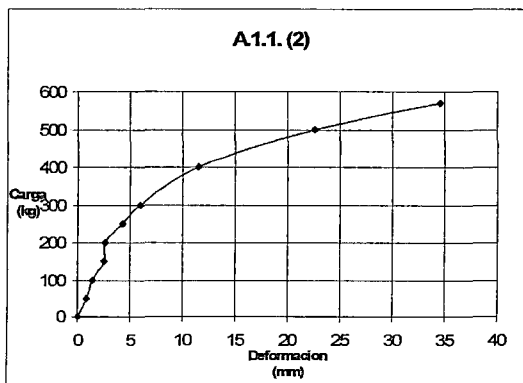
### CALCULO DEL LÍMITE PROPORCIONAL

#### COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA

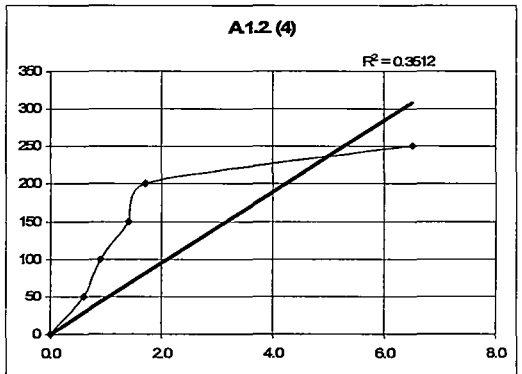
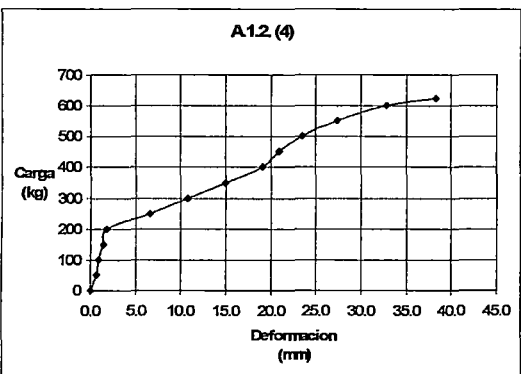
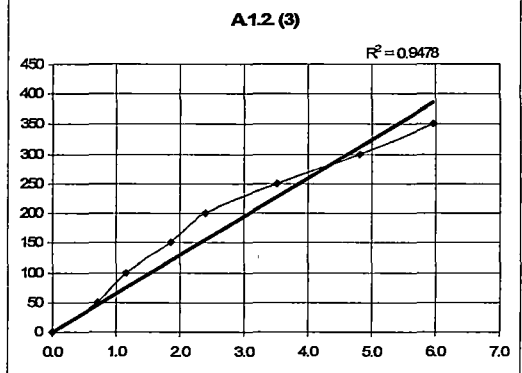
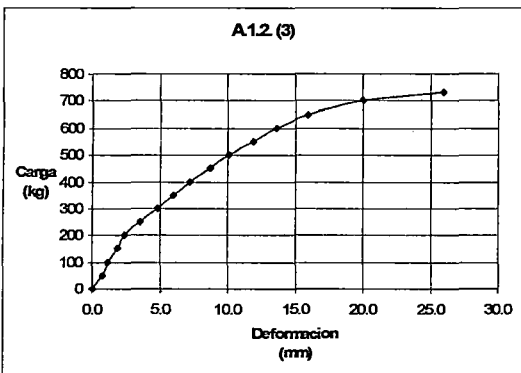
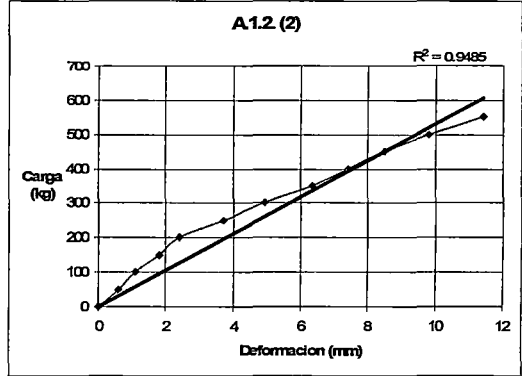
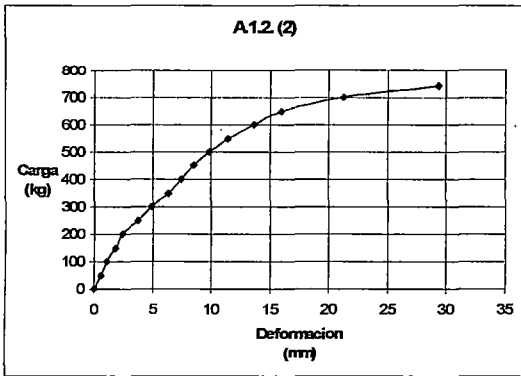
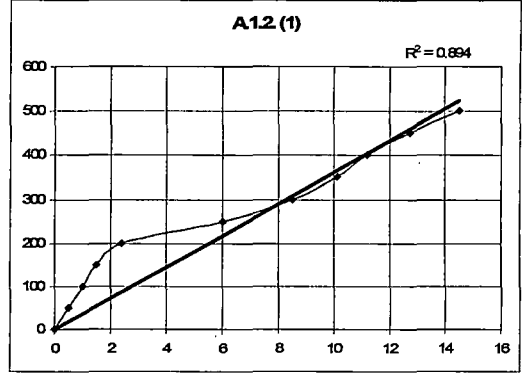
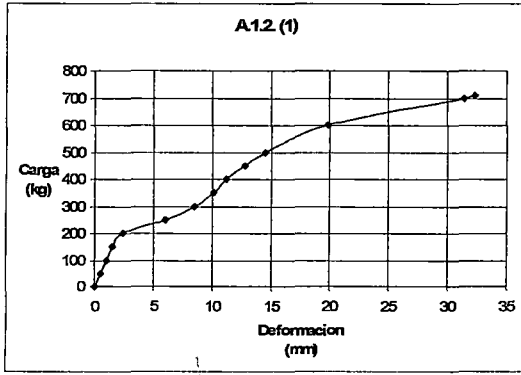


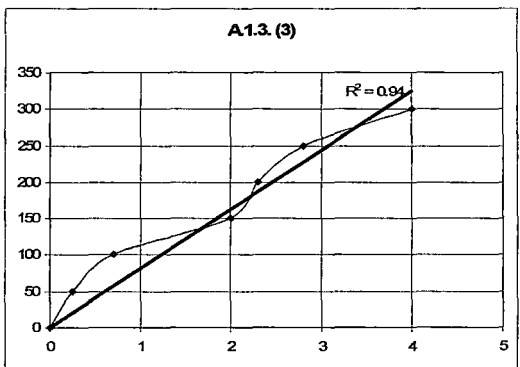
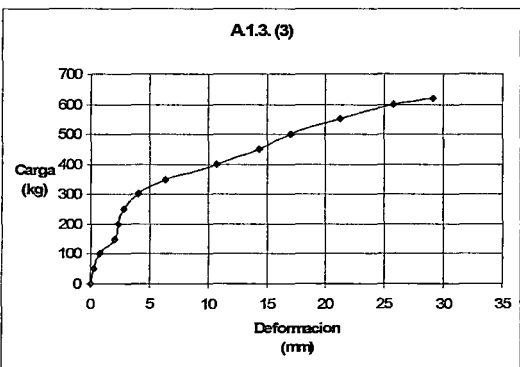
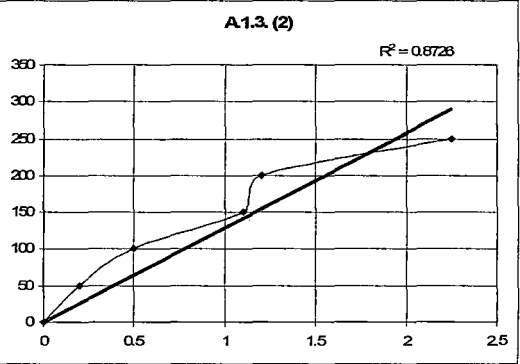
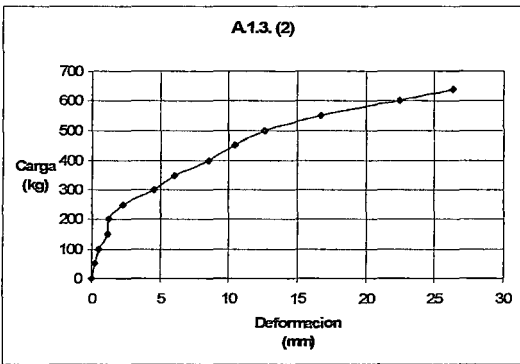
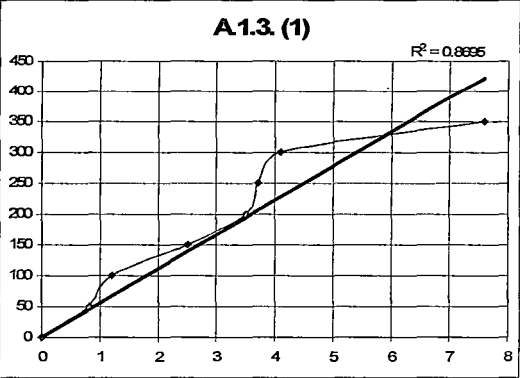
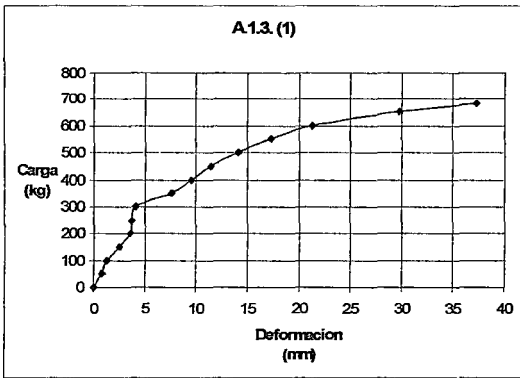
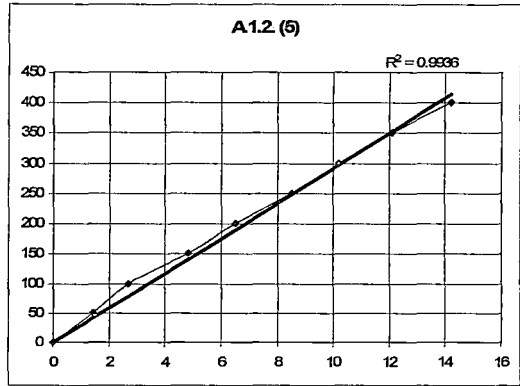
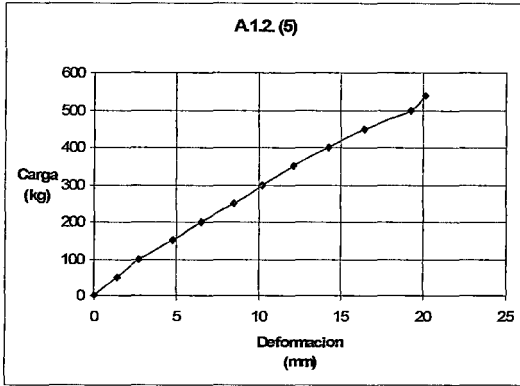
#### CURVA DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL

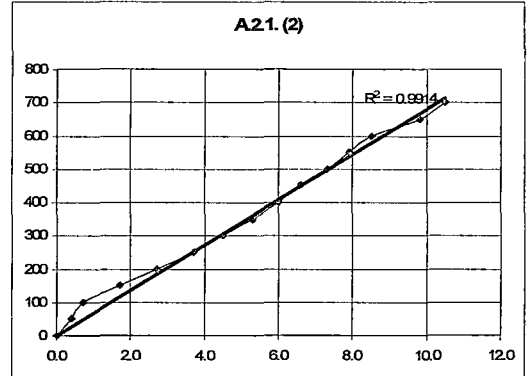
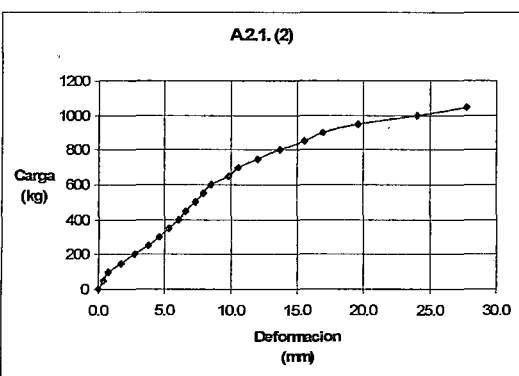
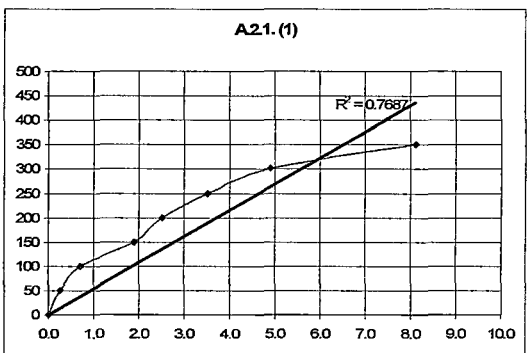
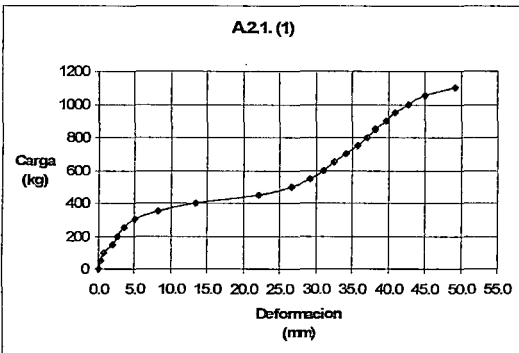
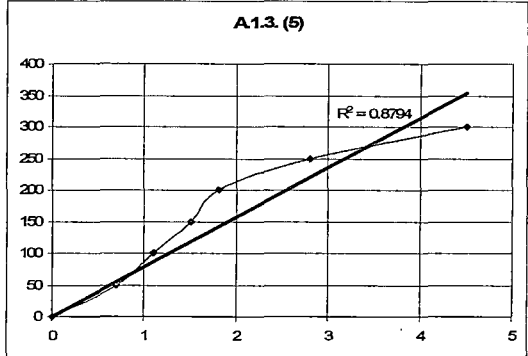
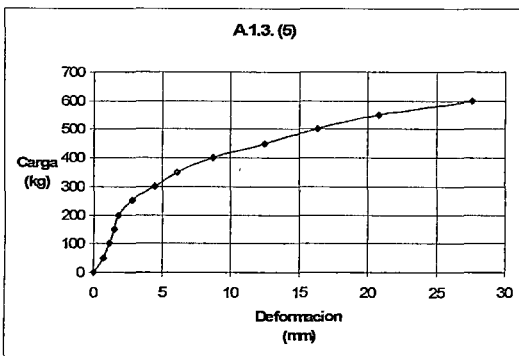
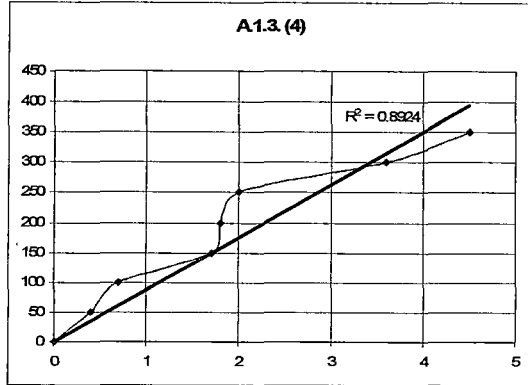
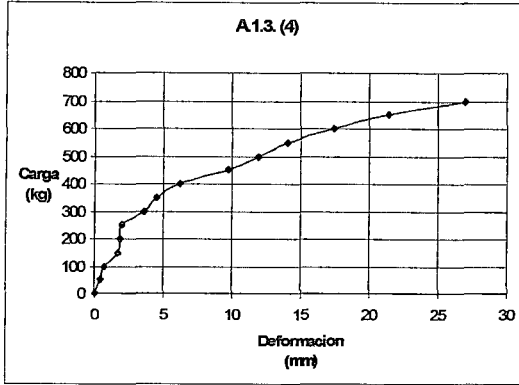


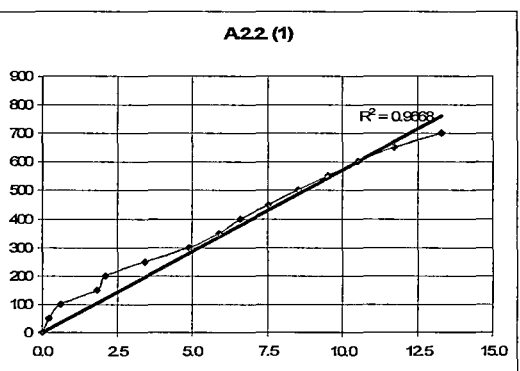
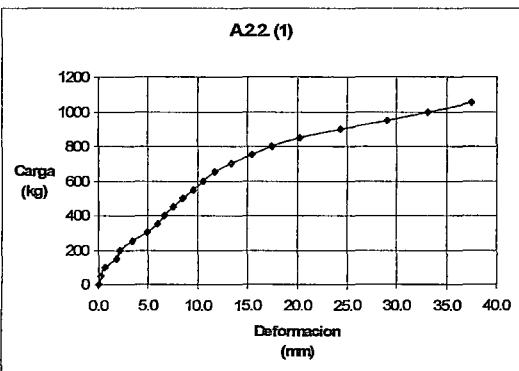
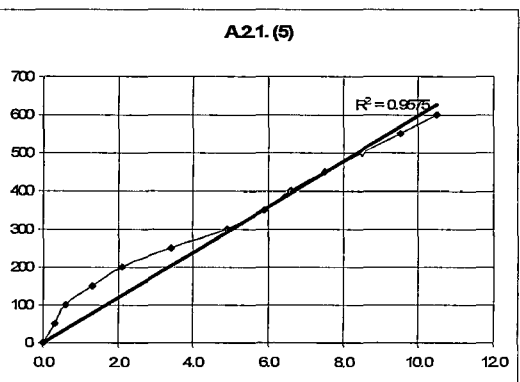
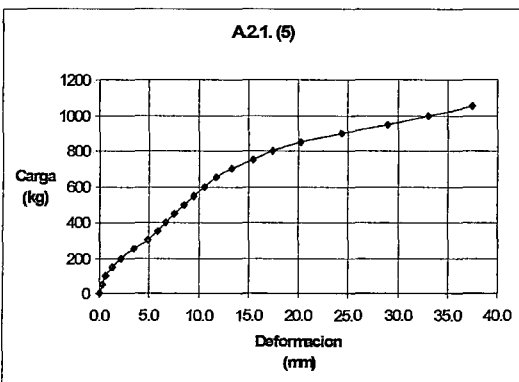
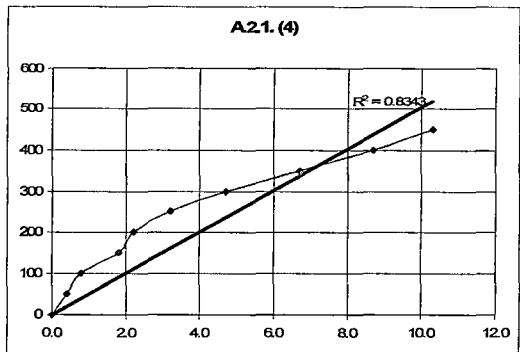
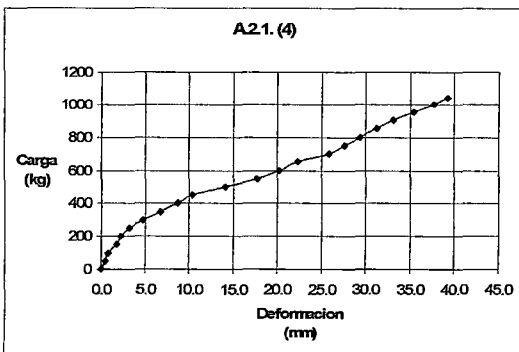
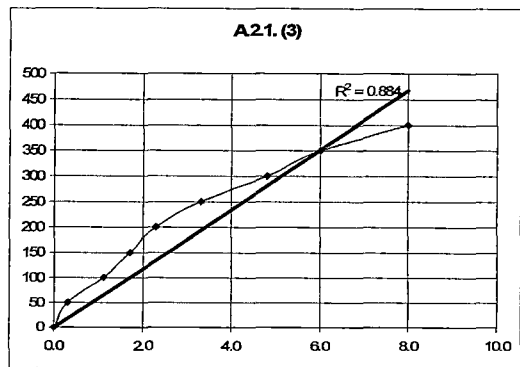
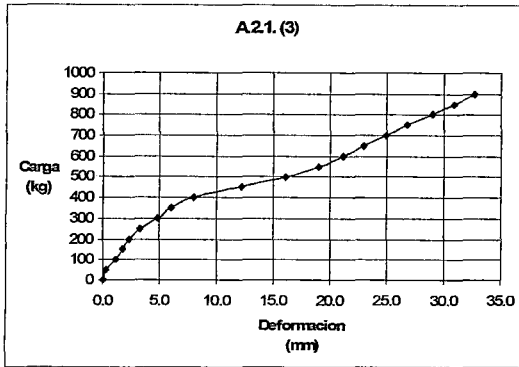


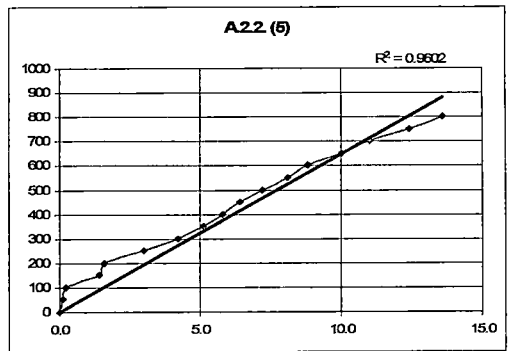
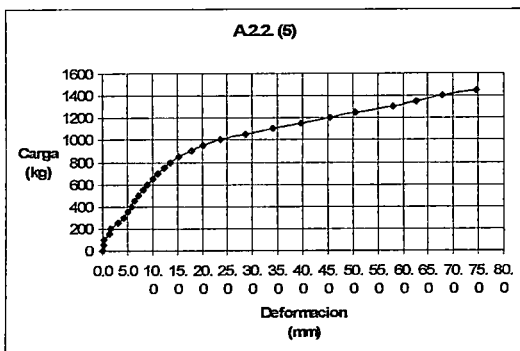
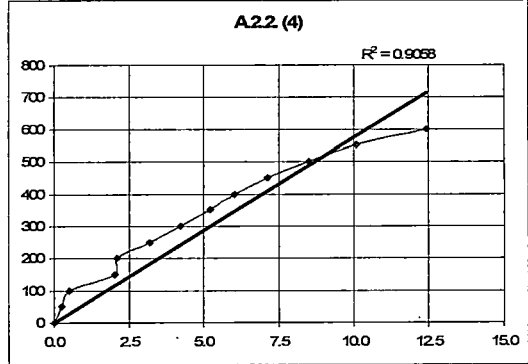
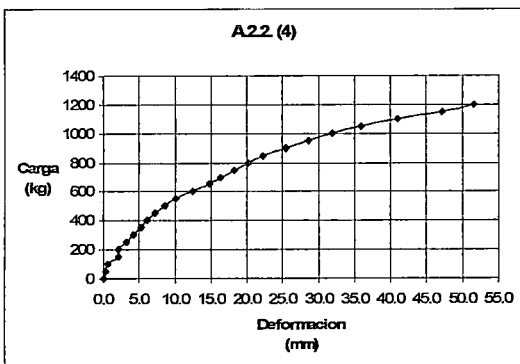
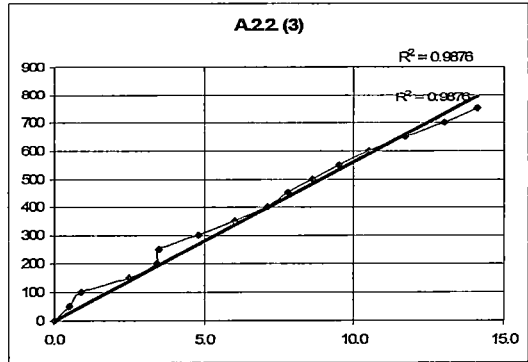
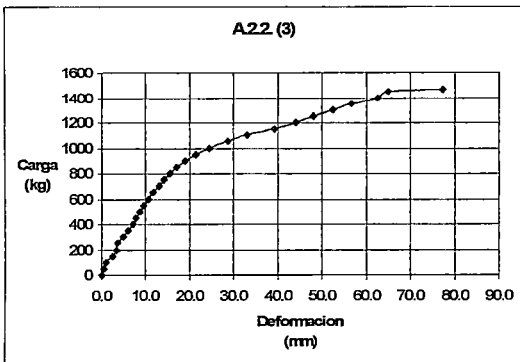
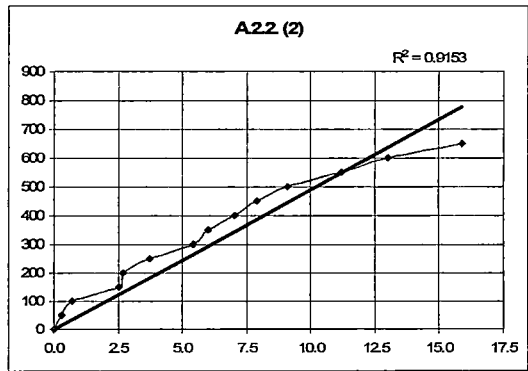
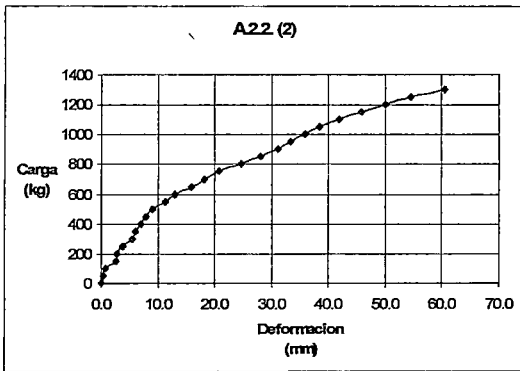


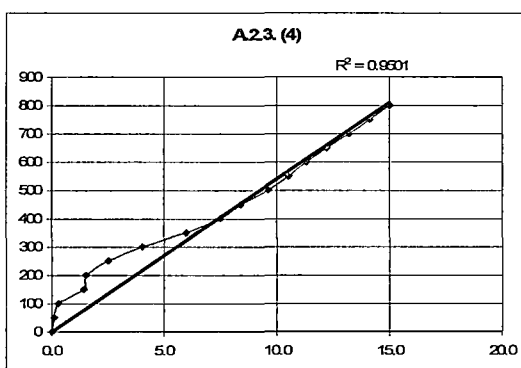
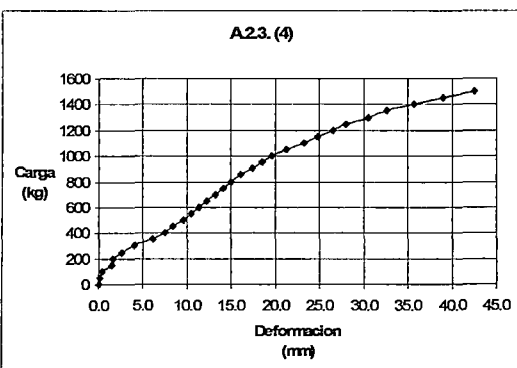
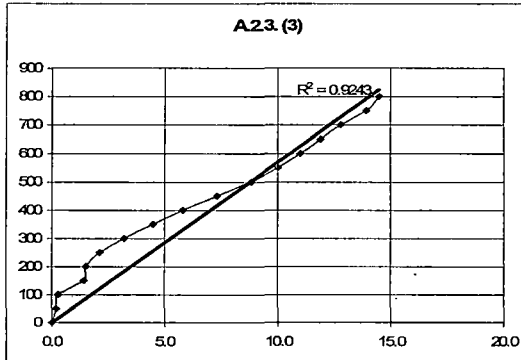
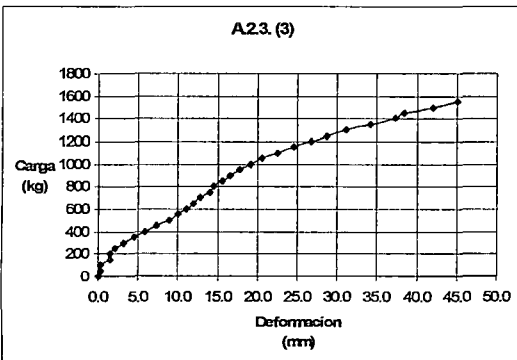
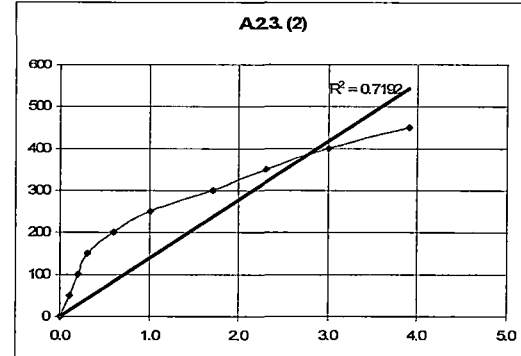
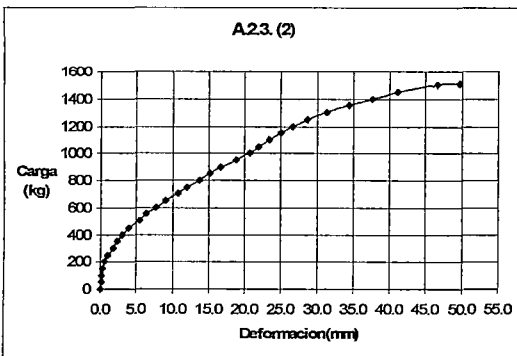
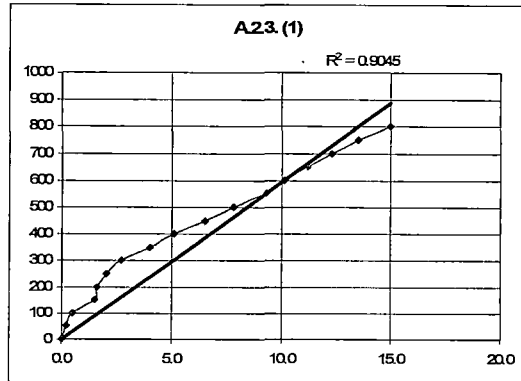
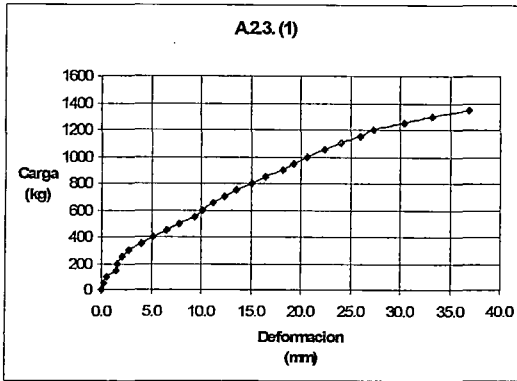


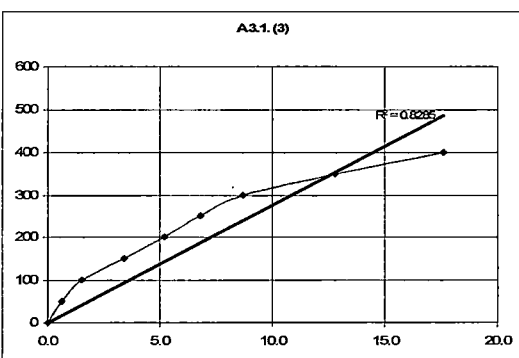
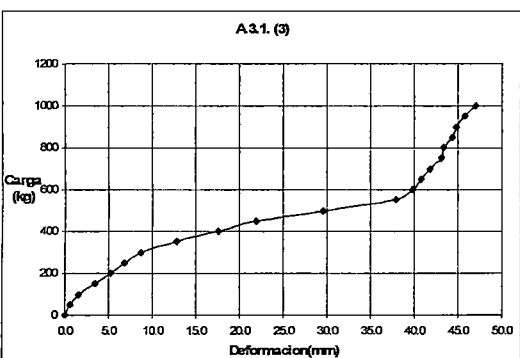
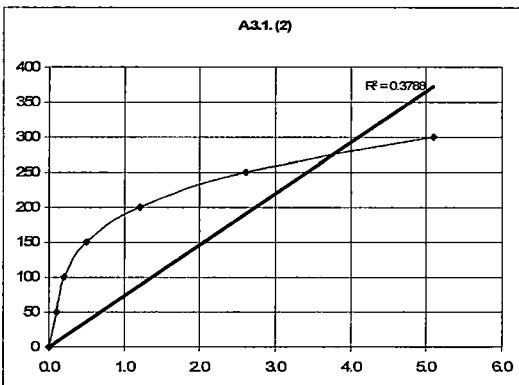
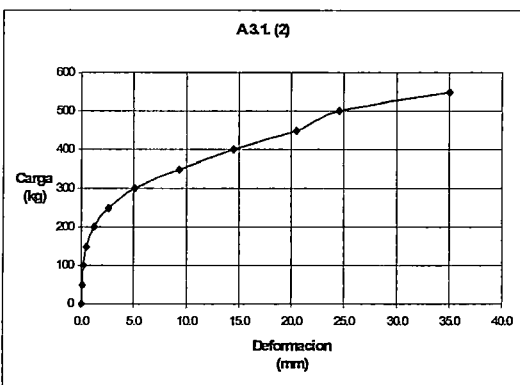
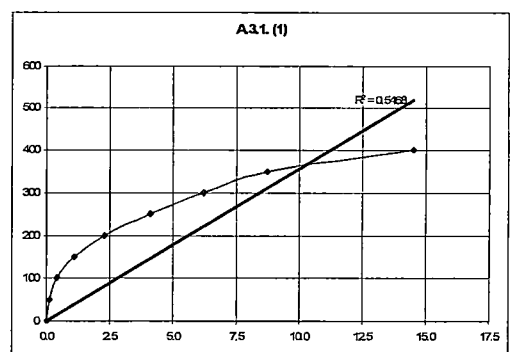
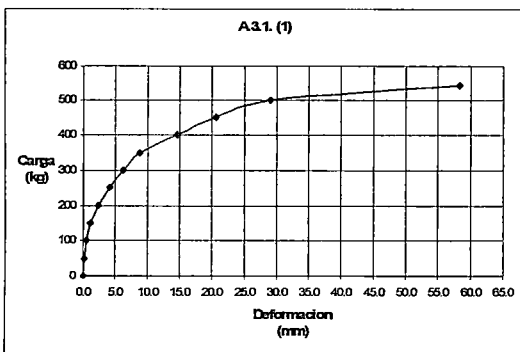
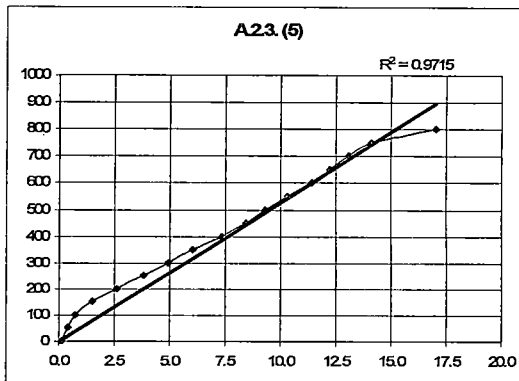
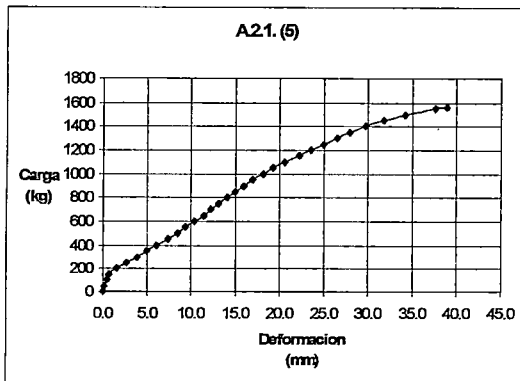


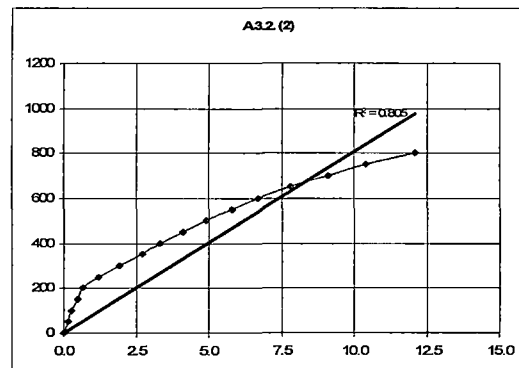
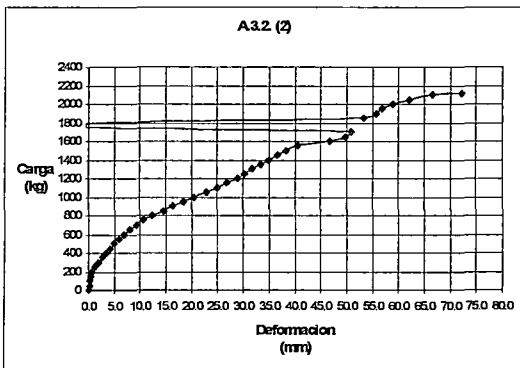
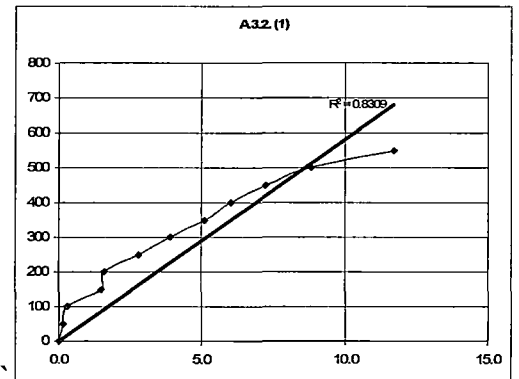
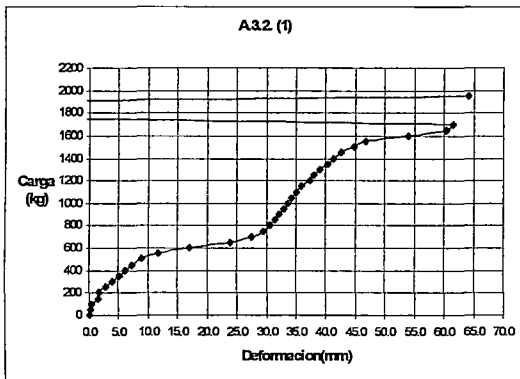
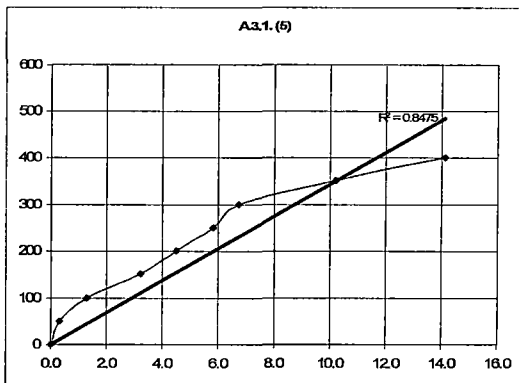
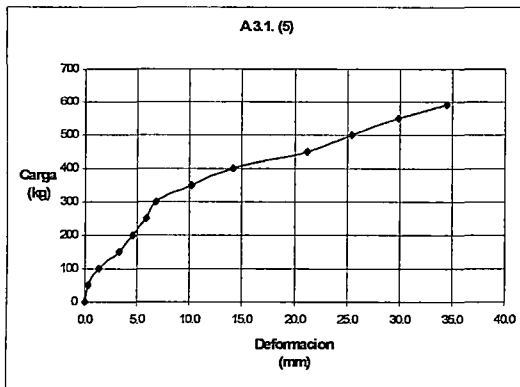
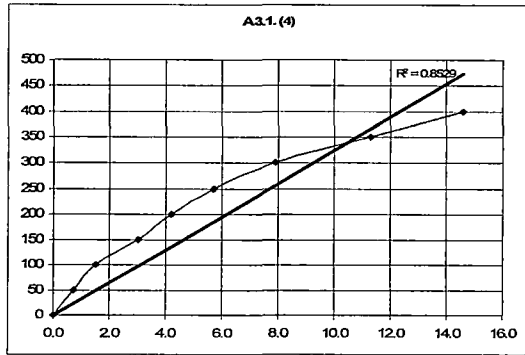
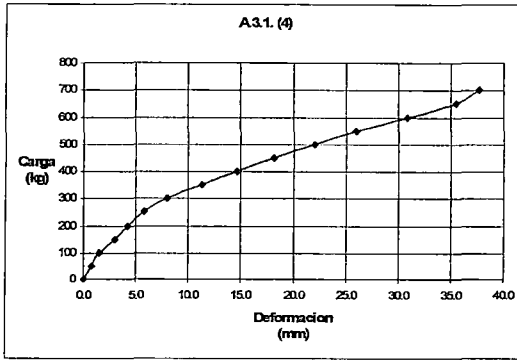




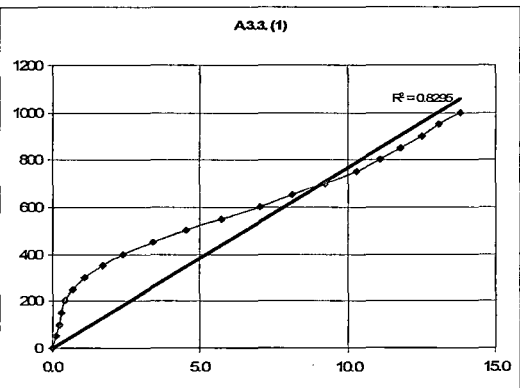
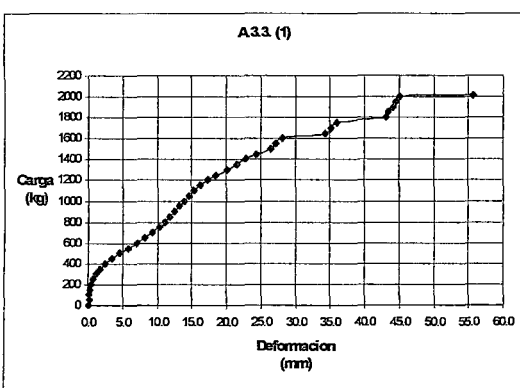
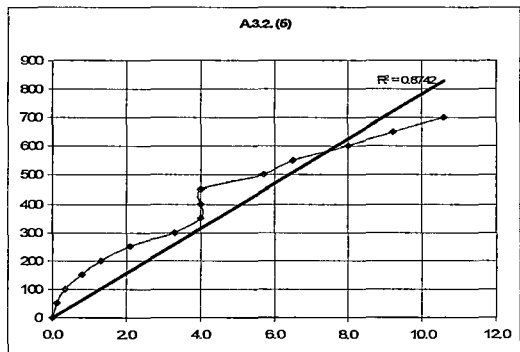
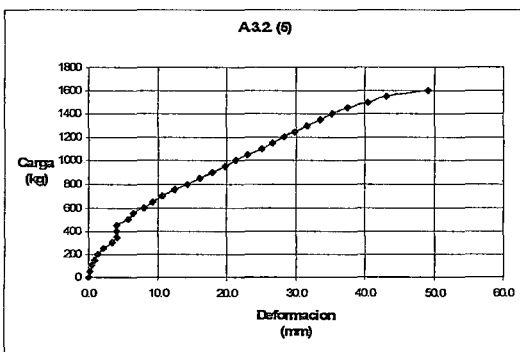
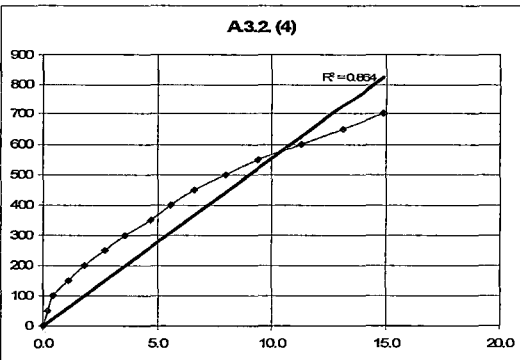
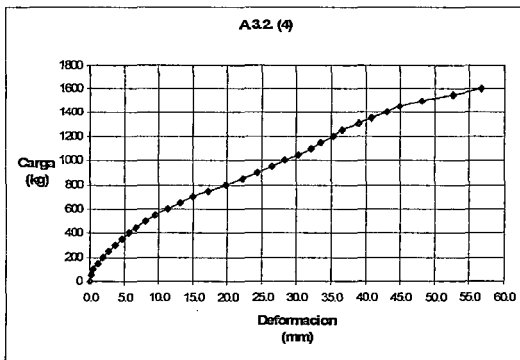
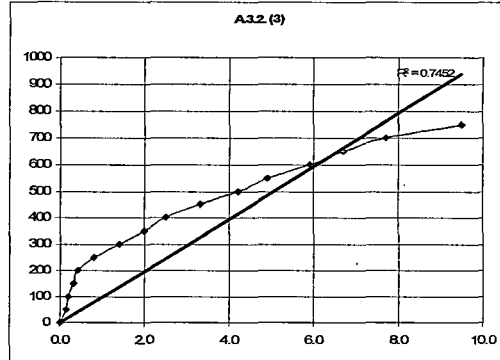
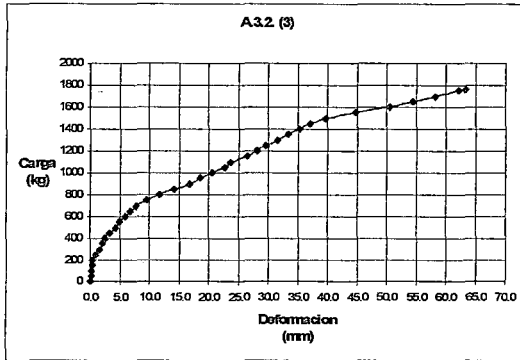


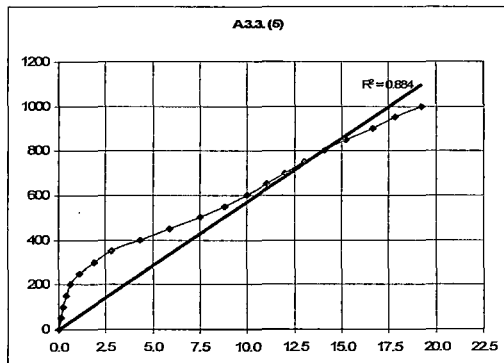
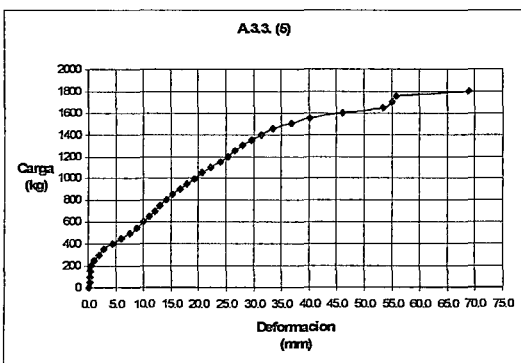
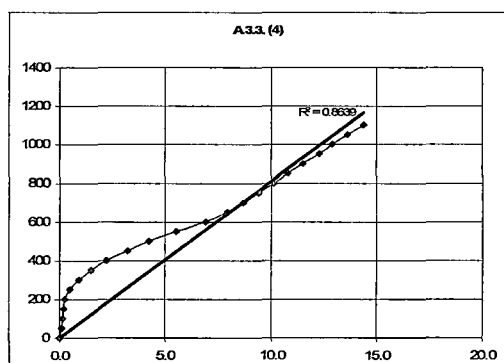
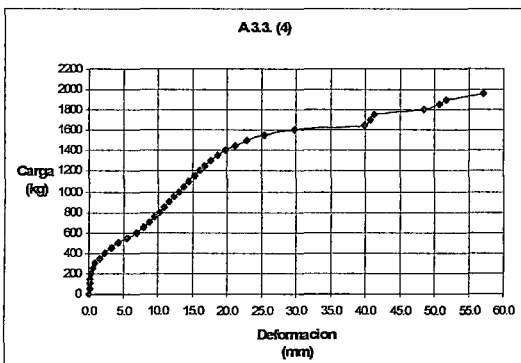
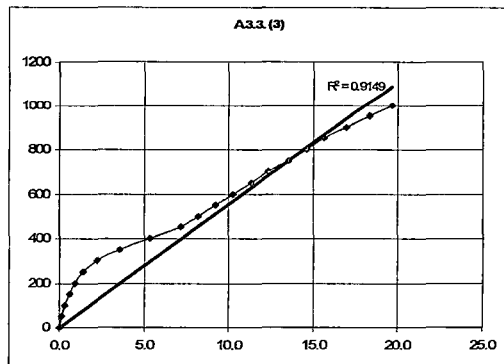
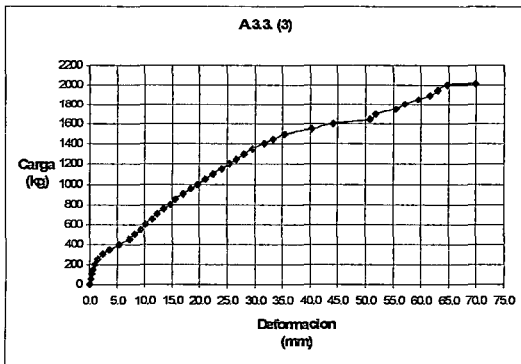
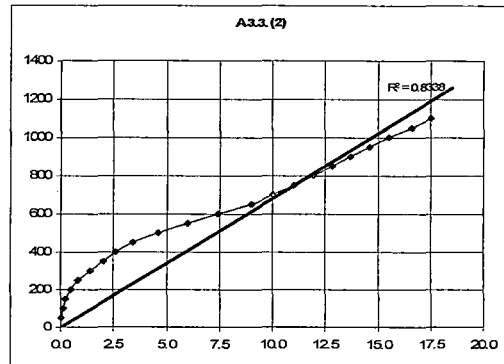
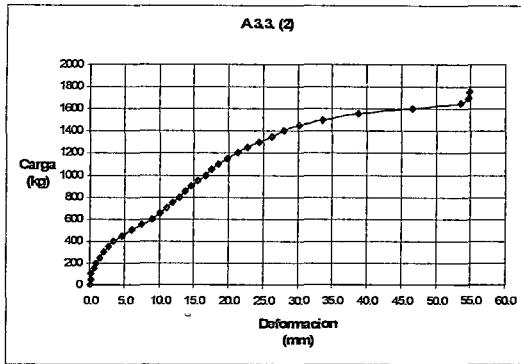


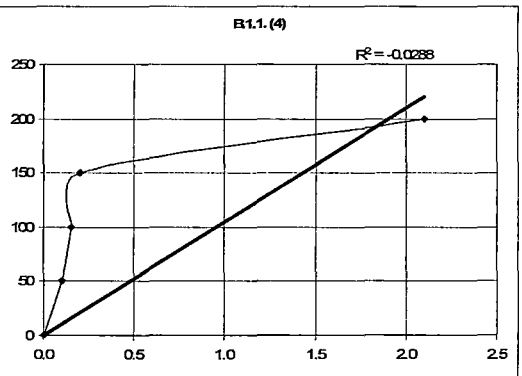
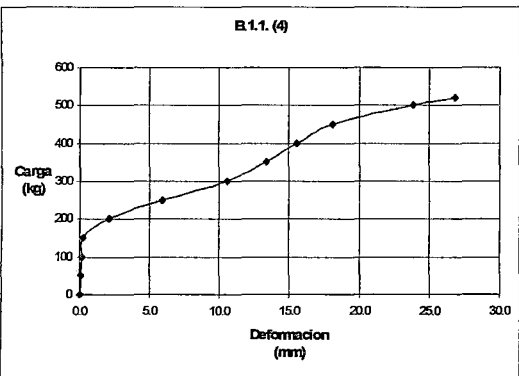
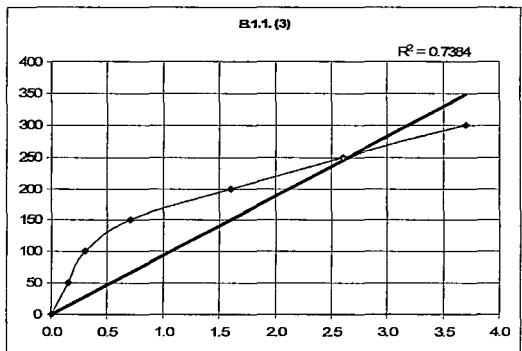
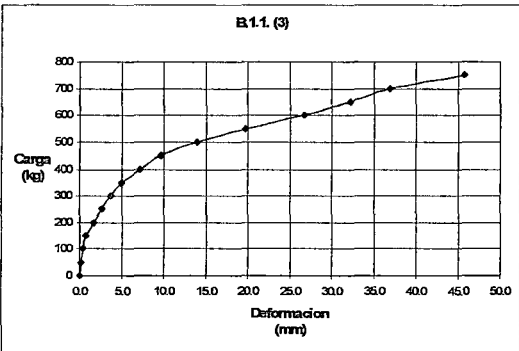
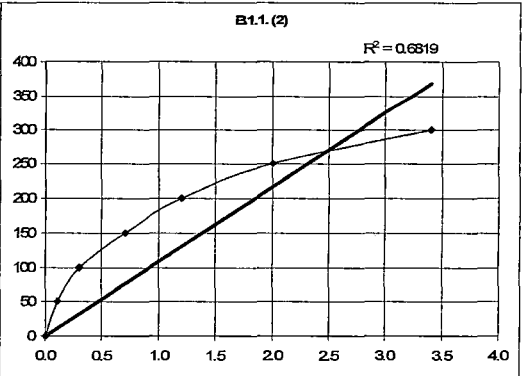
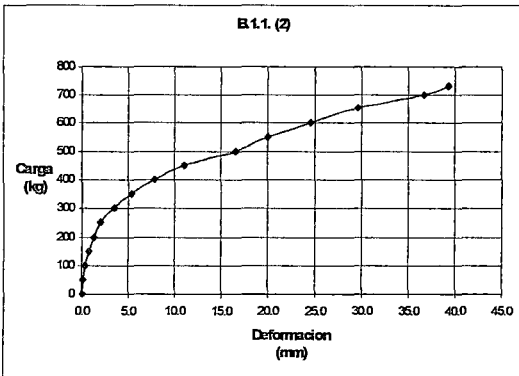
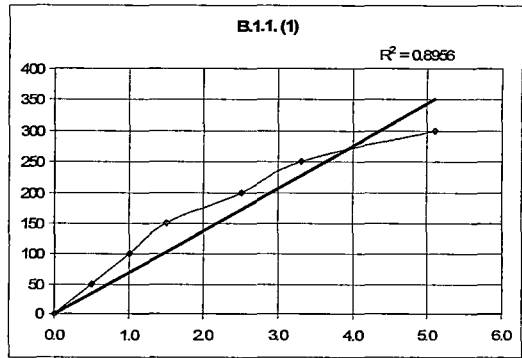
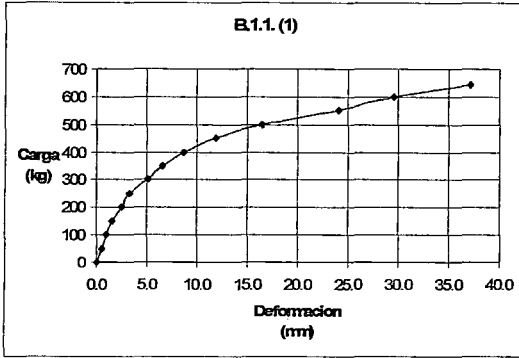


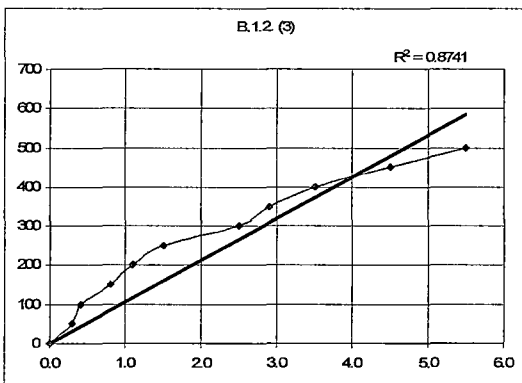
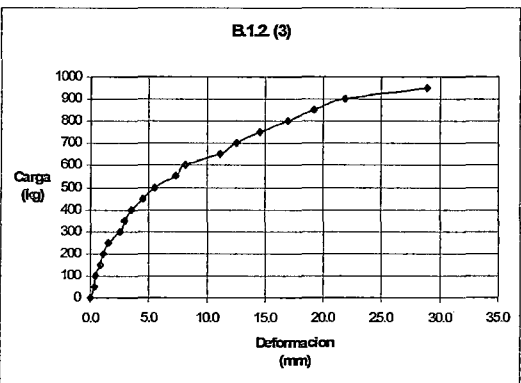
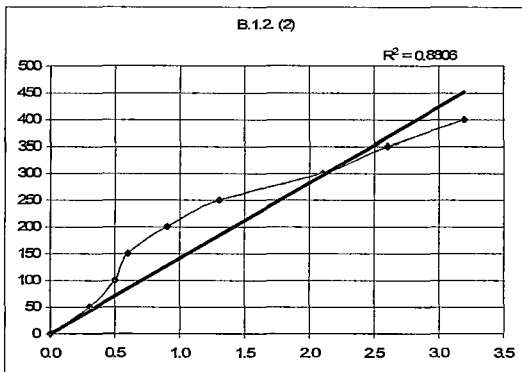
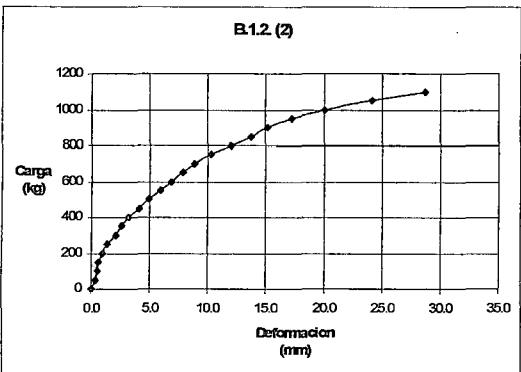
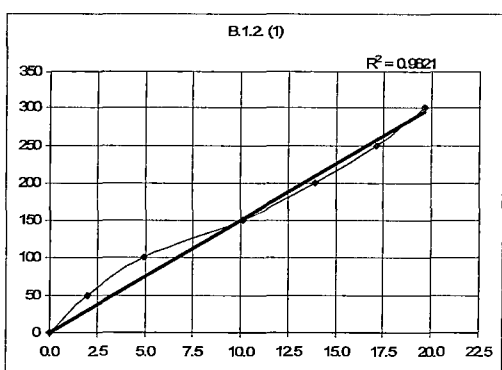
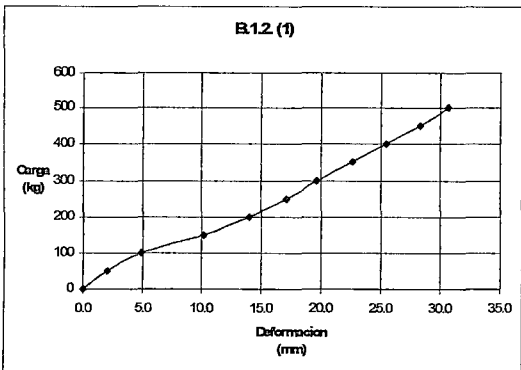
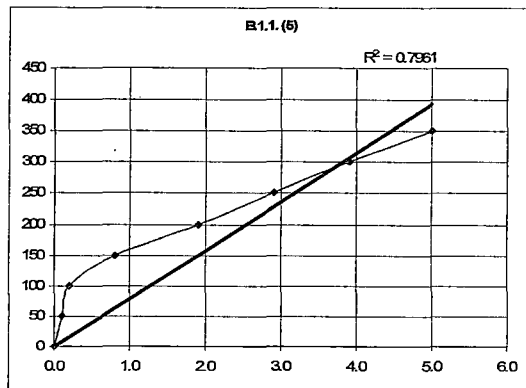
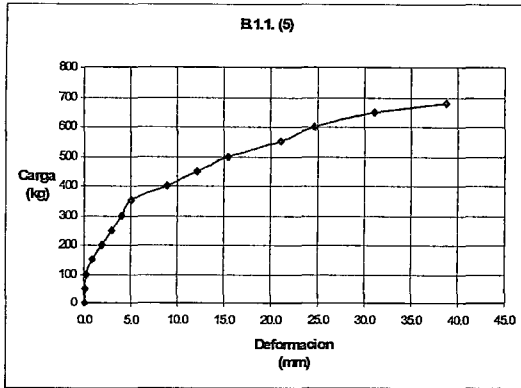


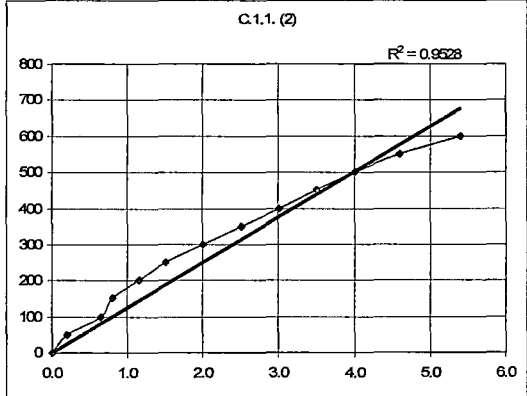
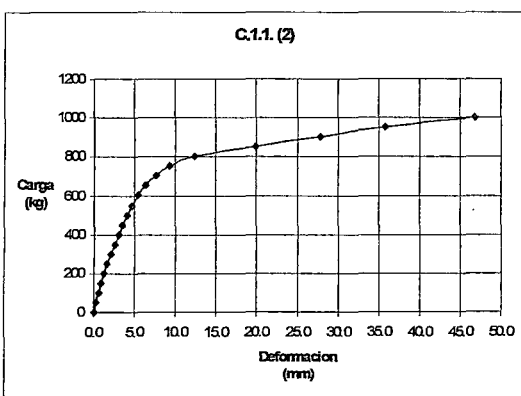
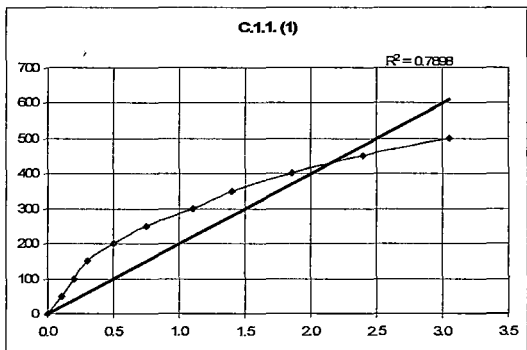
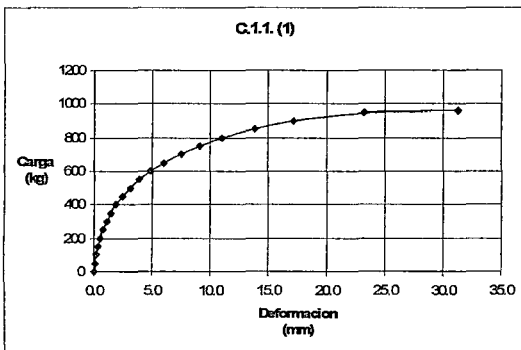
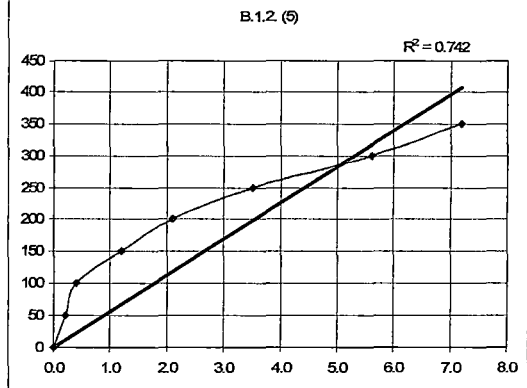
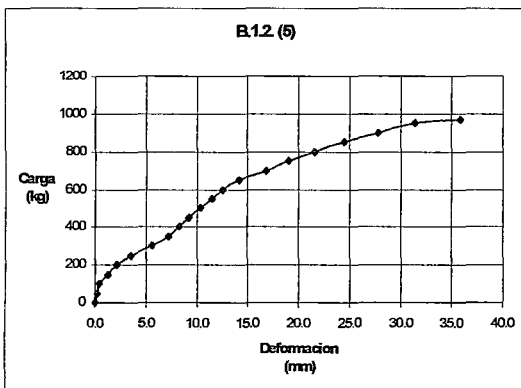
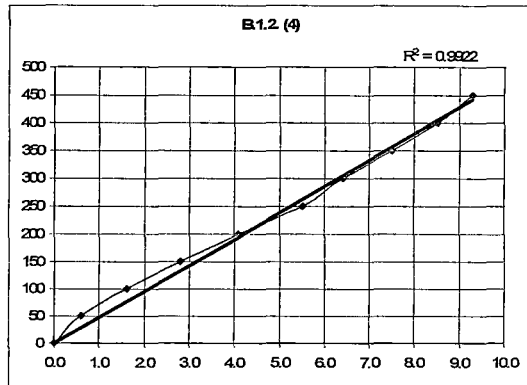
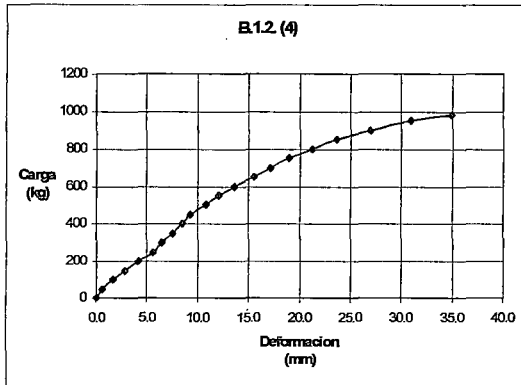


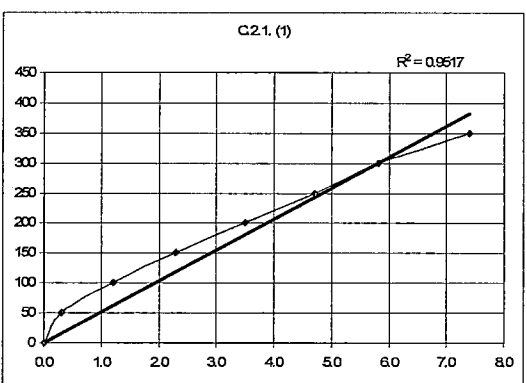
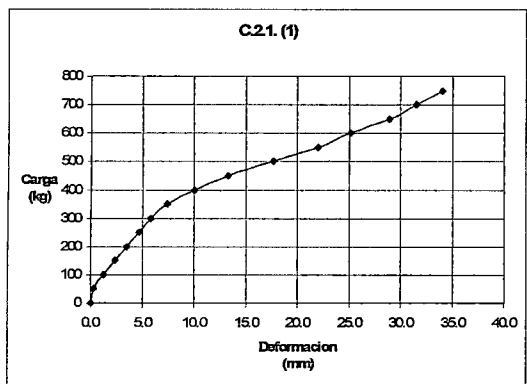
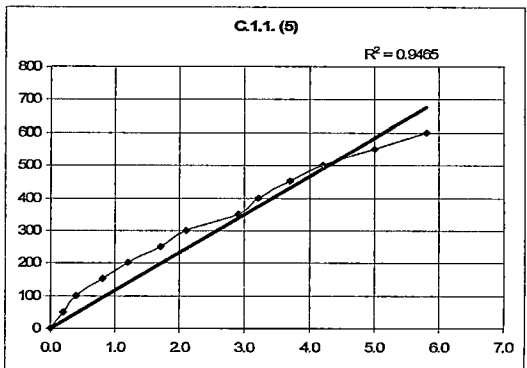
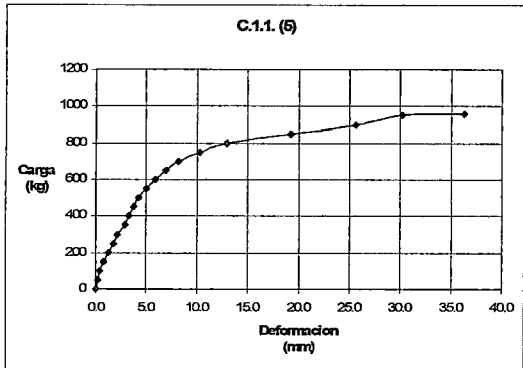
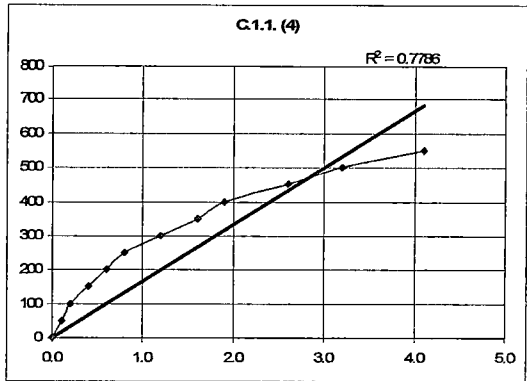
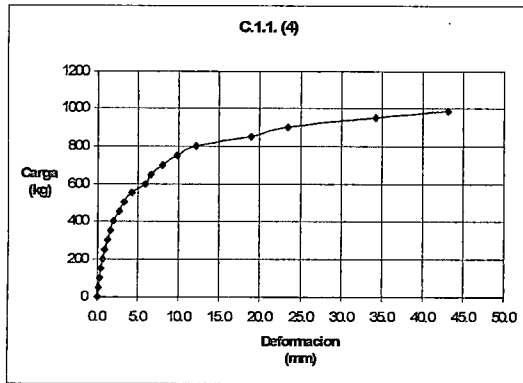
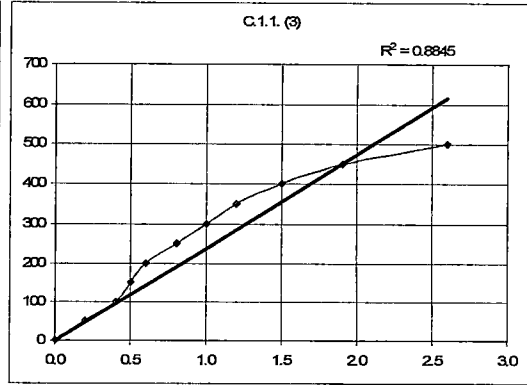
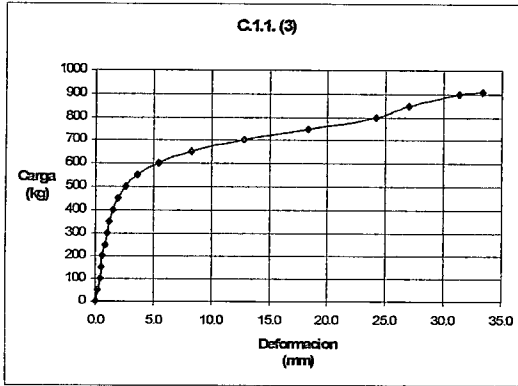


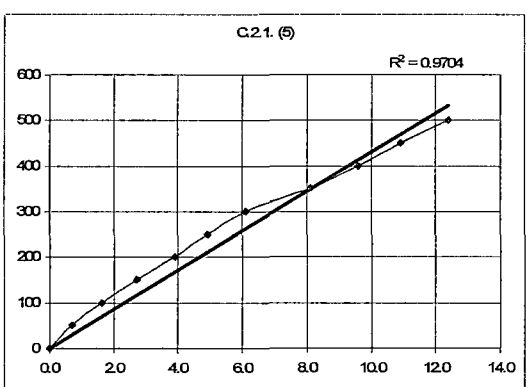
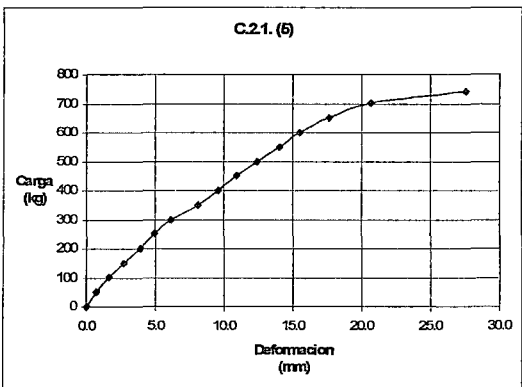
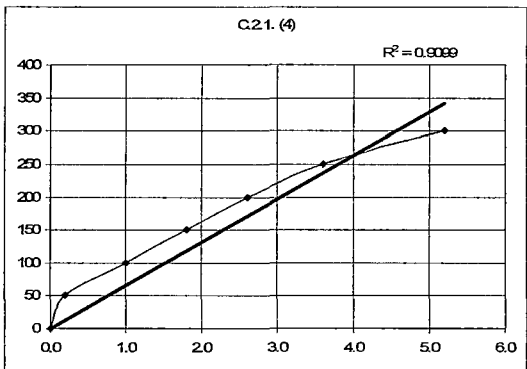
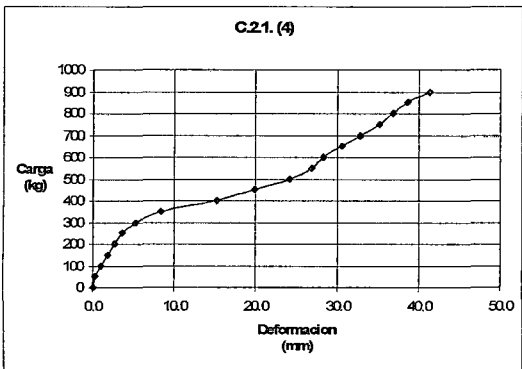
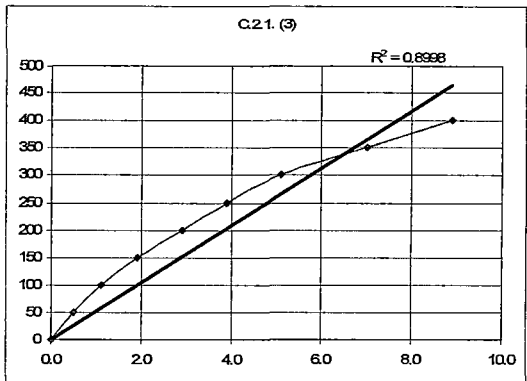
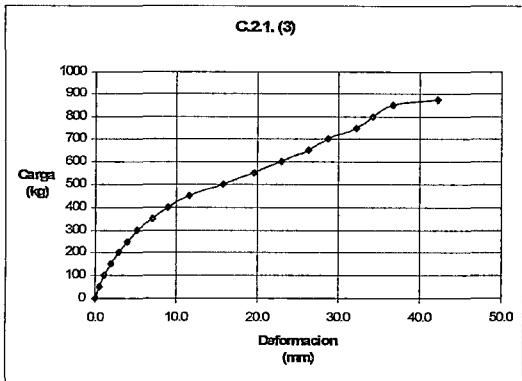
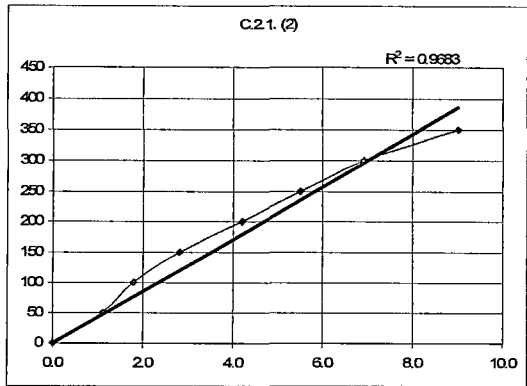
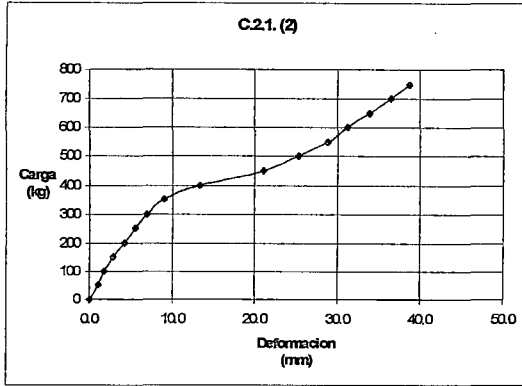


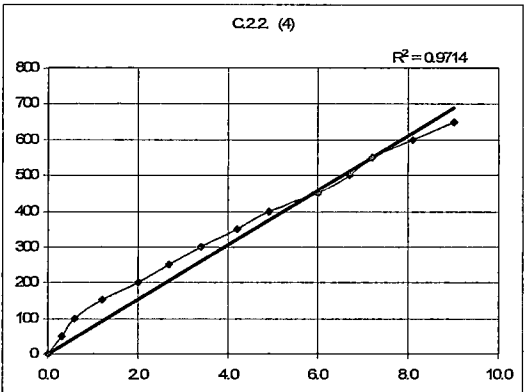
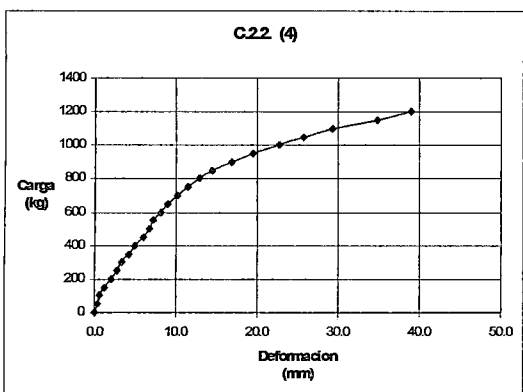
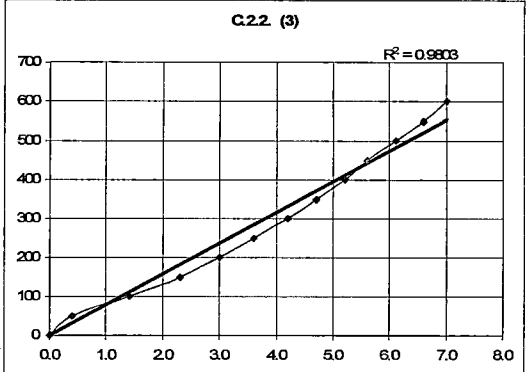
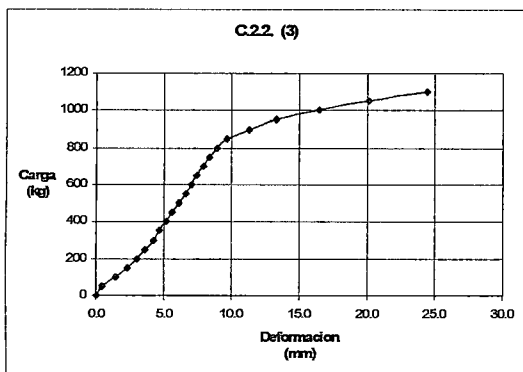
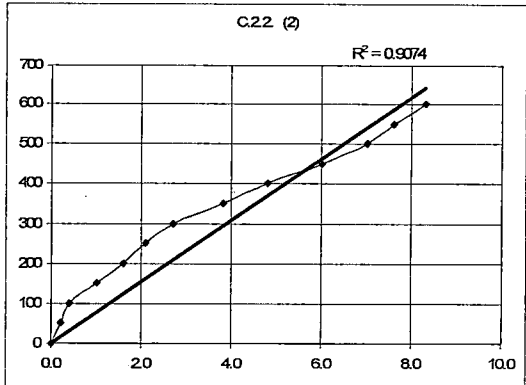
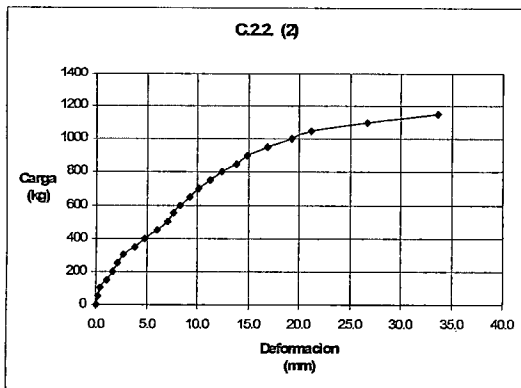
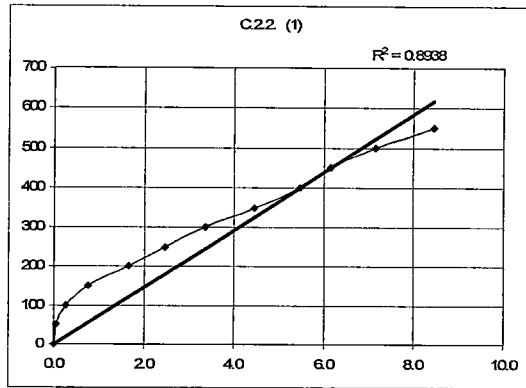
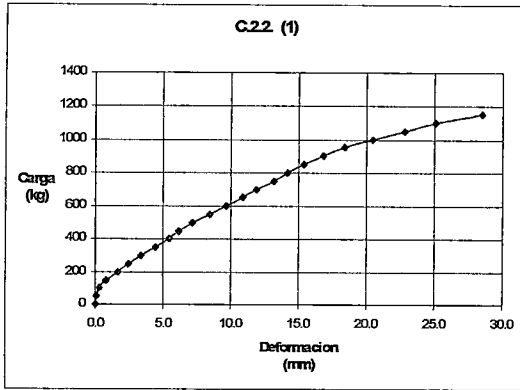




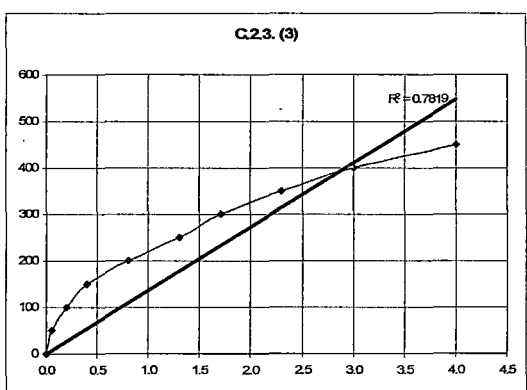
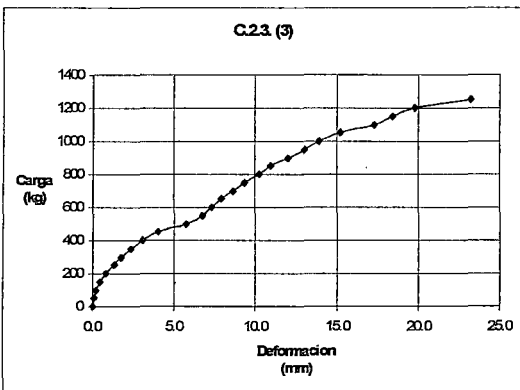
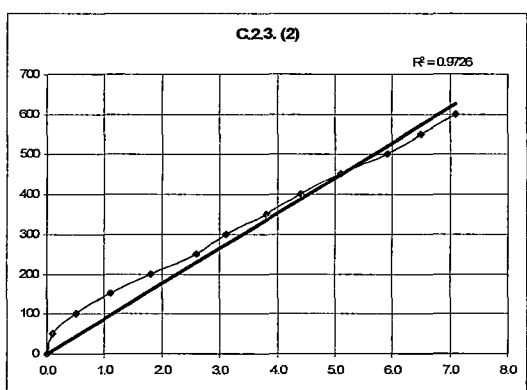
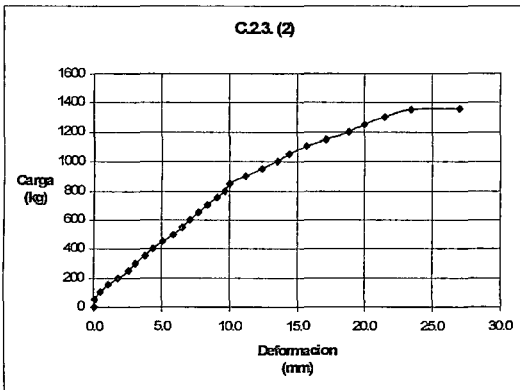
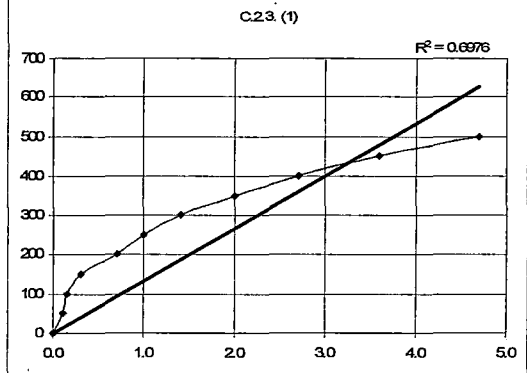
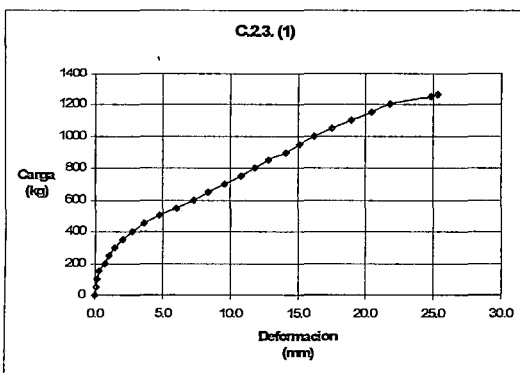
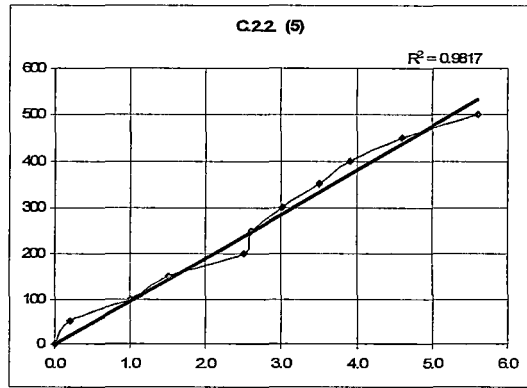
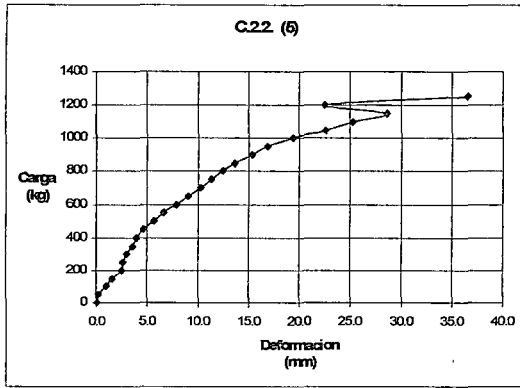


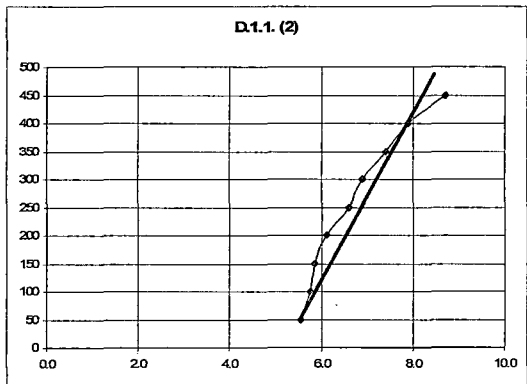
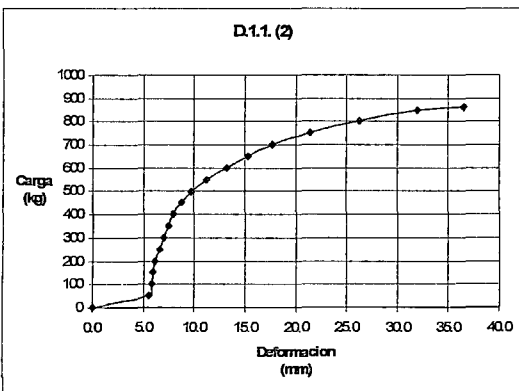
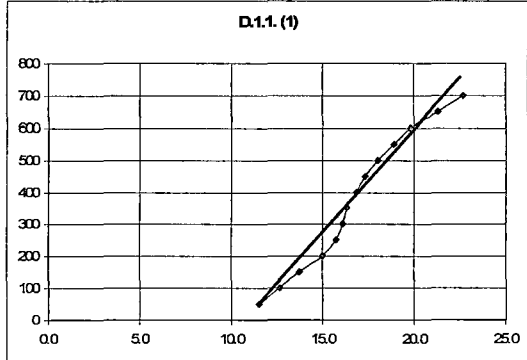
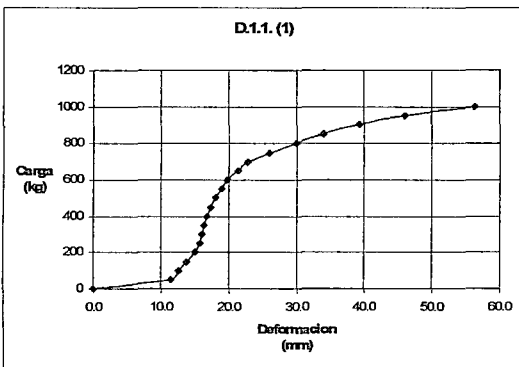
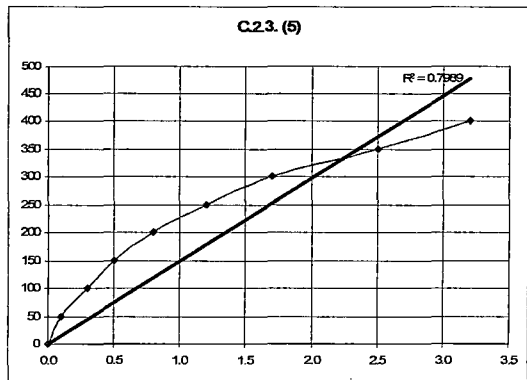
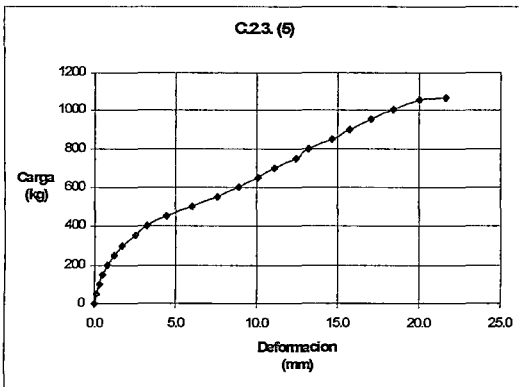
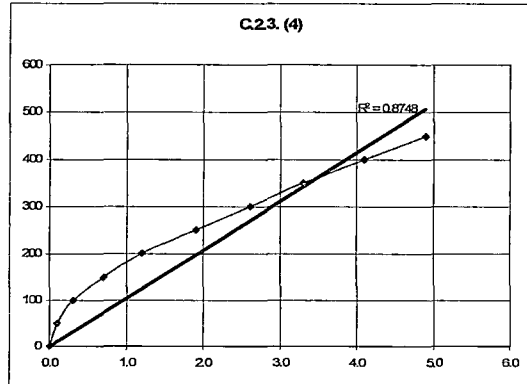
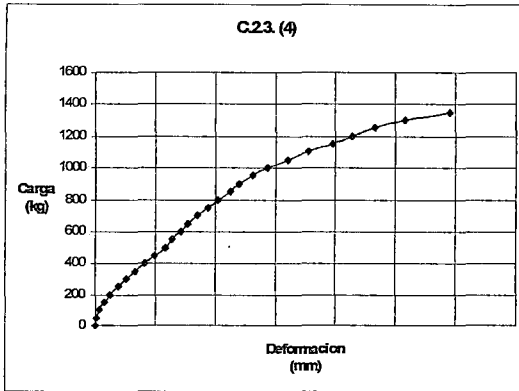


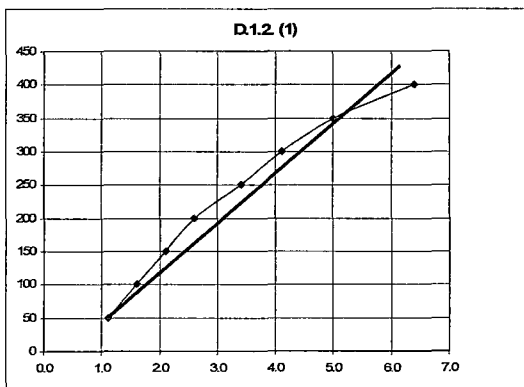
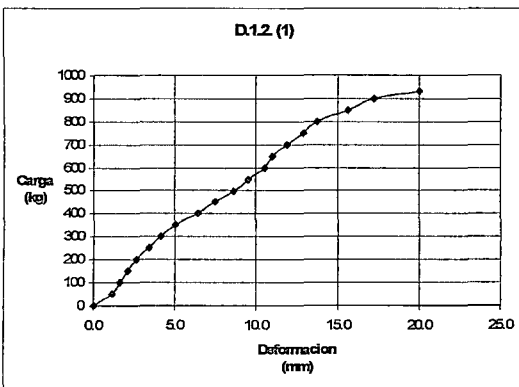
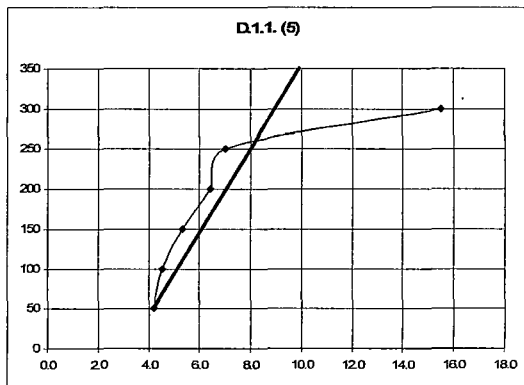
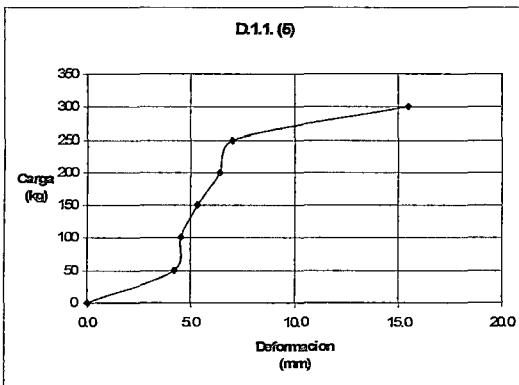
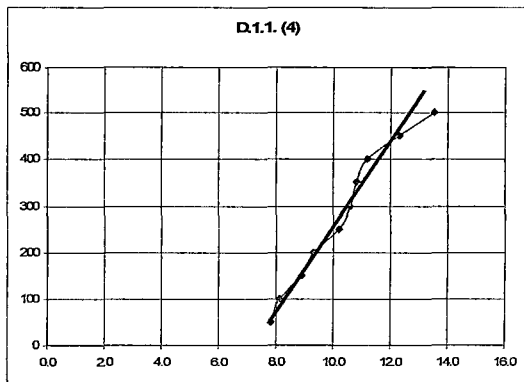
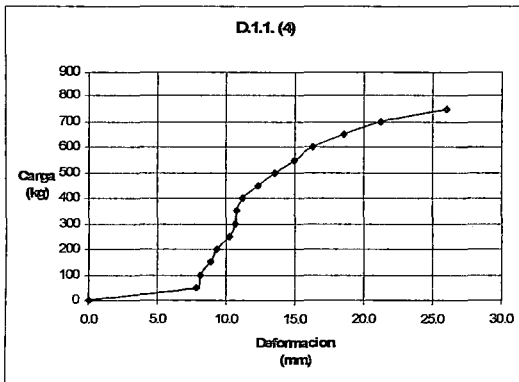
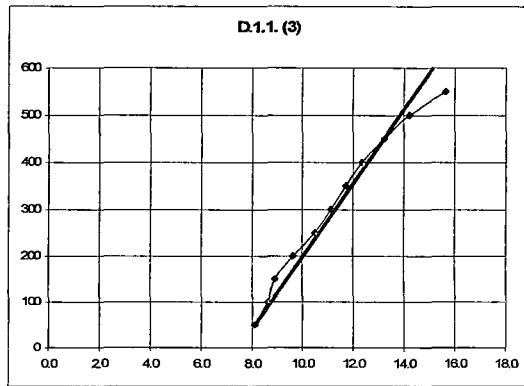
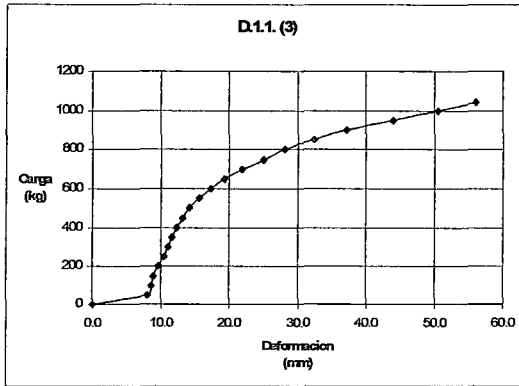


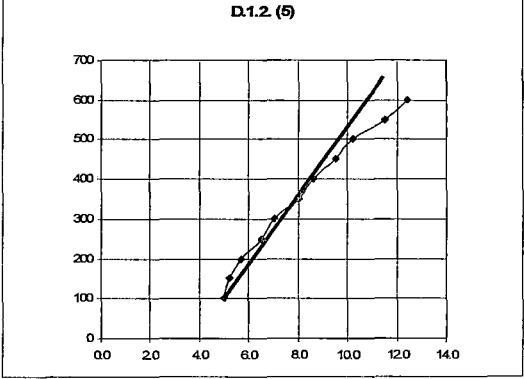
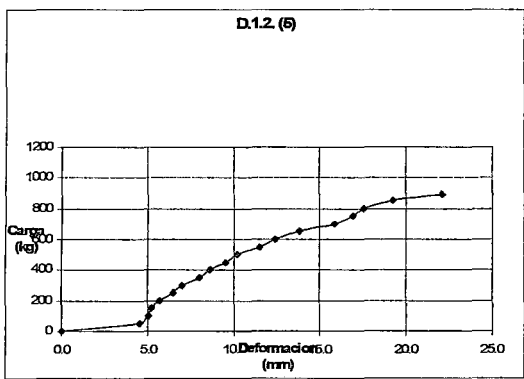
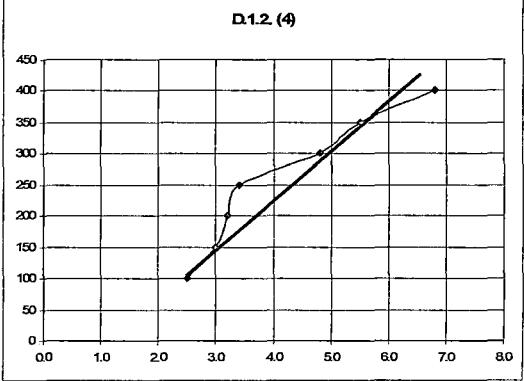
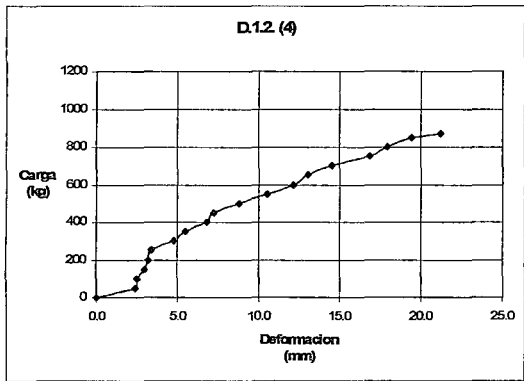
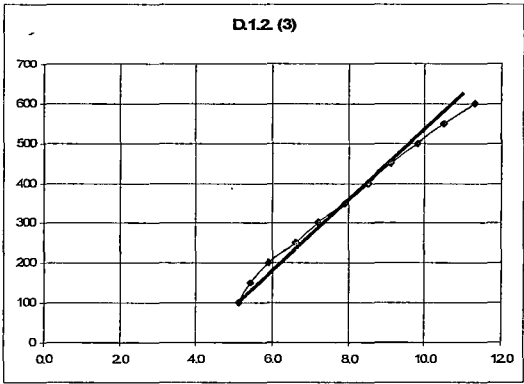
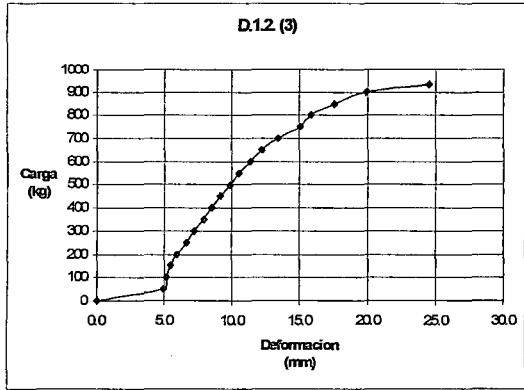
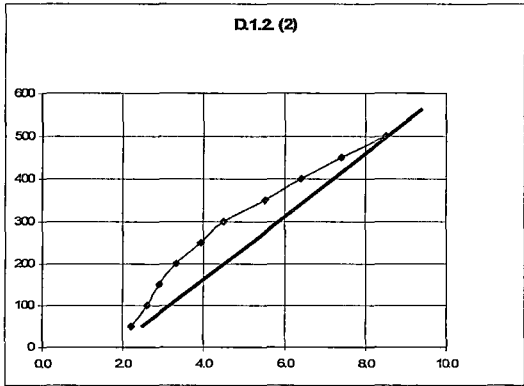
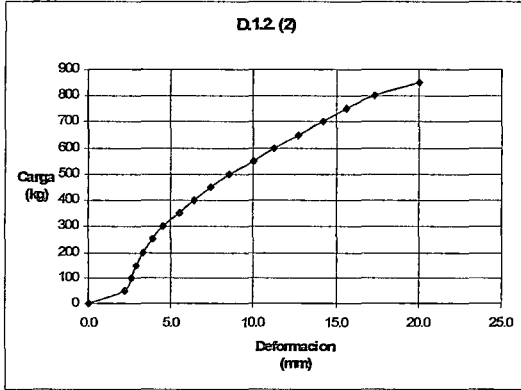


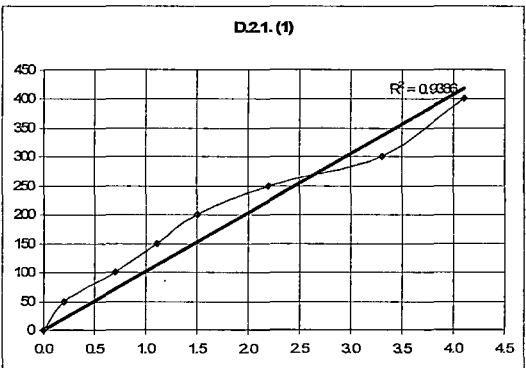
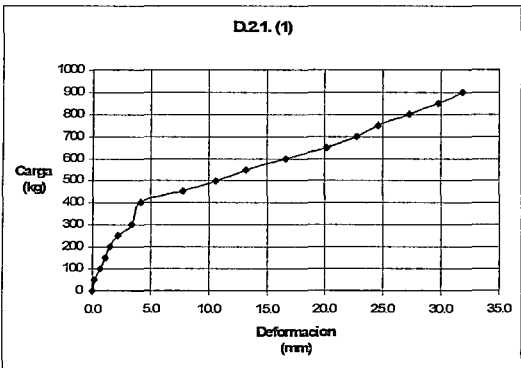
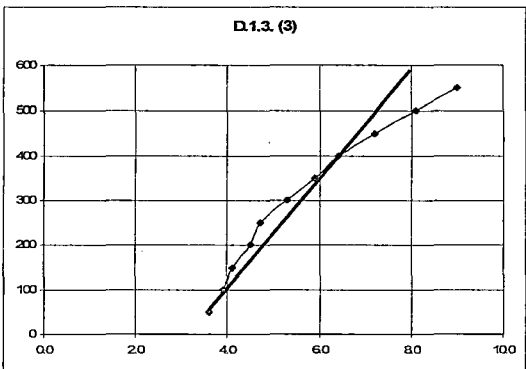
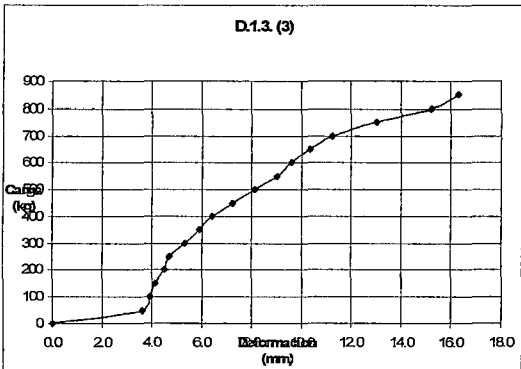
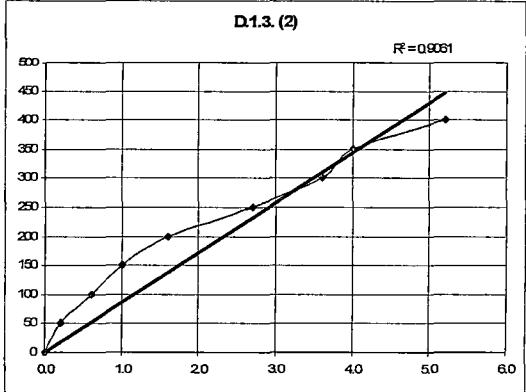
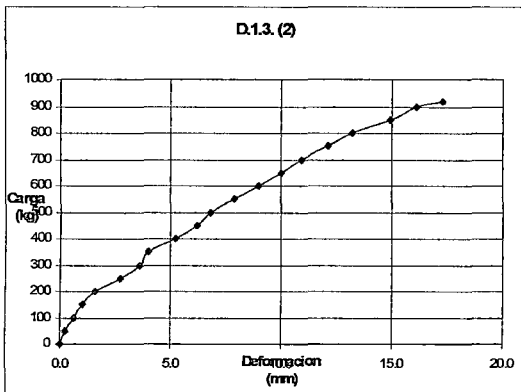
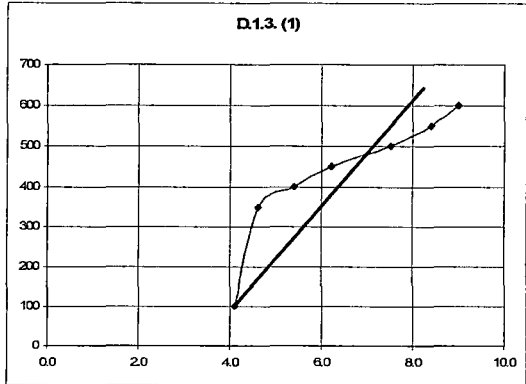
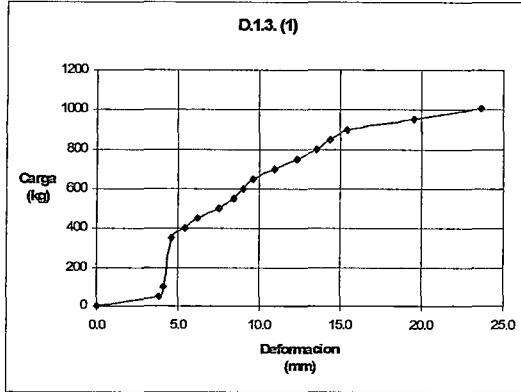


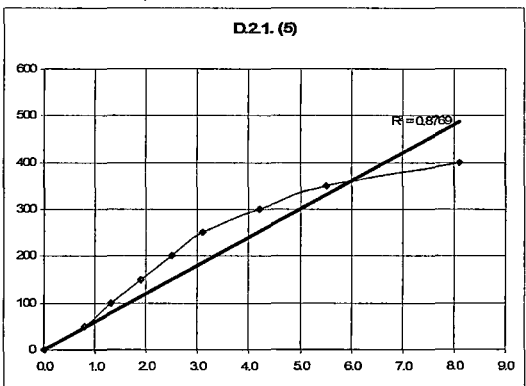
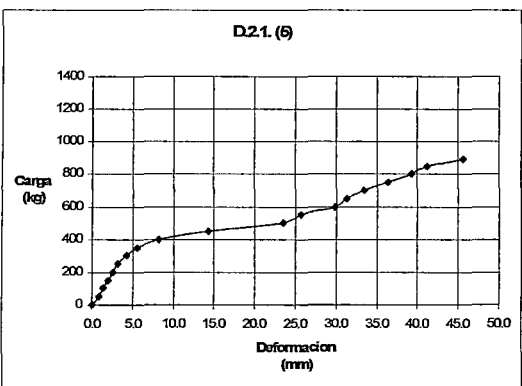
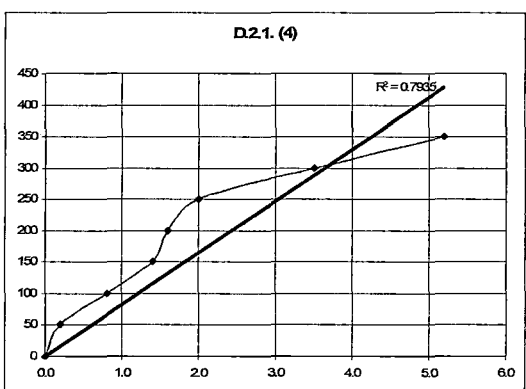
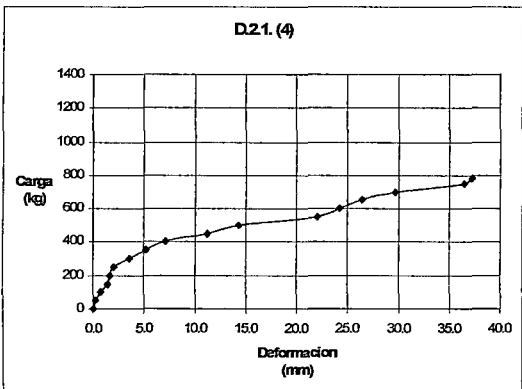
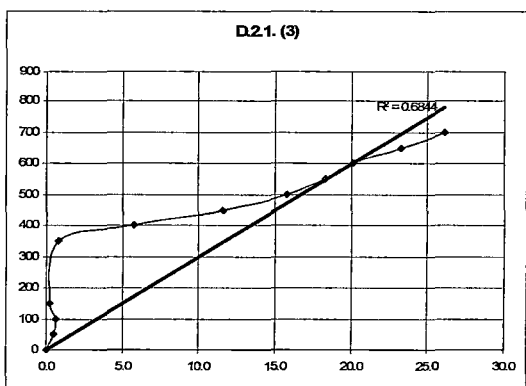
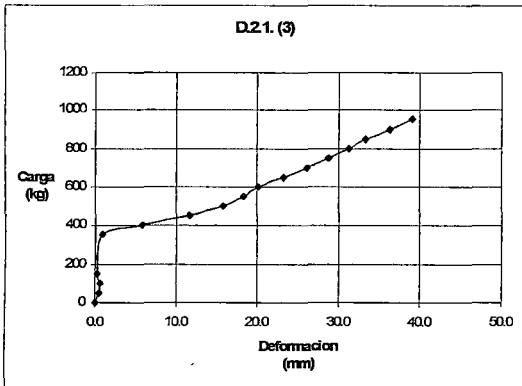
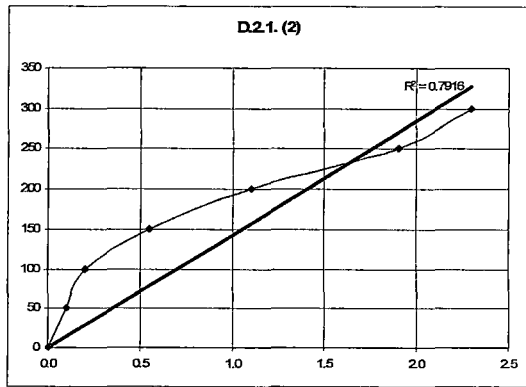
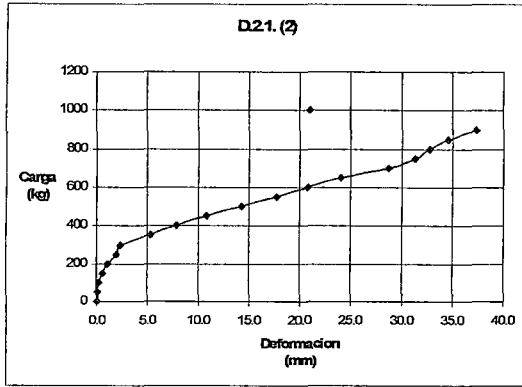


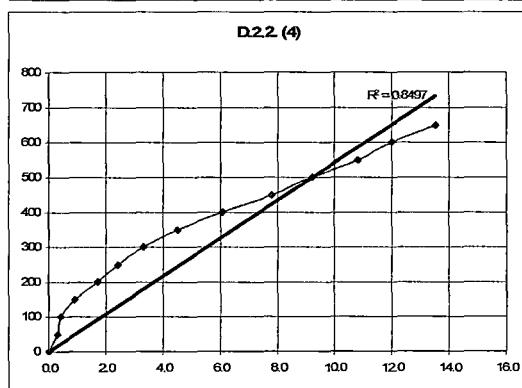
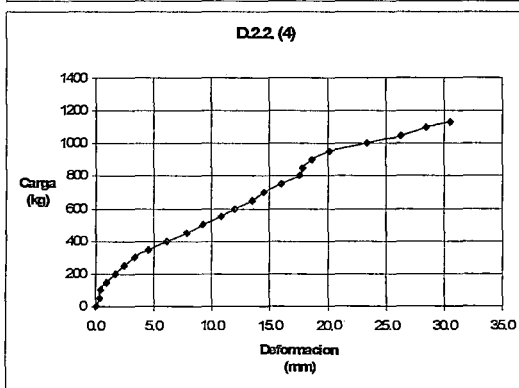
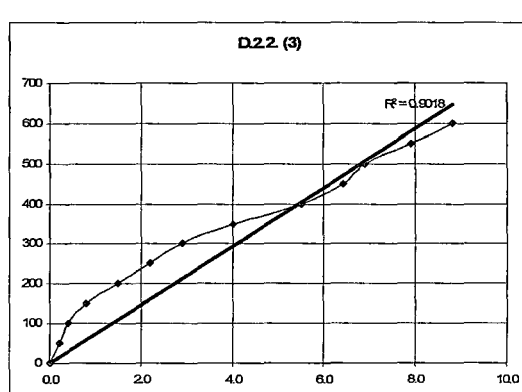
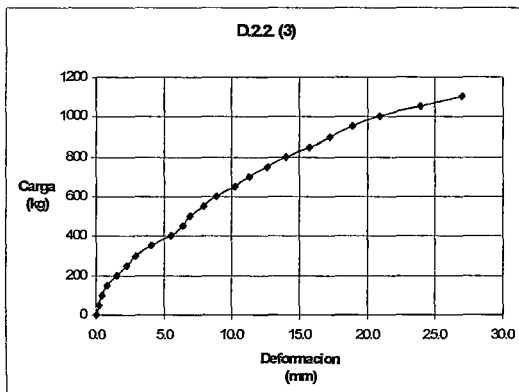
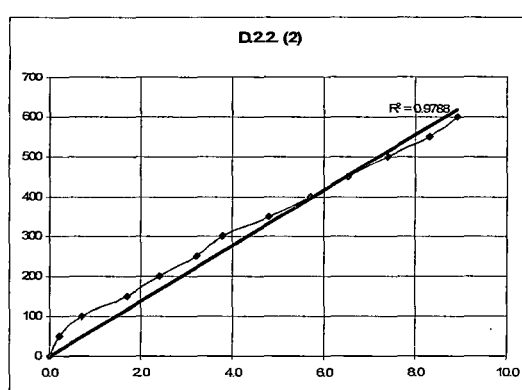
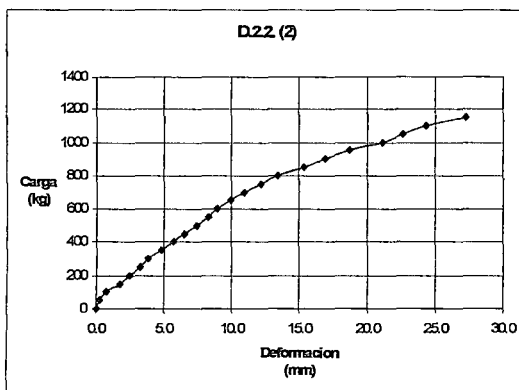
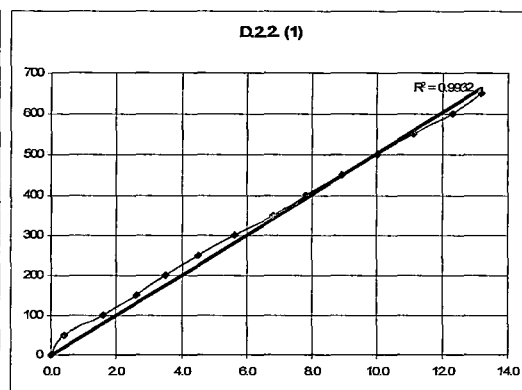
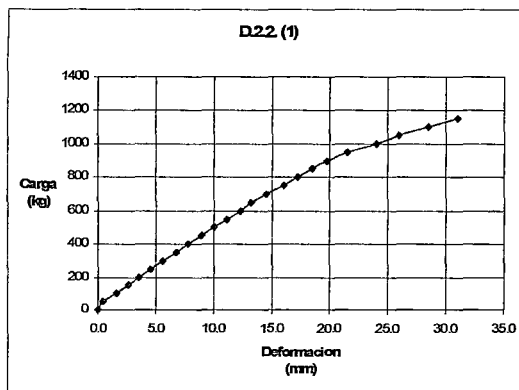


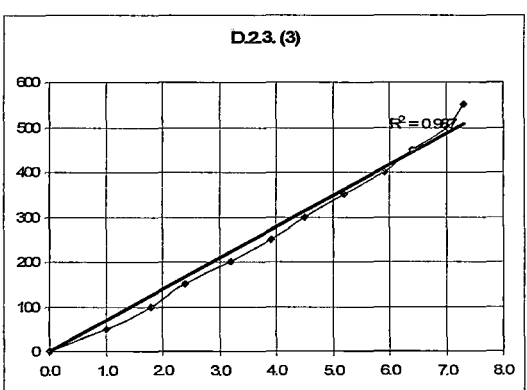
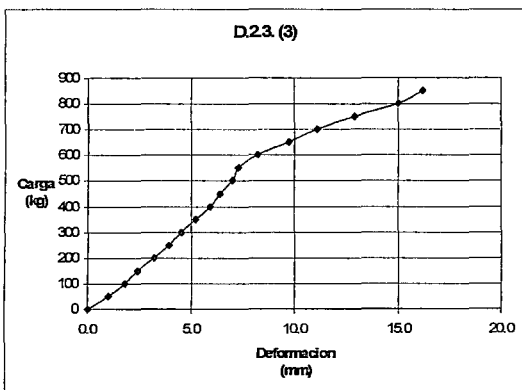
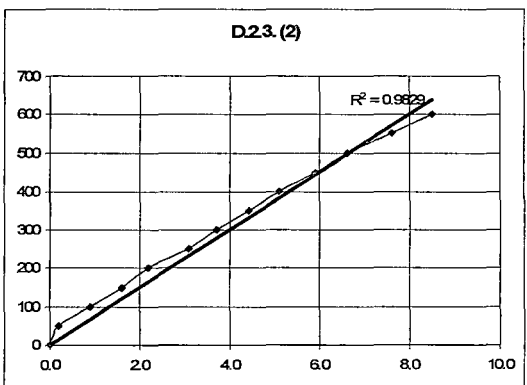
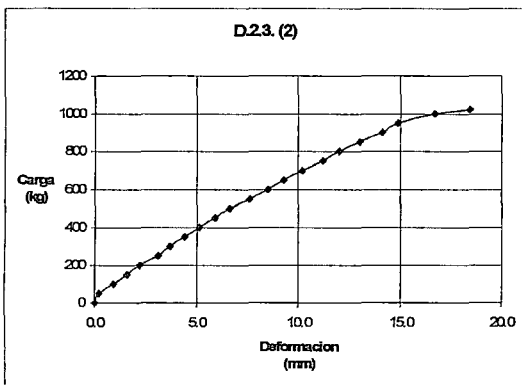
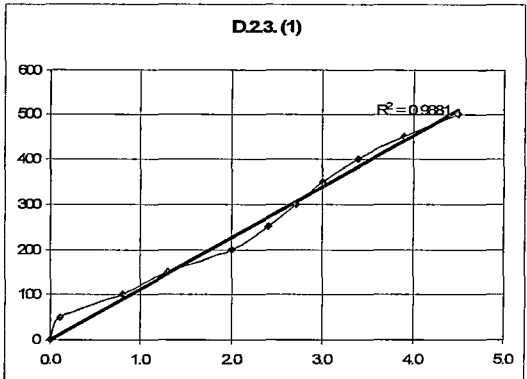
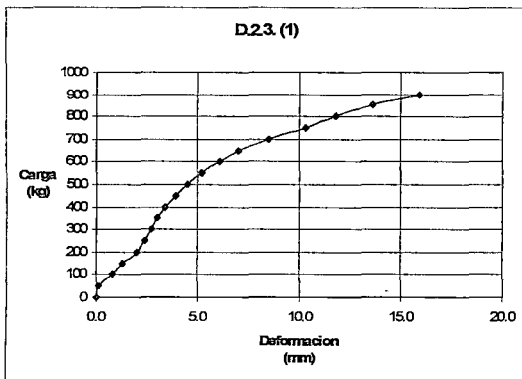
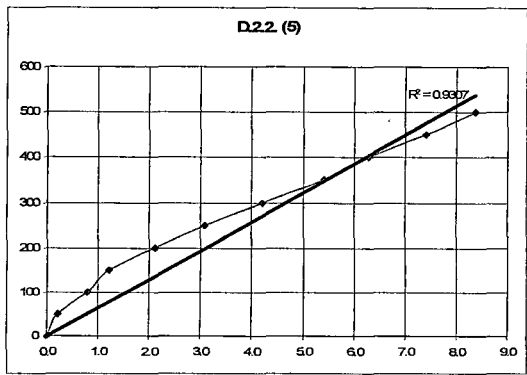
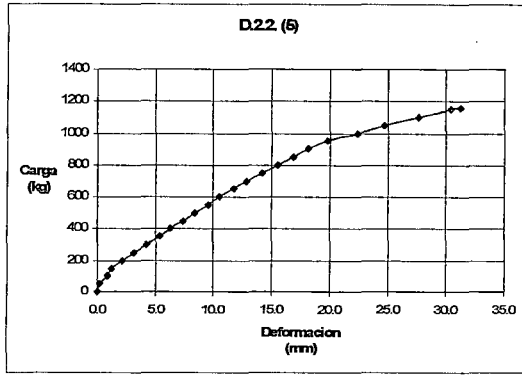




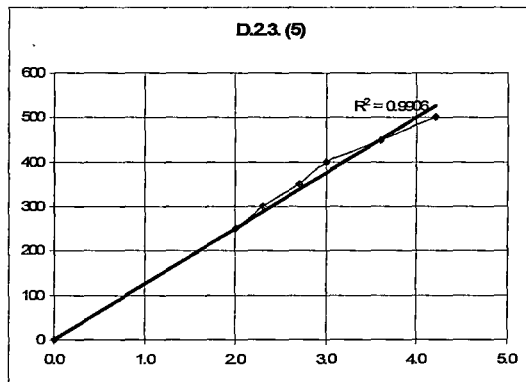
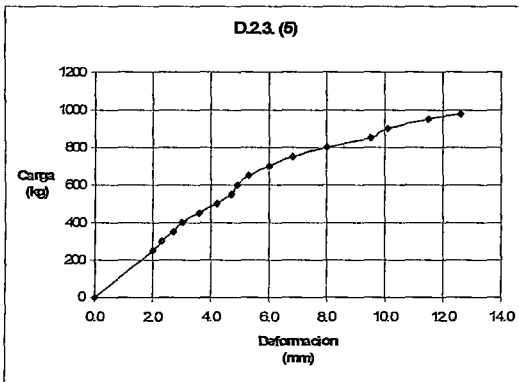
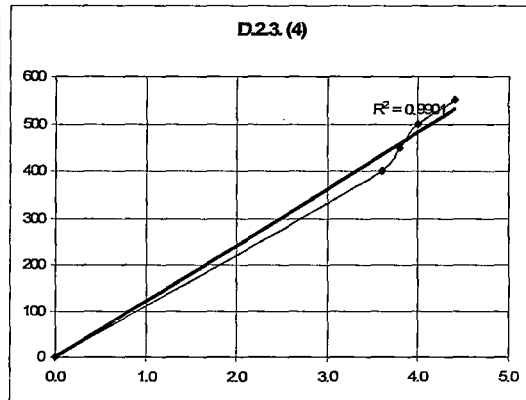
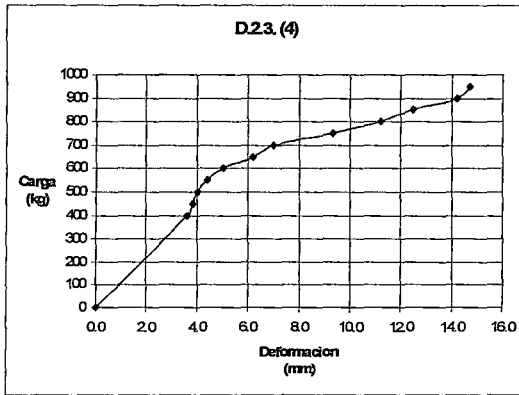




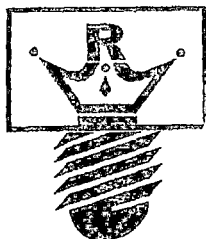








# ANEXO C



INDUSTRIAS DE PERNOS REY S. A.  
PERNOS Y TUERCAS  
CORONA

## CERTIFICADO DE CALIDAD

EMPRESA SOLICITANTE: IDIVSA

### 1.- DESCRIPCION.-

TIRAFONES HEXAGONALES:

1/4 DIA x 1 1/2, 2, 2 1/2, 3, 3 1/2 PULG.

3/8 DIA. x 1 1/2, 2, 2 1/2 y 3, y 3 1/2 PULG.

1/2 DIA. x 1 1/2, 2, 2 1/2, 3 y 3 1/2 PULG.

ARANDELAS PLANAS:

DIA. 1/4, 3/8 y 1/2.

### 2.- IDENTIFICACION.-

LOS TIRAFONES NO LLEVAN MARCA.

### 3.- PROPIEDADES MECANICAS.-

LA NORMA SAE 429 b NO EXIGE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN PARA LOS TIRAFONES. SE LE HA HECHO ENSAYO DE DUREZA COMO REFERENCIA PARA EL USUARIO.:

### 4.- RESULTADOS DE LOS ENSAYOS:

DIMENSIONADO PROMEDIO:

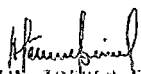
| DIA. NOMINAL         | DIA. MEDIDO | DISTANCIA ENTRE CARAS |
|----------------------|-------------|-----------------------|
| 1/4 " 6.02-6.60 mm.  | 6.33 mm.    | 10.88 mm.             |
| 3/8" 9.14-9.85 mm.   | 9.39 mm.    | 14.11 mm.             |
| 1/2" 12.24-13.08 mm. | 12.42 mm    | 18.78 mm.             |

DUREZA PROMEDIO:

LOS TIRAFONES TIENEN DUREZA PROMEDIO: 90-100 Rb.

LAS ARANDELAS PLANAS TIENEN DUREZA PRMEDIO: 70-80 Rb

LIMA, 11 DE SETIEMBRE DEL 2006.

  
AGUSTIN TORRES ESPINOZA  
Ing. Mecánico y Metalúrgico  
Nº del Colegio de Ingenieros Nº 11672

# ANEXO D

## IMPORTADORA Y DISTRIBUIDORA VILCANOTA S.A.

Nacidos para Ajustes Grandes Obras

### PERNOS & TUERCAS CORONA

Industrias de Pernos Rey S.A.  
 Fabricaciones Especiales  
 Ventas a nivel nacional

- Pernos Hexagonales
- Pernos Calzas Cochas
- Pernos para Anillo
- Pernos para Rueda
- Pernos para Bancha
- Pernos Soudet
- Pernos para Catapulis
- Pernos Invertibles
- Pernos de Capacidad
- Anclajes Placa y de Presión
- Bases Rectangulares
- Bases Hexagonales
- Bases para Alcal
- Espigas
- Pasadores de Hierro
- Prolongos Alce
- Roscaches Ciegos de Aluminio (PDR)
- Roscaches de Hierro
- Roscaches Serrilhador
- Bases para
- Tuercas Hexagonales
- Tuercas para Bancha
- Tirafones
- Tornillos Autoatacantes
- Tornillos para Madera
- Tornillos Duros

OPICINA PRINCIPAL / VENTAS:  
 Av. Nacional Desamp. Metro 105 - 109 Dpto. El Pinar - Las Lajas  
 Telf.: 313-1011 / 313-1004 / 313-1005 / Fax: 313-1112

VENTAS:  
 Comercio Central Km. 2 Calle 15 Ma. 100 LA 30  
 Parque Industrial El Asador - Alta Ulla  
 Telf.: 313-1008 / 313-1009 / Fax: 313-1110

PLANTAS:  
 Calle San Andrés Ma. 100-11, 5 Santa Marta - Alta Ulla  
 Telf.: 313-1000 / 313-1001

38 Años al Servicio de la Industria

IMPORTADORA Y DISTRIBUIDORA VILCANOTA S.A.

www.pernoscorona.com / e-mail: vilca@telefonos.com.pe / ventas@pernoscorona.com

IMPORTADORA Y DISTRIBUIDORA VILCANOTA S.A.

Señores : VARIOS  
 Dirección:

PEDIDO  
 001-0014741

| Item | Cantidad | Unidad | Artículo                | Precio | Importe |
|------|----------|--------|-------------------------|--------|---------|
| 01   | 0.10     | CTO    | TIRAFON HEX 1/4 X 1.1/2 | 10.92  | 1.09    |
| 02   | 0.10     | CTO    | TIRAFON HEX 1/4 X 2     | 14.02  | 1.40    |
| 03   | 0.25     | CTO    | TIRAFON HEX 1/4 X 2.1/2 | 16.18  | 4.04    |
| 04   | 0.10     | CTO    | TIRAFON HEX 1/4 X 3     | 20.27  | 2.02    |
| 05   | 0.05     | CTO    | TIRAFON HEX 1/4 X 3.1/2 | 25.03  | 1.25    |
| 06   | 0.05     | CTO    | TIRAFON HEX 3/8 X 1.1/2 | 24.18  | 1.20    |
| 07   | 0.10     | CTO    | TIRAFON HEX 3/8 X 2     | 27.88  | 2.78    |
| 08   | 0.30     | CTO    | TIRAFON HEX 3/8 X 2.1/2 | 30.38  | 9.11    |
| 09   | 0.10     | CTO    | TIRAFON HEX 3/8 X 3"    | 38.13  | 3.81    |
| 10   | 0.05     | CTO    | TIRAFON HEX 3/8 X 3.1/2 | 47.33  | 2.36    |
| 11   | 0.05     | CTO    | TIRAFON HEX 1/2 X 1.1/2 | 51.72  | 2.58    |
| 12   | 0.10     | CTO    | TIRAFON HEX 1/2 X 2     | 53.78  | 5.37    |
| 13   | 0.25     | CTO    | TIRAFON HEX 1/2 X 2.1/2 | 67.69  | 16.92   |
| 14   | 0.10     | CTO    | TIRAFON HEX 1/2 X 3     | 77.95  | 7.79    |
| 15   | 0.10     | CTO    | TIRAFON HEX 1/2 X 3.1/2 | 87.45  | 8.74    |
| 16   | 0.60     | CTO    | ARAND-PLANA 1/4         | UN     | 5.84    |
| 17   | 0.60     | CTO    | ARAND-PLANA 3/8         | UN     | 12.27   |
| 18   | 0.60     | CTO    | ARAND-PLANA 1/2         | UN     | 18.41   |

|              |       |                |       |            |       |
|--------------|-------|----------------|-------|------------|-------|
| Total Bruto: | 92.46 | Descuento (%): | 0.00  | Descuento: | 0.00  |
| Subtotal:    | 92.46 | I.G.V. (%):    | 19.00 | I.G.V.:    | 17.57 |

Forma de Pago: Letras

Total: S/. 110.03

# ANEXO E

## NORMA ASTM

### PRUEBAS PARA SUJETADORES METALICOS EN MADERA

**Designación ASTM: D 1761 – 88 (Reaprobado 1995)**

#### Introducción

El uso de madera y de materiales a base de madera en muchas estructuras y otras aplicaciones que a menudo implican el uso de los sujetadores de metal, tales como clavos, tornillos, pernos, tirafones, y de conectadores de metal.

Los datos sobre la fuerza y el funcionamiento de tales sujetadores son frecuentemente necesarios para diseñar y para comparar su fin. Las pruebas de los sujetadores de metal (excepto de clavos retractados) han sido generalmente considerados como ensayos especiales y no han sido incluidos en el método estándar ya establecido para la evaluación de las propiedades de la madera. Tales ensayos especiales han sido extensamente usados para un considerable periodo pero no han sido previamente establecidos como estándar. Se presenta adjunto los métodos de ensayos para el comportamiento de clavos, grapas y tornillo (excepto tornillo de maquina) resistencia de extracción; transmisión de carga lateral para clavos, grapas, tornillos, pernos y conectadores de madera; y transmisión de cargas para placas de clavo y suspensiones de vigueta. El uso de los métodos estándar para estas pruebas se recomienda como los medios de obtención para comparar datos y eliminar variables en los resultados de las pruebas debidas a las variaciones en los métodos de ensayo.

### ENSAYO DE EXTRACCION DE CLAVOS, GRAPAS Y TORNILLOS

#### 1. Alcance

- 1.1 Estos métodos de ensayo proporcionan un procedimiento básico para evaluar la resistencia de la madera y de materiales a base de madera a la extracción directa de clavos, grapas, y tornillos. Los spikes (clavos-puntas) se incluyen como clavos en esta norma.
- 1.2 La prueba también proporciona una base para determinar el funcionamiento comparable de diversos tipos y tamaños de clavos, de grapas, y de tornillos en extracción directa de la madera y de materiales de madera.
- 1.3 Este norma no pretende tratar todos los problemas de seguridad, si los hay, asociados a su uso. Es la responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y de salud, y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes del uso.

### **3. Resumen Del Método De Prueba**

- 3.1** Los especímenes consisten en los prismas de madera o de productos de madera, con clavos, grapas, o tornillos conducidos perpendicularmente a unas o más caras. Los sujetadores se retiran con una velocidad uniforme por medio de una máquina de prueba, y se registra la carga máxima. También se determina características físicas suplementarias de la madera o de los productos a base de madera.

### **4. Significación y uso**

- 4.1** La resistencia de una especie de madera para resistir la extracción de clavos, de grapas, o de tornillos es una medida de su capacidad de sostener o de ser sostenido a un objeto colindante por medio de tales sujetadores. Los factores que afectan esta resistencia de extracción incluyen las propiedades físicas y mecánicas de la madera: el tamaño, la forma, y la condición superficial de los sujetadores; la velocidad de extracción; cambios físicos de la madera o de los sujetadores entre el tiempo de clavar y el tiempo de extraer; orientación del eje de la fibra; y la ocurrencia y la naturaleza de los agujeros pre-taladrados.

- 4.2** Usando un tamaño y un tipo estándar de clavo, grapa, o tornillo, la resistencia de extracción de una especie de madera o el producto de madera pueden ser determinados, y tales valores para dos o más especies de madera o de los productos de madera pueden ser comparados. A través de este método se refiere como la prueba básica del retiro. Semejantemente, los funcionamientos comparativos de diversos tamaños o tipos de clavo, de grapa, o de tornillo pueden ser determinados usando un procedimiento estándar con una madera o con un producto particular de madera, que eliminan el producto de madera o de madera como variable. Puesto que las diferencias en métodos de ensayos pueden tener influencia considerable en resultados, es importante que un procedimiento estándar esté especificado y adherido, si los valores de ensayos son para ser relacionados con otros resultados de ensayos.

### **5.- Aparato**

- 5.1 Máquina de prueba.-** Cualquier máquina de prueba conveniente la cual sea capaz de la operación con una velocidad constante de movimiento de la cabeza móvil y que tenga una precisión de  $\pm 1\%$ , calibrado de acuerdo a la norma E4.

- 5.2 Agarres.-** Un aparato moldeado tal que la base de la cabeza del sujetador pueda ser agarrado y tal que permita la exactitud de la posición del espécimen y la verdadera carga axial, requerida. Se requiere un montaje que afiance el espécimen a una abrazadera de la maquina. También es requerido un ensamble de una abrazadera que aguantara el espécimen a un cristal de exposición de la maquina. Un conveniente mecanismo de ensayo para la extracción de tornillo es ilustrado en la figura 1.

### **6. Ensayo de Materiales**

- 6.1 Clavos:**

- 6.2 Grapas:**

### 6.3 Tornillo:

- 6.3.1 Los tornillos usados para el ensayo básico de extracción será el estándar, de 1 in (25 mm) calibre número 10 acero de carbón bajo para madera como el descrito en el American National Standard for Slotted and Recessed Head Wood Screws (ANSI B18.6.1). Cada tornillo será usado solo una vez.
- 6.3.2 Para determinar la capacidad que sostiene diversos tamaños y los tipos de tornillos en los productos de madera o de madera, los respectivos tamaños y tipos de tornillo estarán como las circunstancias dictan. Estos tornillos serán representativos del proceso de fabricación normal.
- 6.4 Madera y Productos de madera. - Los prismas serán cortados exactamente a las dimensiones requeridas, y serán debidamente cepillado. Ellos serán de densidad representativa, libre de defectos y de irregularidades del crecimiento, y con contenido de humedad especificado.

### 7. Muestras

- 7.1 El muestreo debe proporcionar para la selección del material de ensayo representativo en una base objetiva e imparcial, cubriendo una rango apropiado en densidad y características como circunstancias sugiera.
- 7.2 Los ensayos deben ser suficientemente extensos para proporcionar resultados reales. Donde el análisis por procedimientos estadísticos es contemplado, experiencia y algunas estimaciones avanzadas pueden ser usados para establecer el alcance de la prueba y del tipo de muestreo necesitados para alcanzar la confiabilidad prevista.

Nota 2.- La precisión requerida, y así la manera de muestras y número de ensayos, dependerá de objetivos específicos. No hay criterios específicos, por tanto puedan ser establecidos. La experiencia general indica que el coeficiente de variación de pruebas de sujetadores se extiende de cerca de 15 al 30%. Cuando tal es el caso, la precisión de 5 a 10%, con 95 % de confianza (es una medida general a menudo aceptada de confiabilidad para la prueba de madera) no puede ser alcanzada sin la fabricación de un número algo grande de pruebas. La actual recomendación, como requisito mínimo, es hacer por lo menos 10 réplicas para cada variable.

### 8. Ensayo del Espécimen

- 8.1. Extracción de clavos y Grapas.
- 8.2 Extracción de Tornillos
  - 8.2.1 Para la prueba básica de extracción de la madera, el espécimen será de 2 in (51 mm) de ancho, 6 in (152 mm) de largo, con por lo menos la profundidad igual a la longitud del tornillo. Dos tornillos del tipo contorneado en 6.2.1 serán roscados en los agujeros pre-taladrados perpendicularmente a la cara tangencial, a una penetración total igual a la longitud de la porción roscada. La distancia del final y del borde será suficiente para evitar que se parta, que será por lo menos de 3/4 in (19 mm) del borde, y de 1 1/2 in (38 mm) del extremo, y el espaciamiento será por lo menos de 2 1/2 in (63 mm). El tamaño del agujero pre-taladrado será 70 % del diámetro de la raíz del tornillo para las maderas blandas y las maderas duras se ampliará en 1/2 in (13 mm) en la cara del

espécimen. Los tornillos se pueden cubrir con cera de parafina u otro lubricante similar cuando sea necesario para facilitar el entornillado.

- 8.2.2 Para la prueba básica de extracción de productos de madera, el espécimen será 3 in adentro (76 mm) en anchura, y 6 in adentro (152 milímetros) en longitud. La profundidad del espécimen será por lo menos igual a la longitud del tornillo, y puede ser necesario pegar juntos dos o más gruesos del material para proporcionar la profundidad requerida. Los tornillos del tipo contorneado en 6,2,1 serán roscados en el espécimen una distancia de 2/3 in adentro (17 milímetros) en la media anchura, al menos 2 in adentro (51 milímetros) del extremo del espécimen. El tamaño del agujero pre-taladrado será el 70% del diámetro de la raíz del tornillo y se ampliará en 1/2 in adentro (13 milímetros) en la cara del espécimen. Los tornillos se pueden cubrir con la cera de parafina u otro lubricante similar cuando son necesarios para facilitar el entornillado.
- 8.2.3 Para determinar la resistencia a extracción de particulares tamaños y tipos de tornillos en productos de madera o madera, el espécimen será del tamaño conveniente para acomodar la cantidad de tornillos que se probarán en cada espécimen, sin exceder las distancias del borde y del final y el espaciamiento necesario para evitar que se parta. Los tornillos serán roscados dentro del espécimen para la longitud de la porción roscada de la caña o de dos tercios de la longitud de la caña si se rosca en todas partes. El tamaño del agujero pre-taladrado, si se va a perforar, será el 70% del diámetro de la raíz del tornillo para una distancia de una mitad de la longitud del tornillo.
- 8.2.4 Si la resistencia a extracción puede ser influenciado por el material a través del cual el tornillo es para ser roscado el tornillo será roscado a través de un miembro agarrado dentro del miembro que lo sostiene.

## 9. Condicionamiento

- 9.1 El ensayo de extracción del clavo, grapa, y tornillo se hacen normalmente en material seco. El producto de madera o madera, si se seca al horno o es secado al aire, será almacenado en un cuarto que tiene una temperatura controlada de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$  ( $68 \pm 6^{\circ}\text{F}$ ) y una humedad relativa controlada de  $65 \pm 3\%$  por un período suficientemente largo para llevarlo a un equilibrio aproximado. Los sujetadores no serán atornillados-clavados hasta que el equilibrio se logre en el componente de madera.
- 9.2 Donde se requiera, la prueba de extracción puede ser hecho en la secadora, material parcialmente seco o in-seco. Esto podría algunas veces ser deseado aplicarse los sujetadores en material in-seco y permitir que el espécimen terminado sazone antes de la extracción. Como en 9,1 estos especímenes deben lograr el equilibrio deseado de la humedad en una atmósfera controlada para asegurar el contenido de agua uniforme a la hora de prueba. El empapar en agua producirá y mantendrá una condición in-seca de la madera, pero puede dar lugar un contenido de humedad extremadamente alto, particularmente en la superficie; y a la corrosión indeseable y no representativa de los sujetadores cerca de la superficie de madera.

## 10. Procedimiento

10.1 **General.-** A excepción de circunstancias especiales que requieren extracción, la extracción será tan rápidamente como en la práctica pueda ser, y en todos los casos dentro de 1 hora.

10.2 **Método Básico De Carga:**

10.2.1 Consiste en donde el espécimen es solamente el espécimen de madera y los tornillos, extracción de los tornillos por medio de una fuerza extensible aplicada con una velocidad uniforme de retiro. Una el espécimen a una cara de exposición de la máquina de prueba. Una la cabeza del tornillo con un apretón convenientemente diseñado que se sujete a otra cara de exposición a través de una máquina universal. Aplique la carga para la separación de las caras de exposición de la máquina de prueba en un índice uniforme del retiro. Lea la carga máxima requerida para la extracción del tornillo del producto de madera o de madera a tres figuras significativas. Desatienda los valores de la prueba, que resultaron de cualquier falta del sujetador en la evaluación del funcionamiento de la madera o productos de madera pero serán anotadas: considerar tal falta en la evaluación del funcionamiento de diferentes tipos y tamaños de tornillo. En tales casos, se recomienda una prueba adicional.

10.2.2 Donde el espécimen consiste en un prisma de la cerradura más uno o más (las grapas) sujetado además con un sujetador, dos métodos de prueba son posibles:

(a) El miembro sujetado puede ser agarrado y ser empujado o ser tirado lejos del prisma de la cerradura en la dirección axial del sujetador, por el que la cabeza del sujetador ejerza una fuerza en el miembro sujetado. Bajo este procedimiento, si el miembro sujetado ejerce menos resistencia al paso de la cabeza del sujetador tirar-por la lata ocurra. En tal caso, tirar-por la resistencia del material sujetado será indicado.

(b) El miembro sujetado puede estar partido apagado y el sujetador retirado como en 10,2,1.

10.3 **Métodos Especiales De Carga.-** Puede a veces ser necesario determinar la resistencia a la extracción como resultado de una fuerza del impacto o por las cargas repetidoras. En el caso del anterior, esto puede ser logrado con el aparato estándar tal como la dureza de U.S. FPL que prueba conveniente de la máquina modificado al asimiento y agarrar el espécimen del retiro. La última prueba puede requerir el uso de una cabeza del cargamento que completa un ciclo o que pulsa. Los datos que resultan se basan en el ángulo de la dislocación del péndulo y las fuerzas resultando del ajuste del mecanismo repetidor del cargamento, respectivamente, requerido para retirar el sujetador del producto de madera o de madera. Desatienda los valores de la prueba resultando de cualquier falta del sujetador en la evaluación del funcionamiento de los materiales de madera y de la madera-base pero divulgue si está deseado; considere tales faltas en la evaluación del funcionamiento de diversos tipos y tamaños de sujetadores. En tales casos, una réplica adicional es deseable.

10.4 **Velocidad del Ensayo:**



- 10.4.1 El método de carga básico para el retiro del sujetador, se aplica la carga a través de una velocidad uniforme de separación del cristal de exposición de 0,10 pulgadas (2,54 mm)/min  $\pm$  el 25%.
- 10.4.2 Para los métodos especiales de carga, los índices especiales del retiro pueden ser requeridos. Registre la tarifa usada y las razones para elegirla en el informe.

Nota 3: El índice de la separación del cristal de exposición significará la velocidad libre de funcionamiento, o sin carga, de la cruceta para las máquinas de prueba del tipo impulsión mecánica, y la velocidad cargada de la cruceta para las máquinas de prueba del tipo de carga hidráulica.

- 10.5 Ensayo Suplementario.- Si la información real sobre la extracción durante el uso de la carga se desea o puede estar influenciada en la interpretación de la resistencia del retiro de un sujetador dado, mida y registre tal retiro, en pulgadas, en las cargas dadas del retiro o en la última resistencia del retiro, en libras, a los números allí significativos. Bajo condiciones dadas, puede ser expeditivo obtener un diagrama automático de la carga del retiro contra distancia del retiro para determinar la rigidez del empalme y el trabajo implicado hasta un punto dado del retiro del sujetador bajo construcción.
- 10.6 Pruebas De menor importancia.- Determine la gravedad específica y el contenido de humedad de los productos de madera o de madera, durante el retiro del sujetador. Los procedimientos para determinar estas características se dan en los normas D 2016 y D 2395.

## 11. Informe

11.1 El informe incluirá lo siguiente:

- 11.1.1 La carga de falla para los sujetadores individuales, los valores medios de la prueba, y la evaluación estadística del método de prueba y del procedimiento de carga usado.
- 11.1.2 Una descripción completa del método de prueba y del procedimiento de carga usado.
- 11.1.3 Una descripción del espécimen, incluyendo las dimensiones de los componentes de madera o del producto de madera, del tamaño del sujetador, de las distancias del final y del borde, y de los espaciamientos.
- 11.1.4 Numero de ensayos
- 11.1.5 Gravedad específica y contenido de humedad de los componentes de la madera.
- 11.1.6 Detalles de cualquier variación de los métodos prescritos o recomendados conforme al estándar, y
- 11.1.7 Los detalles de cualquier factor no incluido sobre esa fuerza al que se refieren los resultados.

## 12. Precisión y tendencia

- 12.1 La precisión y tendencia de estos métodos de ensayo no han sido aun determinados.

## ENSAYO DE RESISTENCIA LATERAL AL CLAVO, GRAPA Y TORNILLO

### 13 Alcance

13.1 Este método de prueba cubre las determinaciones de resistencia al movimiento lateral ofrecido por un solo clavo, grapa, o tornillo en los miembros de madera. La prueba proporciona los datos comparativos para varias especies de madera. Este método general de prueba se puede también utilizar para evaluar otros tipos y tamaños de sujetadores de madera u otros materiales de construcción tales como enchapado, paneles, etc., o combinaciones de materiales. Además, donde se requiera para los propósitos específicos, el método general se puede utilizar para evaluar la resistencia lateral de tamaños de clavos, grapas, y de tornillos con excepción de los casos especificados, y de los empalmes que emplean dos o más sujetadores. Se recomienda que cuando se realicen tales pruebas, el procedimiento especificado esté seguido tan de cerca como sea posible y todas las variaciones se describan totalmente.

### 14 Prueba de los clavos, las grapas o los tornillos

14.1 Clavos.

14.2 Grapas.

14.3 Los tornillos usados serán el estándar de 2 ½ in. (63 mm) calibre N° 10 de cabeza llana, de acero para madera como el descrito en American National Standard por Slotted and Recessed Head Wood Screws (ANSI B18.6.1). Cada tornillo será usado solo una vez. Los tornillos serán seleccionados para ser representativos del tipo de ensayo elegido.

### 15 Muestras

15.1 La prueba será hecha usando (clear), material representativo recto-granuloso. Los dos pedazos de madera usados para la prueba (grapa y prisma – cleat and prism) serán de extremo - o lado - material emparejado por una sierra llana. Siempre que sea posible, el muestreo será sobre una base estadística, y las pruebas serán un número suficiente para permitir un análisis estadístico.

Nota 5.- La precisión requerida y así la manera del muestreo y del número de pruebas dependerá de los objetivos específicos de la investigación. No existe un criterio general, por lo tanto, pueden ser establecidos. Sin embargo, la experiencia ha indicado que por lo menos cinco especímenes por variable están requeridos como mínimo dar resultados generalmente aceptables.

### 16 Prueba del Espécimen

16.1 El tamaño del espécimen que recibe el punto del sujetador (prisma) será 2 in (51 mm) de grosor, 2 in (51 mm) de ancho, y 12 in (300 milímetros) de largo. El tamaño del espécimen a través de el cual se conduce el sujetador (grapa) será 25/32 adentro (20 milímetros) de grosor, 2 pulg. (51 milímetros) de ancho, y 12 pulg. (300 milímetros) de largo. Se determinará la dimensión real de cada pedazo

- 16.2 El espécimen de la prueba será montado traslapando los extremos de 2 pulg. (50 mm.) miembros anchos de la grapa y del prisma por una distancia de 4 pulg. (100 mm.), así formando un espécimen de prueba con una longitud total de 20 pulg. (500 mm.). El sujetador de prueba será insertado en el centro de la anchura de la grapa y el prisma y las 2 pulg. (50 mm.) del traslapo del sujetador de la prueba en una cara tangencial. Un pre-taladrado de 3/4 pulg. (19 mm.) en diámetro será agujereado en el espécimen para acomodar los accesorios de carga.
- 16.3 Al probar con un clavo, la tapa de la cabeza del clavo será clavadas al ras de la superficie. El clavo será casi tan perpendicular clavado a la superficie del espécimen como sea posible.
- 16.4 Al probar con una grapa será insertado con una herramienta apropiada tan casi como perpendicular posible a la superficie del espécimen con la corona de la grapa 45° (+ -) a un ángulo 10° a la dirección del grano de los miembros sujetado y de la cerradura de madera. Al evaluar los productos de madera, si no hay dirección perceptible del grano en el producto de madera, la corona de la grapa será orientada a un ángulo 45° (+-10°) de la longitud del miembro de la cerradura. Todas las grapas serán conducidas a ras o (1/16 in)(1.6 milímetro) avellanadas levemente. Las grapas compaginadas no serán limpiadas.
- 16.5 Al probar con un tornillo, el tornillo será insertado con un destornillador a través de los agujeros pre-taladrados, que son casi tan perpendiculares a la superficie del espécimen como sea posible. El agujero pre-taladrado en la grapa será igual al diámetro de la caña del tornillo para las maderas duras y 90% del diámetro de la caña para las maderas blandas. El agujero pre-taladrado en el prisma tendrá un diámetro de 90% del diámetro de la raíz para las maderas duras y el 70% del diámetro de la raíz para las maderas blandas y será de 1 5/8 pulg. (41 milímetros) de profundidad. La tapa del agujero pre-taladrado en la grapa será avellanada y la tapa del tornillo será insertada a ras de la superficie.

## 17. Acondicionamiento

El material será acondicionado en concordancia con la sección 9.

## 18. Procedimiento

- 18.1 Lo más rápidamente posible después del ensamble, pero en todos los casos dentro de 1h, pruebe cada espécimen con una máquina de carga extensible conveniente. Las figuras 2 y 3 muestran un espécimen del clavo listo para la prueba. Utilice el mismo procedimiento para evaluar la resistencia lateral de grapas y de tornillos. Los accesorios del extremo serán tales que proporcione la libertad de la alineación. Puesto que la carga aplicada al espécimen es excéntrica, utilice la ayuda para la alineación tal como el cojinete de rodillo mostrado. Se ilustra en los figuras 2 y 3 el método para medir el movimiento diferenciado entre los dos miembros bajo carga por medio de una galga del dial. Otros métodos se pueden utilizar, incluyendo la grabación automática. Mida el movimiento al 0,001 in más cercano (0,0025 mm). Obtenga los valores simultáneos del movimiento diferenciado y cargue en los movimientos de 0.01, 0.015, 0.05, 0.1, 0.2 y 0.3 in (0.25, 0.38, 1.27, 2.54, 5.08, y 7.62 mm) y en la carga máxima. Registre la primera gota en carga.

- 18.2 **Velocidad de Ensayo:** Aplique la carga de acuerdo con 10,4
- 18.3 **Contenido del peso y de Humedad:** Pese dos miembros de madera de cada espécimen antes de que se ensamblen y antes de que se perforen los agujeros de carga, y después de la prueba corte una sección aproximadamente de 1 in para la humedad (25mm) en longitud del cuerpo de cada miembro. Determine el contenido de humedad y la gravedad específica de acuerdo con la norma D 143.

## 19. Informe

- 19.1 El informe incluirá lo siguiente:
- Valores simultáneos del movimiento de la carga y del diferencial en las deformaciones de 0.01, 0.015, 0.05, 0.1, 0.2 y 0.3 in ( 0.25, 1.27, 2.54, 5.08 y 7.62 mm) y la carga máxima.
  - Anotar el tipo de sujetador
  - Tamaño del espécimen
  - Especie de la madera usada,
  - Contenido de agua y gravedad específica, y
  - Cualquier otro detalle especial que pueda referirse a los resultados.

## 20. Precisión y Tendencia

- 20.1 La precisión y tendencia de los métodos de esta prueba todavía no se han determinado.

## ENSAYO DE JUNTAS CON PERNOS Y CONECTORES DE MADERA

### 21. Alcance:

- 21.1 Este método de prueba proporciona un procedimiento conveniente para evaluar la fuerza y la rigidez de los empalmes de la madera sujetados de los pernos o de los conectores de metal que generalmente también requieren los pernos para formar el empalme. La prueba sirve como base para los criterios de diseño que se convierten y para determinar el efecto de varios factores en la fuerza y la eficacia del empalme.

### 22. Resumen del método de la prueba

- 22.1 Los especímenes que consisten en los empalmes de madera de 2 o 3 miembros sujetados con pernos o conectores de madera, se evalúan para que su capacidad resista las fuerzas compresivas o extensibles aplicadas con una velocidad uniforme de deformación, con una máquina de prueba conveniente. Se mide la deformación del empalme en varios intervalos de la aplicación de la carga. Las características físicas suplementarias de los miembros de madera también se determinan.

### 23. Significado y Uso

- 23.1 El empalme puede ser el acoplamiento más débil de la construcción en madera. Mientras que la fuerza de un perno o de un conector de metal se puede determinar en la mano, y las características de la fuerza de un grado y de una especie particular de la madera en la otra, solamente probando un empalme completo conserve su funcionamiento en la combinación se evalúe completamente. Las variables tales como espesor del miembro, anchura del miembro, los márgenes del extremo y del

borde, tipo de sujetador y número de unidades, espaciando entre las unidades del sujetador, contenido de agua de la madera, tratamiento preservativo o ignífugo de la madera, y especie de la madera, por mencionar algunos, pueden afectar el comportamiento común. Para compilar los criterios exactos del diseño para los tipos establecidos de perno y de conectores así como para éstos bajos desarrollos, el efecto de estas variables en fuerza común debe ser sabido. Las pruebas descritas adjunto permitirán obtener datos sobre la fuerza y la rigidez de los empalmes de la madera bajo influencia de cualesquiera o de todos los factores antes mencionados.

## 24. Aparato

- 24.1 **Maquina de Ensayo:** Cualquier máquina de ensayo conveniente la cual sea capaz de la operación con una velocidad constante de movimiento de la cabeza móvil y tiene una exactitud  $\pm 1\%$  cuando está calibrado de acuerdo con las normas E4.
- 24.2 Bloque esférico del cojinete, para la carga de compresión de especímenes.
- 24.3 Agarre: El aparato de agarre capaz de unir el espécimen entre las cabezas móviles de la máquina de prueba de tal manera en cuanto aseguren las cargas axiales verdaderas, requeridas para la carga extensible de especímenes.
- 24.4 Indicador De la Deformación: Por lo menos dos indicadores de dial con por lo menos una lectura de 0,001 in (0.025mm) u otro dispositivo conveniente para medir la deformación entre miembros conjuntos bajo carga.

## 25 Muestreo:

- 25.1 El muestreo debe prever la selección del material representativo de la prueba en una base objetiva e imparcial. Este principio debe aplicarse también a la selección de pernos y de conectores en cuanto a él los materiales de madera o de la madera-base para ser usados. Los materiales probaron con el fin de conseguir promedios generales confiables y la variación que se aplica ampliamente a los materiales de madera y de la madera-base se debe seleccionar al azar por una técnica que permita el proporcionamiento a la densidad prevista y a otras características físicas que pueden influenciar resultados de la prueba. El muestreo requerido para experimentos más limitados, en cuanto a definir relaciones o las causas a examinar y los efectos, puede ser limitado por consiguiente, pero debe ser apropiado a los objetivos del programa de prueba y por procedimientos imparciales.
- 25.2 Bajo todas las circunstancias, las pruebas deben ser suficientemente extensas proporcionar resultados confiables. Donde el análisis por procedimientos estadísticos se contempla, experimente y las estimaciones a veces anticipadas se pueden utilizar para establecer el alcance de la prueba y del tipo de muestreo necesitados para alcanzar la confiabilidad prevista.

Nota 6: La precisión requerida, y así la manera del muestreo y del número de pruebas, dependerá de objetivos específicos. Ningunos criterios específicos por

lo tanto pueden ser establecidos. La experiencia general indica que el coeficiente de variación de pruebas de sujetadores se extiende de cerca de 15 al 30%. Cuando tal es el caso, la precisión de 5 al 10%, con un intervalo de confianza del 95% (una medida general a menudo aceptada de confiabilidad para la madera de prueba) no puede ser alcanzada sin la fabricación de una gran cantidad de pruebas. La actual recomendación es hacer 5 a 10 réplicas para cada uno variable como requisito mínimo. Un número más grande de observaciones puede ser deseable.

## 26.- Especímenes y pruebas

- 26.1 General: Seleccionarán a los miembros de madera, y los sujetadores serán colocados en ellos, de una manera tal que los resultados no sean afectados por los nudos, el grano cruzado, u otras características naturales o de la fabricación. Con frecuencia, esto hará necesario seleccionar a los miembros que son esencialmente granuloso claro y recto.
- 26.2 Empalmes Que contienen Los Pernos Solamente:
- 26.2.1 La prueba será hecha en empalmes con tres miembros según lo demostrado en el cuadro 4 y 5 a menos que cuando sea específico los datos sobre empalmes del dos-miembro se estén buscando. La anchura, la longitud, y el grosor de los miembros de madera serán seleccionados con respeto debido a las distancias del borde y el final requeridas.
- 26.2.2 Para los empalmes que implican al metal o a otros miembros laterales, el grueso debe ser éste anticipado en servicio. Para los empalmes de la todo-madera, el grueso de cada miembro lateral debe ser al menos una mitad del grueso del miembro de centro y la anchura y la longitud de todos los miembros se deben seleccionar con respecto al borde y las distancias del final requirieron para un uso específico.
- 26.2.3 Los diámetros del boquete de perno serán entre 1/32 y 1/16 in (0,8 y 1,6 milímetros) más grande que los diámetros del perno (la nota 7) y los agujeros serán perpendicular cuidadosamente agujereado a la superficie, de modo que la superficie del agujero sea lisa y uniforme asegurar el buen cojinete del perno.

Note 7: Se sugirió que el exceso del diámetro en el agujero del perno sea 1/32 in (0,8 mm) para los pernos el 1/2 in (13mm) o menos en diámetro, y 1/16 in (1,6 mm) para los pernos de un diámetro más grande, con tal que otro perno sostenga; los diámetros no se especifican.

- 26.2.4. El centro exacto de agujeros se requiere donde un espécimen contiene dos o más pernos. Una arandela redonda pesada que se conforma con la especificación federal FF-W-92 para las arandelas, metal, completamente (Plain), y de aquí en adelante designado una arandela estándar, será colocado entre el miembro lateral de madera y la tuerca. Las caras que lindan de miembros conjuntos serán traídas en contacto normalmente instalado; la tuerca después será retrocedida y vuelta a apretar a la "tirantez del dedo".

- 26.3 Empalmes Que contienen Los Conectores Del Metal:

## **27. Condicionamiento**

- 27.1** A excepción de las pruebas especiales que evalúan el efecto del contenido de agua de la madera en la madera de la fuerza. Los especímenes, si el horno se secó, aire se secaron, o como recibido de fabricante, debe ser almacenado preferiblemente antes de probar en un cuarto que tiene una temperatura controlada de  $65 \pm 3\%$  por un período suficientemente de largo para traerlos aproximar equilibrio. Para la mayoría de la especie de la madera, la exposición a estas condiciones dará lugar a un contenido de agua de el aproximadamente 12%
- 27.2** Para las pruebas especiales que implicaban la secadora, no seco, o parcialmente seco los componentes de madera, el cuidado será tomado para mantener el contenido de agua deseado antes y durante de la prueba.

## **28. Procedimiento:**

**28.1 General.-** Pruebe los empalmes tan pronto después de la asamblea como sea posible, preferiblemente dentro de 1 h, con tal que el funcionamiento de pruebas retrasadas no se requiera.

### **28.2 Disposición De Prueba:**

- 28.2.1** El método de probar un empalme paralelo al grano durante el cargamento compresivo se demuestra en el cuadro 4. Utilice un bloque esférico del cojinete en la aplicación de la carga. Mida la deformación y el resbalón en los incrementos sucesivos de la carga usando los indicadores del dial exactas al 0,001 in (0,025 mm) o al otro dispositivo conveniente.
- 28.2.2** El método de conducir un perpendicular común de la prueba al grano con el cargamento compresivo se demuestra en el cuadro 5. Mantenga una distancia clara entre los apoyos por lo menos de tres veces la profundidad del miembro transversal. Haga la disposición para la medida de la deformación.
- 28.2.3** Los empalmes se pueden también probar en la tensión y en muchos casos éste será igualmente o más representativo de comportamiento en servicio. Un diseño adecuado de los extremos de los miembros en quienes se aplican las cargas extensibles se requiere para asegurar falta en el empalme de la prueba más bien que en el dispositivo conmovedor. Los indicadores del dial con por lo menos lectura de 0,001 pulg. (0,02 milímetros) o de otros dispositivos equivalentes son requeridos para medir la deformación.

Nota 10: Puesto que la carga aplicada a un espécimen del dos-miembro será excéntrica, se sugiere que una ayuda de la alineación similar al cojinete de rodillo del cuadro 3 esté utilizada.

**28.3 Medida De la Deformación.-** Mida la deformación del empalme del principio del uso de la carga y tome la lectura de la deformación en los intervalos suficientemente frecuentes de la carga para permitir el establecimiento de una curva exacta de la carga-deformacion. Observe el comportamiento general del empalme bajo carga y regístrelo. Registre la primera relajación de la carga indicada en la escala de prueba de la

máquina, la clase de falta, y los detalles similares. En un empalme del conector, la carga asociada a la primera relajación de la carga se asocia comúnmente al esquileo de la base dentro del conector. Continúe la prueba hasta la última carga o una deformación total de 0,60 adentro (15 milímetros) se alcanza. Registre la carga máxima.

**28.4 Velocidad de Ensayo.-** conduzca la prueba para alcanzar la carga máxima en cerca de 10 mim., pero alcance la carga máxima en no menos que 5 o más de 20 minutos. Un índice del movimiento de la cruceta móvil de 0,035 pulg. (0,9 mm)/mim  $\pm$ 50 % es de la voluntad del permitir generalmente que alcanza la carga máxima, en el tiempo prescrito. Registre la velocidad usada.

**Nota 11.-** La velocidad de la cruceta significará la velocidad libre - funcionando, o sin carga, de la cruceta para las máquinas de prueba del tipo de accionamiento motriz, y la velocidad cargada de la cruceta para las máquinas de prueba del tipo del hidráulico-cargamento.



# ANEXO F

## Design

Lag screw joints must be designed so that the following criteria are satisfied:

1. For lateral loading:

Factored lateral strength resistance  $\geq$  factored lateral load  
Lateral slip resistance  $\geq$  specified lateral load

2. For withdrawal loading:

Factored withdrawal resistance  $\geq$  factored withdrawal (tensile) load

In addition, adequate spacing between lag screws and adequate end distance and edge distance must be provided. Figure 7.9 provides minimum values for common lag screw sizes.

### Lateral Strength Resistance

The factored lateral strength resistance depends upon the angle of load to grain and is calculated from the following formulae:

$$P_r = P'_r n_R n_{F_e} K' J_\gamma \text{ for parallel to grain loading}$$

$$Q_r = Q'_r n_R n_{F_e} K' J' \text{ for perpendicular to grain loading}$$

$$N_r = \frac{P_r Q_r}{P_r \sin^2 \theta + Q_r \cos^2 \theta}$$

for loading at an angle  $\theta$  to grain.  $N_r$  may also be determined from Table 7.1

where

$P'_r$  and  $Q'_r$  are unit factored lateral resistances, given in Table 7.10. These values are valid when the length of the penetration into the main member is the "standard" length shown in Table 7.10. For less than standard penetration, multiply  $P'_r$  and  $Q'_r$  by the ratio of the actual penetration to standard penetration.

$n_R$  = number of rows

$n_{Fe}$  = number of effective fasteners per row, given in Tables 7.15 and 7.16

$K'$ ,  $J'$  and  $J_T$  are modification factors given below

### Lateral Slip Resistance

The lateral slip resistance depends upon the angle of load to grain and is calculated as follows:

$$P_{rs} = P'_{rs} n_R n_{Fe} K_{SF} \text{ for parallel to grain loading}$$

$$Q_{rs} = Q'_{rs} n_R n_{Fe} K_{SF} J_O \text{ for perpendicular to grain loading}$$

$$N_{rs} = \frac{P_{rs} Q_{rs}}{P_{rs} \sin^2 \theta + Q_{rs} \cos^2 \theta}$$

for loading at an angle  $\theta$  to grain.  $N_{rs}$  may also be determined from Table 7.1

where

$P'_{rs}$  and  $Q'_{rs}$  are unit lateral slip resistances, given in Table 7.10. These values are valid when the length of penetration into the main member is at least the standard length shown in Table 7.10. For less than standard penetration, multiply  $P'_{rs}$  and  $Q'_{rs}$  by the ratio of actual penetration to standard penetration.

$n_R$  = number of rows

$n_{Fe}$  = number of effective fasteners per row, given in Tables 7.15 and 7.16.

$K_{SF}$  and  $J_O$  are modification factors given below.

### Withdrawal Resistance

The factored withdrawal resistance of lag screws is calculated as follows:

$$P_{rw} = P'_{rw} L_t n_F K' J_O$$

where

$P'_{rw}$  = the factored withdrawal resistance per mm of penetration given in Table 7.10

$L_t$  = length of penetration of threaded portion into the main member, not including the point. In order to assure that the resistance of the steel is not exceeded,  $L_t$  is limited to the standard length of penetration  $L_p$  shown in Table 7.10. Threaded lengths for standard lag screw sizes are given in Table 7.11.

$n_F$  = number of fasteners

$K'$  and  $J_O$  are modification factors given below

### Modification Factors

The following modification factors adjust the unit factored resistances of lag screw connections for the actual conditions of use:

$$K' = K_D K_{SF} K_T$$

$$J' = J_O J_T$$

where

$K_D$  = duration of load factor

$K_{SF}$  = service condition factor

$K_T$  = fire-retardant treatment factor

$J_O$  = factor for lag screw orientation in grain

$J_T$  = thickness factor

In many cases the modification factors will equal 1.0. Review the following check-list to determine if the factors equal 1.0 for the actual conditions of use. Where a factor does not equal 1.0, calculate the appropriate value as described.