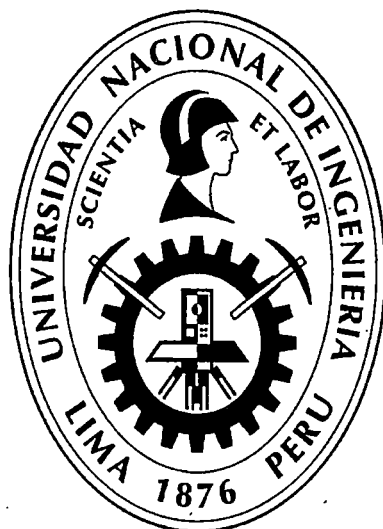


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**UNIONES ESTRUCTURALES CON TIRAFONES EN
MADERA TORNILLO (CEDRELINGA
CATENAEFORMIS DUKE)**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

ANDRÉS ALFREDO GARCÍA MUCHA

Lima- Perú

2012

Digitalizado por:

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

DEDICATORIA

A mi Madre Vilma Mucha por haber sido un ejemplo de entrega y sacrificio en la crianza de sus 2 hijos.

A mi padre Fidel García por ser un hombre cabal y sacrificado por sus hijos.

A mi esposa Raquel y mi hija Fabiana por ser el motor que me impulsa a superarme todos los días.

A mi hermana Carolina y mi sobrina Valeria por ser parte de mi hermosa familia.

ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FOTOS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE GRÁFICOS.....	12
INTRODUCCIÓN.....	17
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	19
1.1 LA MADERA EN EL PERU.....	19
1.2 INVESTIGACIONES SOBRE UNIONES	20
1.3 FACTORES QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO DE LAS UNIONES ESTRUCTURALES	21
1.4 LA INDUSTRIA MADERERA EN EL PERU.....	23
1.4.1 Especies maderables estudiadas en el Perú	24
CAPITULO II: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MADERA TORNILLO	26
2.1 ASPECTOS GENERALES	26
2.1.1 Estructura de la madera	27
2.1.2 Propiedades físicas y mecánicas.....	30
2.2 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA TORNILLO.....	40
CAPITULO III: EL TIRAFÓN	48
3.1 DEFINICIÓN DE TIRAFÓN	48
3.2 TIPO DE TIRAFONES.....	49
3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS TIRAFONES.....	49
3.4 PERFORACIONES GUÍAS	50
3.5 ARANDELAS.....	51
3.6 PROPIEDADES MECÁNICAS.....	52
CAPÍTULO IV: ENSAYOS EN LABORATORIO	53
4.1 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS.....	55
4.1.1 Método de ensayo según NTP y ASTM.....	59
4.1.2 Materiales y equipos.....	59

4.1.3	Números de probetas para cada tipo de ensayo	61
4.2	ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS	62
4.2.1	Determinación del Contenido de Humedad	62
4.2.2	Determinación de la Densidad Básica	65
4.3	ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS	67
4.3.1	Ensayo de Extracción Directa.....	68
4.3.2	Ensayo de Corte o Cizallamiento.....	74
4.3.2.1	<i>Corte Simple Paralelo al grano</i>	74
4.3.2.2	<i>Corte o Cizallamiento Simple Perpendicular al grano</i>	77
4.3.2.3	<i>Corte o Cizallamiento Doble Paralelo al grano</i>	79
4.3.2.4	<i>Corte o Cizallamiento Doble Perpendicular al grano</i>	80
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS		81
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS	82
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS	83
5.2.1	Extracción Directa	83
5.2.2	Corte o Cizallamiento	88
5.3	TABLA DE RESUMEN FINAL DE DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO.....	113
CAPITULO VI: DISEÑO ESTRUCTURAL.....		127
6.1	RECOMENDACIONES PARA UNIONES CON TIRAFONES EN MADERA TORNILLO	127
6.1.1	Uniones sometidos a Extracción.....	127
6.1.2	Uniones sometidas a Corte o Cizallamiento	128
CONCLUSIONES.....		130
RECOMENDACIONES.....		133
BIBLIOGRAFIA.....		135
ANEXO A: ENSAYOS DESARROLLADOS.....		137
ANEXO B: GRÁFICOS DE ENSAYO DE CORTE O CIZALLAMIENTO.....		153
ANEXO C: American Forest & Paper Association, NDS National Design Specification Commentary, 2005 Edition.....		223

RESUMEN

Hasta la fecha, las construcciones en madera no poseen un uso comercial relevante en nuestro país, mas aun 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 cuales 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 en madera.

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, las 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 eso se utilizan pernos, pero en casos en los que son difíciles de colocarlos es una alternativa el uso de tirafones.

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

la 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 de la madera Tornillo y las propiedades mecánicas de la unión entre el tirafón y la madera Tornillo, para ello los ensayos de las propiedades físicas fueron realizados según normas INDECOPI (9 y 10) y para las propiedades mecánicas las recomendaciones dadas por las especificaciones de la ASTM (2).

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 Tornillo, 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.

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1:	Principales especies forestales del Perú	24
Cuadro 2:	Clasificación taxonómica de la madera tornillo	45
Cuadro 3:	Propiedades físicas de la madera tornillo	46
Cuadro 4:	Propiedades mecánicas de la madera tornillo	47
Cuadro 5:	Dimensiones mínimas de arandelas para uniones apernadas estructurales	52
Cuadro 6:	Ensayo de Tracción del tirafón	52
Cuadro 7:	Codificación de probetas por el tipo de ensayo	53
Cuadro 8:	Codificación de probetas por el espesor lateral	53
Cuadro 9:	Codificación de probetas por el diámetro del tirafón	54
Cuadro 10:	Características de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos de extracción	54
Cuadro 11:	Características de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos de corte	55
Cuadro 12:	Determinación de la perforación guía	71
Cuadro 13:	Diámetro de brocas utilizadas	72
Cuadro 14:	Resultados de los ensayos físicos realizados.....	82
Cuadro 15:	Clasificación estructural según el Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.010	82
Cuadro 16:	Resultados de los ensayos de extracción directa	83
Cuadro 17:	Valores de Carga Promedio	86
Cuadro 18:	Determinación de la Carga de Diseño	87
Cuadro 19:	Interpolación de valores de Carga Experimental de Corte Simple	94
Cuadro 20:	Interpolación de valores de Carga Máxima.....	96
Cuadro 21:	Valores de Cargas obtenidos en el ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano.....	103
Cuadro 22:	Valores de Deformaciones obtenidos en el ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano.	103
Cuadro 23:	Resultados del ensayo de corte doble paralelo al grano.....	113
Cuadro 24:	Resultados del ensayo de corte doble perpendicular al grano.....	113

Cuadro 25: Tabla de valores de Carga de Diseño del ensayo de Extracción Directa	114
Cuadro 26: Valores de carga de extracción de diseño para varias especies madereras estudiadas	115
Cuadro 27: Tabla de valores del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø1/4"	116
Cuadro 28: Tabla de valores del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø5/16"	116
Cuadro 29: Tabla de valores del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø3/8"	117
Cuadro 30: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera tornillo.....	117
Cuadro 31: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera Capirona.....	118
Cuadro 32: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera Quinilla	118
Cuadro 33: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera Cachimbo	119
Cuadro 34: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera Azúcar Huayo	119
Cuadro 35: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Simple Perpendicular a la fibra para Ø1/4"	123
Cuadro 36: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Simple Perpendicular a la fibra para Ø5/16"	123
Cuadro 37: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Simple Perpendicular a la fibra para Ø3/8"	124
Cuadro 38: Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Perpendicular a la fibra a la unión tirafón-madera Tornillo.....	124
Cuadro 39: Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Perpendicular a la fibra a la unión tirafón-madera Capirona	124
Cuadro 40: Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Perpendicular a la fibra a la unión tirafón-madera Quinilla.....	124
Cuadro 41: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Doble Paralelo a la fibra para Ø1/4"	125

Cuadro 42: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Corte Doble Paralelo a la fibra con otras especies madereras	125
Cuadro 43: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Doble Perpendicular a la fibra para Ø1/4"	126
Cuadro 44: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Corte Doble Perpendicular a la fibra con otras especies madereras	126
Cuadro 45: Valores de Carga de Extracción	128
Cuadro 46: Valores de carga de extracción y variación porcentual para varios tipos de maderas	130
Cuadro 47: Valor de la Carga de Diseño en función del diámetro del tirafón y de E/D.....	131
Cuadro 48: Valor de la Carga de Diseño y variación porcentual en función del diámetro del tirafón y de la profundidad de penetración.	131
Cuadro 49: Valor de la Carga de Diseño en función del diámetro del tirafón y de la profundidad de penetración.....	132
Cuadro 50: Determinación de la Densidad Básica	137
Cuadro 51: Determinación del contenido de humedad.....	138
Cuadro 52: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.1.1.....	139
Cuadro 53: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.1.2.....	139
Cuadro 54: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.1.3.....	139
Cuadro 55: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.2.1.....	140
Cuadro 56: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.2.2.....	140
Cuadro 57: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.2.3.....	140
Cuadro 58: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra –Muestra A.1.1 y A.2.1	141
Cuadro 59: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra –Muestra A.3.1 y A.4.1	142
Cuadro 60: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra –Muestra A.1.2 y A.2.2	143
Cuadro 61: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra –Muestra A.3.2 y A.4.2	144
Cuadro 62: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra –Muestra A.1.3 y A.2.3	145

Cuadro 63: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra –Muestra A.3.3 y A.4.3	146
Cuadro 64: Datos obtenidos del ensayo de corte simple perpendicular a la fibra-Muestras B.1.1 y B1.2	147
Cuadro 65: Datos obtenidos del ensayo de corte simple perpendicular a la fibra-Muestra D.1.2	148
Cuadro 66: Datos obtenidos del ensayo de corte simple perpendicular a la fibra-Muestras D.1.3 y D.2.1	149
Cuadro 67: Datos obtenidos del ensayo de corte simple perpendicular a la fibra-Muestras D.2.2 y D.2.3	150
Cuadro 68: Datos obtenidos del ensayo de corte doble paralelo a la fibra-Muestra C.1.1	151
Cuadro 69: Datos obtenidos del ensayo de corte doble perpendicular a la fibra-Muestra D.1.1	152

LISTA DE FOTOS

Foto 1:	Clasificación visual.....	57
Foto 2:	Dimensionamiento de piezas	57
Foto 3:	Corte de madera.....	57
Foto 4:	Cepillado de madera.....	58
Foto 5:	Uso del taladro para realizar la perforación guía	58
Foto 6:	Colocación de los tirafones	58
Foto 7:	Probetas listas para ensayar.....	59
Foto 8:	Máquina Universal AMSLER.....	60
Foto 9:	Prensas	60
Foto 10:	Reloj comparable.....	61
Foto 11:	Probetas para ensayo de Extracción Directa	62
Foto 12:	Probetas para ensayo de corte	62
Foto 13:	Horno de secado.....	65
Foto 14:	Balanza electrónica.....	65
Foto 15:	Probetas saturándose.....	66
Foto 16:	Probetas secadas en el horno.....	67
Foto 17:	Probetas pesadas en la balanza electrónica	67
Foto 18:	Colocación de la probeta en la máquina AMSLER para el ensayo de Extracción Directa.....	72
Foto 19:	Probeta antes de ser ensayada	73
Foto 20:	Probeta durante el ensayo	73
Foto 21:	Máquina Universal AMSLER utilizada para el ensayo de extracción	73
Foto 22:	Probeta después del ensayo.....	74
Foto 23:	Toma de datos del respectivo ensayo.....	74
Foto 24:	Colocación de la probeta para la realización del ensayo de corte.....	76
Foto 25:	Probeta antes de ser ensayada	76
Foto 26:	Toma de datos del ensayo.....	76
Foto 27:	Probeta después del ensayo.....	77
Foto 28:	Probeta antes de ser ensayada	78
Foto 29:	Toma de datos del ensayo de corte.....	78
Foto 30:	Probeta después del ensayo.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Estructura macroscópica de la madera.....	29
Figura 2:	Eje Tangencial.....	31
Figura 3:	Eje Radial	31
Figura 4:	Eje Longitudinal	31
Figura 5:	Esquema de Ensayo de compresión paralela a las fibras.....	35
Figura 6:	Esquema de Ensayo de Compresión normal a las fibras.....	36
Figura 7:	Esquema de ensayo de flexión estática.....	36
Figura 8:	Esquema de ensayo de tenacidad.....	37
Figura 9:	Esquema de Ensayo de Corte longitudinal	37
Figura 10:	Esquema de ensayo de cizalle paralelo tangencial.....	37
Figura 11:	Esquema de ensayo de cizalle paralelo radial	38
Figura 12:	Esquema de ensayo de clivaje.	38
Figura 13:	Esquema de ensayo de clivaje radial.....	38
Figura 14:	Esquema de ensayo de tracción paralela a las fibras.	39
Figura 15:	Esquema de tracción normal a las fibras.	39
Figura 16:	Esquema de tracción normal radial a las fibras.....	39
Figura 17:	Esquema de ensayo de dureza. Puede medirse en forma normal o paralela a la fibra.	40
Figura 18:	A. Ramita con hoja, B. Lámina foliar, C. Fruto, D. Flor, E. Parte de la inflorescencia	42
Figura 19:	Hoja con ramita de la cedrelinga <i>catenaeformis duke</i>	42
Figura 20:	Bosque de cedrelinga <i>catenaeformis duke</i>	43
Figura 21:	Madera tornillo.....	44
Figura 22:	Plantaciones de madera tornillo realizadas por el INIA, principalmente en el Anexo Experimental von Humboldt (Departamento de Ucayali).....	44
Figura 23:	Esquema del tirafón, según el manual de la CORMA en la unidad 7-Uniones.....	48
Figura 24:	Tirafón zincado	50

Figura 25: Perforaciones guías recomendadas por la Norma Chilena NCh 1198	51
Figura 26: Ábaco de Kollmann.....	64
Figura 27: Esquema del ensayo de corte simple paralelo al grano	75
Figura 28: Esquema del ensayo de corte simple perpendicular al grano	77
Figura 29: Esquema del ensayo de corte doble paralelo al grano.....	79
Figura 30: Esquema del ensayo de corte doble perpendicular al grano	80
Figura 31: Curva para la determinación del límite proporcional según la NDS.	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Relación entre el Diámetro del tirafón vs Carga Máxima para una profundidad de penetración de 25mm.....	84
Gráfico 2: Relación entre el Diámetro del tirafón vs Carga Máxima para una profundidad de penetración de 30mm.....	84
Gráfico 3: Comparativo entre el Diámetro del tirafón vs Carga Máxima para varias profundidades de penetración.....	85
Gráfico 4: Comparativo Porcentual	85
Gráfico 5: Cuadro comparativo porcentual.....	86
Gráfico 6: Relación entre el Diámetro del tirafón vs Carga Promedio.....	86
Gráfico 7: Relación entre el Diámetro del tirafón vs Carga de Diseño.....	87
Gráfico 8: Comportamiento de la Unión	88
Gráfico 9: Comportamiento de ajuste al Límite Proporcional.....	89
Gráfico 10: Comparativo entre la relación E/D vs Carga Experimental, Carga en el Límite Proporcional y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 1/4"	90
Gráfico 11: Comparativo porcentual.....	91
Gráfico 12: Comparativo entre la relación E/D vs Carga Experimental, Carga en el Límite Proporcional y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 5/16"	91
Gráfico 13: Comparativo porcentual.....	92
Gráfico 14: Comparativo entre la relación E/D vs Carga Experimental, Carga en el Límite Proporcional y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 3/8"	92
Gráfico 15: Comparativo Porcentual	93
Gráfico 16: Comparativo entre la Carga Experimental vs relación E/D para varios diámetros de tirafón.....	93
Gráfico 17: Valores de Carga Experimental vs relación E/D para un diámetro de tirafón 3/8"	94
Gráfico 18: Relación de la Carga Experimental vs relación E/D para varios diámetros de tirafón.....	94
Gráfico 19: Comparativo Porcentual	95
Gráfico 20: Comparativo entre la Carga Máxima vs relación E/D para varios diámetros de tirafón.....	96

Gráfico 21: Valores de Carga Máxima vs relación E/D para un diámetro de tirafón 3/8"	96
Gráfico 22: Relación de la Carga Máxima vs relación E/D para varios diámetros de tirafón	97
Gráfico 23: Comparativo Porcentual	97
Gráfico 24: Comparación entre la relación E/D vs Deformación en el Límite proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 1/4"	98
Gráfico 25: Comparación Porcentual	98
Gráfico 26: Comparación entre la relación E/D vs Deformación en el Límite Proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 5/16".....	99
Gráfico 27: Comparación Porcentual	99
Gráfico 28: Comparación entre la relación E/D vs Deformación en el Límite proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 3/8"	100
Gráfico 29: Comparativo Porcentual	100
Gráfico 30: Comparación de la variación de la profundidad de penetración vs Carga Experimental para diferentes diámetros de tirafón.....	101
Gráfico 31: Comparativo porcentual.....	101
Gráfico 32: Comparación de la variación de la profundidad de penetración vs Carga Máxima para diferentes diámetros de tirafón	102
Gráfico 33: Comparativo Porcentual	102
Gráfico 34: Comparativo entre la relación E/D vs Carga de Experimental, Carga en Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 1/4"	104
Gráfico 35: Comparación Porcentual	104
Gráfico 36: Comparativo entre la relación E/D vs Carga Experimental, Carga en Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 5/16"	105
Gráfico 37: Comparación Porcentual	105
Gráfico 38: Comparativo entre la relación E/D vs Carga Experimental, Carga en Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 3/8"	106
Gráfico 39: Comparativo Porcentual	107

Gráfico 40: Comparación entre la Profundidad de penetración vs Deformación en el Límite Proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 1/4"	108
Gráfico 41: Comparación porcentual.....	108
Gráfico 42: Comparación entre la Profundidad de penetración vs Deformación en el Límite proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 5/16"	109
Gráfico 43: Comparación porcentual.....	109
Gráfico 44: Comparación entre la Profundidad de penetración vs Deformación en el Límite proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 3/8"	110
Gráfico 45: Comparación porcentual.....	110
Gráfico 46: Comparativo entre la profundidad de penetración vs Carga Experimental, Carga en el Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para una Profundidad de penetración de 0.75"	111
Gráfico 47: Comparativo Porcentual	111
Gráfico 48: Comparativo entre el Diámetro del tirafón vs Carga Experimental, Carga en Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para una Profundidad de penetración de 1".....	112
Gráfico 49: Comparativo Porcentual	112
Gráfico 50: Comparativo de cargas de extracción con otras especies madereras	115
Gráfico 51: Comparativo porcentual.....	116
Gráfico 52: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø1/4" con otras especies madereras.....	120
Gráfico 53: Comparativo Porcentual	120
Gráfico 54: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø5/16" con otras especies madereras.....	121
Gráfico 55: Comparativo Porcentual	121
Gráfico 56: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Cizallamiento Simple Paralelo a la fibra para Ø3/8" con otras especies madereras	122
Gráfico 57: Comparativo Porcentual	123

LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

SIMBOLOS Y UNIDADES

%	porcentaje
±	más o menos
°C	grado Celsius
∅	diámetro
g	gramo
g/cm ³	gramo por centímetro cúbico
Ha	hectárea
kg	kilogramo
kg/cm	kilogramo por centímetro
kg/cm ²	kilogramo por centímetro cuadrado
kg/cm ³	kilogramo por centímetro cúbico
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cubico
mm	milímetro
msnm	metros sobre el nivel del mar
ohm	ohmio
pt	pie tablar
pulg	pulgada
Tn	tonelada

SIGLAS

ASTM	American Society for Testing Materials
CNF	Cámara Nacional Forestal
CORMA	Corporación Chilena de la madera
FAO	Food and Agriculture Organization
INDECOPI	Instituto de Defensa del Consumidor y La Propiedad Intelectual
INIA	Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
JUNAC	Junta del Acuerdo de Cartagena
NDS	National Design Specification
NTP	Norma Técnica Peruana

OIMT Organización Internacional de las Maderas Tropicales
SENCICO Servicio Nacional de la Capacitación para la Industria de la
Construcción

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tuvo como objetivo analizar el comportamiento de las uniones estructurales con tirafones en madera Tornillo (*cedrelinga catenaeformis duke*).

El presente informe o documento consta de 6 capítulos.

El Capítulo I indica a rasgos generales la situación actual de la madera en el Perú; asimismo 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.

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

En el Capítulo III se 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 presenta 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 Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Ingeniería, se analizan las propiedades físicas y mecánicas y se comparan con estudios realizados anteriormente con otras especies.

En el Capítulo VI se presentan algunas recomendaciones para el diseño de uniones con tirafones en madera, tanto para uniones sometidas a cargas de extracción como para uniones sometidas a cargas de cizallamiento.

De esta manera se logró conseguir una visión panorámica del uso de tirafones en madera de baja densidad, quedando así planteado el reto a estudios más

detallados de cada variable y con la finalidad de obtener valores de diseño menos conservadores y más precisos.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1 LA MADERA EN EL PERU

Los bosques naturales en el Perú presentan una gran diversidad biológica, reflejada en una amplia variedad de tipos de bosques. El Perú posee 78.8 millones de ha (hectárea) de bosques naturales, de los cuales 74.2 millones se encuentran en la región de la Selva, 3.6 millones en la Costa y 1.0 millón en la Sierra. Con esta superficie se ubica en el segundo lugar en extensión de bosques naturales a nivel de Sudamérica y en el noveno lugar a nivel mundial. Según la clasificación de suelos por capacidad de uso mayor de la tierra, el 80.14% del total del territorio nacional corresponden a tierras aptas para la producción forestal y tierras de protección, mientras que sólo el 5.92% corresponden a tierras aptas para cultivos y el 13.94% son aptas para pastos y ganadería

El "Estudio de tendencias y perspectivas del sector forestal en América Latina" elaborado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), señala que el sector forestal en el Perú sólo aporta el 1% o menos, del PBI global. Cálculos recientes indican que este aporte puede llegar al 2.7% teniendo en cuenta que el sector forestal está vinculado a dos actividades económicas que son parte del PBI: agricultura, caza y silvicultura e industria manufacturera. Dentro de esta última, la industria de madera y muebles representa el 12.7% (estimado a 1998). Esto implica que la industria de madera y muebles incide en aproximadamente el 2.7% del PBI global.

Las estadísticas oficiales señalan que la producción de madera en el Perú ha ido decreciendo en los últimos años, habiendo llegado en el año 2001 a 8.38 millones de m³, de los cuales el 87% (7.3 millones de m³) se destina para leña y carbón y el 13% (1.1 millones de m³) para madera en rollo industrial, de la cual el 89.28% se destina para madera aserrada y el 21.19% para madera contrachapada. La industria de aserrío es la más importante actividad de transformación de madera en el país, estimándose que hay actualmente en

operación un total de 200 aserraderos con una capacidad instalada ligeramente superior a 1 millón de m³, ubicándose los más importantes en las regiones de Ucayali, Junín, Loreto, Madre de Dios y San Martín. Las deficiencias más notorias de este tipo de industria son el elevado desperdicio (más del 40%) de la materia prima, el poco valor agregado a los productos forestales y el déficit de capacidad de secado de madera aserrada.

La Cámara Nacional Forestal (CNF) en su boletín informativo N°03 de Agosto del 2009, del proyecto "Fortalecimiento de la cadena productiva de la madera proveniente de concesiones forestales y otros bosques bajo manejo forestal", indica que la demanda productos maderables para construcción, equivalente a 2 163 254 m³/año, de los cuales 2 021 917 son de madera aserrada, 100 439 de madera para pisos y 40 898 de tableros (paneles y revestimientos). Por su parte, la oferta de madera y sus manufacturas está conformada por la producción nacional y las importaciones. La producción nacional de madera rolliza del año 2007 fue de 2 086 523 m³, mientras que la de madera aserrada fue de 936 667 m³.

1.2 INVESTIGACIONES SOBRE UNIONES

El estudio de uniones con tirafones, en el Perú no ha sido muy desarrollado aún, se ha encontrado una tesis de uniones estructurales con tirafones en madera tornillo hecho en la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria de la Molina elaborada por Manuel La Rosa Musante (14), también se han realizado tesis de uniones con tirafones en maderas Quinilla Colorada y Capirona realizados en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería elaborados por Claudia Paredes Palomino (19) y Jany Hurtado Ángel (8), y a nivel nacional se cuenta con el "Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino" elaborado por la Junta del Acuerdo de Cartagena (12), siendo su última edición del año 1984, en él se incluyen sólo dos dispositivos para uniones estructurales que son clavos y pernos.

En el comercio nacional existen muchos más dispositivos como son los tornillos, tirafones, zunchos, pletinas y ángulos metálicos, que no sólo sirven para uniones entre piezas de madera sino para madera con acero o concreto.

De todas las uniones las más fáciles de fabricar y verificar son las uniones clavadas. La mayoría de las uniones en construcción liviana se hacen con clavos y para obtener mayor resistencia se utilizan los pernos. Muchas experiencias han indicado que existen sitios donde es difícil colocar pernos; así mismo, estos usan accesorios adicionales que son las arandelas y tuercas, siendo estos últimos elementos desfavorables para la apariencia.

El tirafón es comúnmente usado en sitios donde es difícil colocar un perno o donde la apariencia de la tuerca sobre la superficie será objetable, ya que poseen puntas agudas y los hilos de rosca gruesos son diseñados para penetrar y para agarrar la fibra de madera alcanzando una alta resistencia.

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 mencionamos a continuación:

- a. **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.
- b. **Densidad.**- 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 compresión 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.

- c. **Contenido de Humedad.**- Hansen (7), señala 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.
- d. **Dirección de las fibras.**- de las pruebas realizadas en diversos estudios tecnológicos del Timber Engineering Company (21), se puede afirmar que la resistencia de la madera a la compresión, flexión y tracción disminuye 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.
- e. **Planos de Corte.**- se tienen tres tipos de planos: simple, doble y múltiple. Hansen (7), 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 calculará 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 tomará igual a dos veces el espesor del miembro lateral más delgado empleado. En caso de que una unión está formada por dos miembros desiguales se calculará 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 calculará la carga permisible tomando como base una pieza de dos veces el espesor del miembro más delgado y reduciendo esta carga en un 50%.
- f. **Duración de la Carga.**- la madera tiene la propiedad de soportar cargas grandes en tiempos reducidos y menores en tiempos prolongados.
- g. **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

meta sobrante, después de reducir la sección de los agujeros del elemento de unión.

- h. Espaciamientos.-** los espaciamientos mínimos dependen del diámetro del elemento, estas son distancias medidas del centro del tirafón al borde, al extremo de la unión o medidas también entre tirafones.

1.4 LA INDUSTRIA MADERERA EN EL PERU

La industria maderera está comprendida casi en su totalidad por la transformación mecánica de madera rolliza de madera escuadrada, abarcando las líneas de aserrado, parqué, laminados y otros productos. Esta industria se abastece esencialmente de maderas provenientes de bosques tropicales y por ello se ubica en la región de la selva. La transformación primaria presenta tres grandes ejes de desarrollo: Loreto, Ucayali y la selva central (la cual abarca, entre otras, las zonas de Oxapampa, Villa Rica, Pichanaki, Satipo, Masamari e Izcosazin). En estas áreas, el 95% de las actividades económicas gira en torno a la industria maderera. Los procesos de transformación primaria cuentan con una maquinaria obsoleta y sobredimensionada y se realizan de forma independiente de la extracción, de manera que los industriales generalmente adquieren su materia prima a través de contratos con agentes extractores. La capacidad media instalada en los aserraderos asciende a 200 000-300 000 pt/mes; en la sierra, existen algunos aserraderos pequeños con una capacidad de producción combinada inferior a los 1 200 metros cúbicos/año, concentrados en el departamento de Junín.

Estas pequeñas industrias producen carbón vegetal, madera aserrada, puntales para mina, muebles rústicos y postes preservados. En la Costa Norte existen pequeños aserraderos especializados en la fabricación de cajones de embalaje para frutas y en la producción de parqué; en razón de la existencia de veda forestal desde 1974.

La CNF (3) ha realizado estudios a diversas especies madereras del Perú, en el cuadro 1 se puede apreciar dicha relación. Debido a la gran cantidad de especies madereras estudiadas es muy alentador incentivar el estudio de las uniones estructurales con tirafones en dichas especies.

Cuadro 1: Principales especies forestales del Perú

Item	Nombre Común	Nombre Científico
1	Aguano masha	Paramachaerium omosioides
2	Andiroba	Carapa guianensis
3	Azúcar huayo	Hymenaea oblongifolia
4	Bolaina blanca	Guazuma crinita
5	Cachimbo	Cariniana domesticata
6	Caoba	Swietenia macrophylla
7	Capirona	Calycophyllum spruceanum
8	Catahua	Hura crepitans
9	Cedro	Cedrela odorata
10	Congona/Manchinga	Brosimum alicastrum
11	Copaiba	Copaifera officinalis
12	Cumala	Virola sp.
13	Estoraque	Myroxylon balsamum
14	Higuerilla	Cunuria spruceana
15	Huayruro	Ormosia sp.
16	Ishpingo	Amburana cearensis
17	Lagarto caspi	Calophyllum brasiliensis
18	Lupuna blanca	Ceiba pentandra
19	Marupa	Simarouba amara
20	Mashonaste	Clarisia racemosa
21	Moena amarilla	Aniba amazónica
22	Ojé renaco	Ficus sp.
23	Ojé rosado	Ficus glabrata
24	Palo sangre	Pterocarpus sp.
25	Panguana	Brosimum utile
26	Pashaco	Parkia pendula
27	Pumaquiro	Aspidosperma macrocarpon
28	Quinilla colorada	Manilkara bidentata
29	Requia	Guarea sp.
30	Shihuahuaco	Coumarouna odorata
31	Tahuarí	Tabebuia serratifolia
32	Tornillo	Cedrelinga catanaeformis
33	Ubos	Spondias mombin
34	Utucuro	Septotheca tesmanii
35	Yacushapana	Terminalia amazónica

1.4.1 Especies maderables estudiadas en el Perú

Se conocen más de 2 500 especies en árboles identificadas en nuestra amazonía 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 Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC), el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), el Servicio Nacional de la Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) y otros colaboradores particulares, se tienen registros de propiedades de árboles por especies.

Sin embargo la mayoría de estos trabajos no avalan que sean madera de 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 sólo sus propiedades físicas.

Entre las variedades peruanas estudiadas en la Junta del Acuerdo de Cartagena, en los Proyectos Andinos de Desarrollo Tecnológico en el Área de los Recursos Forestales Tropicales, PADT-REFORT, tenemos:

- ✓ Maquzapa Ñagcha.
- ✓ Machinga.
- ✓ Cachimbo.
- ✓ Tornillo.
- ✓ Copaiba.
- ✓ Estoraque.
- ✓ Casho Fuerte.
- ✓ Diablo Fuerte.
- ✓ Palo Sangre Amarillo.
- ✓ Ucshaquiuro Blanco.
- ✓ Pumaquiuro.
- ✓ Panguana.
- ✓ Almendro.
- ✓ Huimba.
- ✓ Catahua Amarilla.
- ✓ Moena Negra.
- ✓ Huayruro.
- ✓ Chemicua.
- ✓ Palo Sangre Negro.
- ✓ Maruja.

CAPITULO II: DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA MADERA TORNILLO

2.1 ASPECTOS GENERALES

Las especies forestales se clasifican en dos grandes grupos: latifoliadas y coníferas. Aún cuando las diferencias entre ambos grupos son de origen botánico, existe la creencia errónea que esta clasificación puede ser aplicada al campo de las propiedades físicas y mecánicas de la madera que de ellas se obtiene. Este error deriva probablemente de la denominación inglesa de ambos grupos: "Hardwood" (maderas duras), para las latifoliadas, y "Softwood" (maderas blandas) para las coníferas.

Las coníferas corresponden a una clasificación de orden superior, que abarca a aquellas especies cuyos frutos son estructuras llamadas conos, aunque en algunas coníferas esta estructura no es tan evidente. Casi siempre sus hojas poseen forma de agujas o muy alargadas; la madera es resinosa.

Sus estructuras florales son relativamente simples y la fecundación es realizada comúnmente por el viento o corrientes de aire.

Las latifoliadas, abarcan a muchas especies cuya característica principal es poseer hojas anchas, aunque en esta clasificación entran especies de hojas angosta y alargada. Los frutos se clasifican en estructuras más variadas, como nueces, bayas, etc. Las exudaciones en la madera pueden ser látex o gomas. La mayor parte de las especies que pierden regularmente la hoja en forma estacional corresponden a este grupo. Las estructuras florales son casi siempre más vistosas, como muchas especies que son polinizadas por insectos o aves, aunque otras tienen formas más simples de polinización.

La madera proviene de árboles que se pueden clasificar botánicamente, asignando un nombre científico a la especie cuya madera es de nuestro interés. Esto permite evitar la confusión que surge del uso y abuso de los nombres comunes. Un nombre científico de una especie posee dos palabras. La primera

describe el Género al que pertenece, mientras que la otra denota la especie en sí.

El conjunto de Géneros relacionados botánicamente entre sí constituye una Familia. Ejemplo: El género NOTHOFAGUS está integrado por varias especies como: *Nothofagus alpina* (Raulí), *Nothofagus dombeyi* (Coigüe), *Nothofagus obliqua* (Roble), etc.

Hay un sólo nombre científico, de uso vigente, para cada especie maderera y, un indefinido número de nombres comerciales o comunes en uso para esa misma madera. En segundo lugar, a diferencia de los nombres comunes que generalmente nada indican acerca de la madera, el nombre científico de la especie, cuya madera es de interés, en algo orienta. Ejemplo:

Los PINUS generalmente poseen fibra larga. Sin embargo, esto no es absoluto. El punto quizás más importante es que el nombre científico es el mismo en todos los países y es único.

2.1.1 Estructura de la madera

A través de sus hojas los árboles absorben dióxido de carbono del aire y por medio de sus raíces toman agua y minerales del suelo. El agua y los minerales forman la savia, la cual asciende hacia las hojas y en ellas, mediante el fenómeno denominado fotosíntesis, se combina con el dióxido de carbono para formar compuestos básicos de carbohidratos.

Estos compuestos bajan por el cambium, capa delgada ubicada debajo de la corteza, desde donde proveen el alimento a las células o fibras las cuales constituyen el material leñoso de la madera.

Se considera como madera a los troncos, ramas y raíces de los árboles y arbustos, desprovistos de su corteza.

La madera es un material orgánico, no homogéneo, compuesto de células. Éstas están conformadas fundamentalmente, por celulosa y lignina. La celulosa constituye la estructura de las paredes celulares, mientras que la lignina es el material ligante de las células entre sí. Las células de madera son huecas y en las coníferas tienen una longitud comprendida entre 3 a 5 mm de longitud y

0,030 a 0,045 mm de espesor. En las latifoliadas son bastantes más cortas. Aun cuando la mayoría de las células se orientan verticalmente en el árbol, algunas de ellas se encuentran distribuidas horizontalmente en forma de radios en la sección transversal del árbol. Esta conformación celular es, en gran medida, la responsable de las diferentes respuestas estructurales dadas por la madera, según sea el sentido y características de la sollicitación (anisotropía).

La estructura de la madera se muestra en la figura N° 1, y a continuación se describe cada parte de ella:

- a. **Médula.**-Tejido inactivo en el árbol adulto, que normalmente ocupa una posición central. Tiene escasas cualidades mecánicas.
- b. **Anillos de Crecimientos.**- Anillos concéntricos a la médula, presentes en especie donde las estaciones climáticas son marcadas. Cada anillo está compuesto por una zona más clara y otra más oscura. Registra el crecimiento estacional y permite en muchas especies determinar la edad mediante su recuento. Existen anillos falsos provocados por otras causas que las estacionales.
- c. **Corteza.**- Capa exterior que cumple una labor de protección a los agentes climáticos, patológicos, etc. Por lo general es fácilmente distinguible del resto de la madera.
- d. **Albura.**- Zona exterior de la madera, constituida por tejido vivo, encargado de la traslocación del agua, con nutrientes hacia las hojas.
Corresponde al xilema activo y en muchas especies es distinguible por tener un color más claro, aunque a veces el color no es índice fiel del xilema activo.
- e. **Duramen.**- Zona más hacia el interior del tronco, constituida por tejido similar a la albura, pero que está inactivo y ha sufrido un proceso de deposición de diversas sustancias en sus células, llamado duraminización.

La albura recibe el nombre común de "hualle", principalmente en referencia a los *Nothotagus* (roble, coigüe, raulí, lengua, etc.), mientras que el duramen recibe el nombre vulgar de "pellín". Para contenidos de humedad equivalentes, las propiedades mecánicas de la albura y duramen no tienen diferencias significativas y la madera provenientes de ambas zonas, tienen pesos específicos similares. El duramen posee mayor resistencia a hongos e insectos

(durabilidad natural), debido a la deposición de materias tóxicas. Sin embargo si la madera ha de ser tratada, es preferible la presencia de albura, debido a que el movimiento del preservante hacia el interior es mejor que en el duramen, confiriendo mayor protección. En general, el duramen es más oscuro que la albura pero, en algunas especies esta diferencia de color es apenas perceptible. La proporción de albura respecto a la sección transversal del árbol varía de especie en especie.

En la médula del árbol se inician anillos concéntricos, que continúan hacia la corteza. Cada anillo representa el crecimiento del árbol durante un año.

Este crecimiento se verifica en el cambium, de tal manera que la nueva madera se agrega inmediatamente al interior de esta capa y tiende a empujar la corteza hacia fuera. Cuando los árboles crecen en un clima variable, es posible distinguir un anillo de crecimiento de otro, porque las células que se forman en la estación fría son diferentes de las que se forman en la estación cálida, originándose madera de primavera y madera de verano. Cada anillo anual se divide en dos capas: La interior, llamada de primavera, se desarrolla durante la primera parte de la estación de crecimiento. Se compone de células grandes, de pared delgada y es generalmente más clara en color que la madera de verano.

La capa exterior, llamada de verano, consiste en células más pequeñas, con paredes más gruesas y es la parte oscura del anillo anual. Es más pesada, más fuerte que la madera de primavera y tiene un efecto importante en determinar las propiedades de resistencia de la mayoría de las especies.

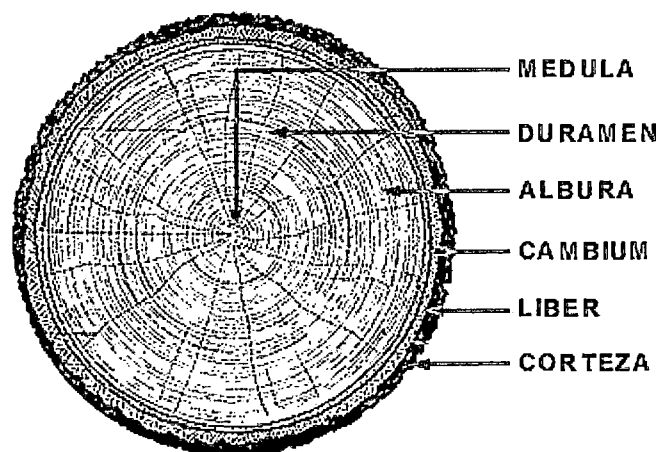


Figura 1: Estructura macroscópica de la madera

2.1.2 Propiedades físicas y mecánicas

La madera elaborada a través de un proceso de aserrío se denomina pieza de madera y posee propiedades definidas.

- **Propiedades Básicas**

Independientemente de la especie, la madera puede ser considerada como un material biológico, anisotrópico e higroscópico.

Es un material biológico, ya que está compuesto principalmente por moléculas de celulosa y lignina. Siendo madera elaborada, puede ser biodegradada por el ataque de hongos e insectos taladradores, como son las termitas.

Por ello, a diferencia de otros materiales inorgánicos (ladrillo, acero y hormigón, entre otros), la madera debe tener una serie de consideraciones de orden técnico que garanticen su durabilidad en el tiempo.

La madera es un material anisotrópico. Según sea el plano o dirección que se considere respecto a la dirección longitudinal de sus fibras y anillos de crecimiento, el comportamiento tanto físico como mecánico del material, presenta resultados dispares y diferenciados. Para tener una idea de cómo se comporta, la madera resiste entre 20 y 200 veces más en el sentido del eje del árbol, que en el sentido transversal.

Debido a este comportamiento estructural tan desigual, se ha hecho necesario establecer:

- Eje tangencial
- Eje radial y
- Eje axial o longitudinal

El eje **tangencial**, como su nombre lo indica, es tangente a los anillos de crecimiento y perpendicular al eje longitudinal de la pieza (ver figura 2).

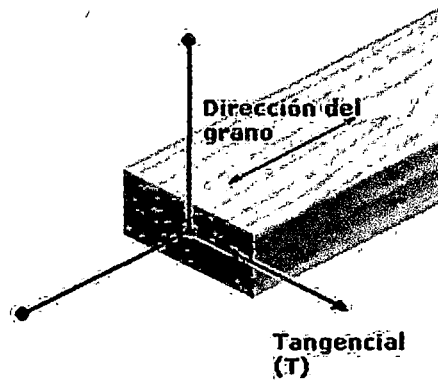


Figura 2: Eje Tangencial

El eje **radial** es perpendicular a los anillos de crecimiento y al eje longitudinal (ver figura 3).

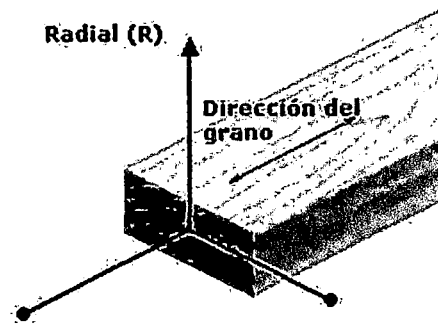


Figura 3: Eje Radial

El eje **longitudinal** es paralelo a la dirección de las fibras y por ende, al eje longitudinal del tronco (ver figura 4). Forma una perpendicular respecto al plano formado por los ejes tangencial y radial.

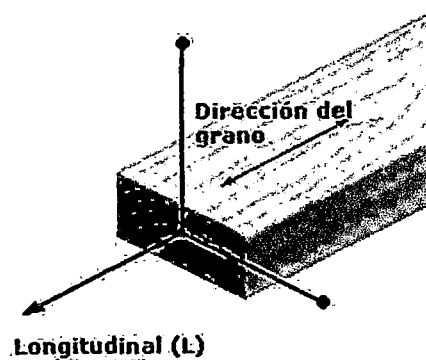


Figura 4: Eje Longitudinal

La madera es un material higroscópico. Tiene la capacidad de captar y ceder humedad en su medio, proceso que depende de la temperatura y humedad relativa del ambiente. Este comportamiento es el que determina y provoca cambios dimensionales y deformaciones en la madera.

El éxito de cualquier trabajo que se realice en madera depende del conocimiento que tengamos de la materia prima que usemos. No es lo mismo comprar madera para realizar un trabajo de carpintería exterior, que adquirir madera para proyectar una obra de ebanistería interior.

Por otra parte, el conocimiento y estudio básico que se tenga de la madera que se va a trabajar, nos confiere una ventaja a la hora de desarrollar sobre ella los procedimientos y técnicas que queramos utilizar, en función del proyecto a realizar.

Evidentemente, no es lo mismo cepillar una madera blanda que una madera dura.

Para evitar complicaciones en nuestro trabajo, antes de enfrentarnos a una madera es interesante tener en cuenta cuales sus propiedades físicas.

PROPIEDADES FÍSICAS

- **Contenido de humedad**

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada (savia embebida) en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares.

Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad.

- **Densidad de la madera**

Como se sabe, la densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen.

En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

- **Contracción y expansión de la madera**

La madera es un material higroscópico cuya variación en su contenido de humedad dentro de ciertos rangos, trae consigo cambios tanto en su peso como en sus dimensiones; a su vez, estos cambios pueden producir deformaciones, formación de grietas y rajaduras. En el proceso de secado, cuando se pierde el agua que se encuentra en los lúmenes (agua libre) de las células de la madera, sólo se manifestará una reducción de su peso, sin embargo, cuando se inicia la evaporación del agua que se encuentra saturando las paredes celulares de las mismas células (agua higroscópica), se iniciará la contracción de la propia pared celular y la contracción de la madera en su conjunto de manera más significativa, con el consecuente riesgo de la tendencia a la deformación y agrietamiento.

Por lo anterior, se considera importante conocer cuál es el valor del contenido de humedad que corresponde justo al nivel en el cual una madera ha perdido teóricamente toda su agua libre y sus paredes celulares están saturadas de agua higroscópica, ya que, como se indicó, ese punto representa el inicio de las contracciones (en un proceso de secado) o el máximo de su hinchamiento (en un proceso de adsorción). A este nivel se le conoce técnicamente como punto de saturación de la fibra, (PSF).

Las dimensiones de la madera comienzan a disminuir en los tres ejes anteriormente descritos: tangencial, radial y longitudinal. Sin embargo, en este proceso la contracción tangencial es la mayor.

A la contracción tangencial le sigue la radial, con menos efecto, pero significativo en la deformación de la pieza.

La contracción longitudinal es prácticamente despreciable en madera utilizada con fines estructurales.

La contracción por secado provoca deformaciones en la madera. Sin embargo con un adecuado método, los efectos son beneficiosos sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera.

- **Propiedades eléctricas**

La madera anhidra es un excelente aislante eléctrico, propiedad que decae a medida que aumenta el contenido de humedad.

En estado anhidro y a temperatura ambiental, la resistencia eléctrica es de aproximadamente 1 016 ohm-metro, decreciendo a 104 ohm-metro, cuando la madera está en estado verde. Esta gran diferencia se produce cuando el

contenido de humedad varía entre 0% y 30 %, base para el diseño de los instrumentos eléctricos que miden humedad (xilohigrómetros).

- **Propiedades acústicas**

La madera, como material de construcción, cumple un rol acústico importante en habitaciones y aislación de edificios, ya que tiene la capacidad de amortiguar las vibraciones sonoras. Su estructura celular porosa transforma la energía sonora en calórica, debido al roce y resistencia viscosa del medio, evitando de esta forma transmitir vibraciones a grandes distancias.

- **Propiedades térmicas**

La madera y demás materiales celulósicos son malos conductores del calor debido a que estos cuerpos tienen escasez de electrones libres, que son los responsables de una fácil transmisión de esta forma de energía (lo contrario de lo que ocurre en los metales), y también debido a que la madera y sus productos derivados son cuerpos porosos y por consiguiente su amplitud conductora tiene un valor intermedio entre los de sus componentes sólidos y los del aire contenido en los poros.

a) La conductividad térmica es la propiedad física que nos indica la mayor o menor facilidad con que una sustancia determinada realiza la transmisión de calor, dependiendo, en el caso concreto de la madera de los siguientes factores: temperatura, dirección de la fibra, densidad, humedad, contenido de extractos e irregularidades estructurales tales como fendas y nudos.

La conductividad térmica se mide mediante un coeficiente de conductividad y está íntimamente relacionada con la densidad de la madera. Las cavidades celulares de la madera seca (bajo el PSF) están llenas de aire, el cual es un mal conductor térmico. Por ello, las maderas de baja densidad conducen menos calor que las de alta densidad.

b) Calor específico es definido como la cantidad de calor necesario para aumentar en 1 grado Celsius (°C), la temperatura de un gramo de madera.

El calor específico en la madera es 4 veces mayor que en el cobre y 50% mayor que en el aire. No depende de la especie ni densidad, pero sí varía con la temperatura.

La combinación de estos dos aspectos hace de la madera un material que absorbe calor muy lentamente.

La alta resistencia que ofrece la madera al paso del calor, la convierte en un buen aislante térmico y en un material resistente a la acción del fuego.

La madera, al igual que otros materiales, se dilata o contrae al aumentar o disminuir la temperatura, pero su efecto es bastante menor, sin ser despreciable, en valores que representan 1/3 del acero y 1/6 del aluminio, aproximadamente.

PROPIEDADES MECÁNICAS

Generalidades

Las propiedades mecánicas de la madera determinan la capacidad o aptitud para resistir fuerzas externas.

Se entiende por fuerza externa cualquier sollicitación que, actuando exteriormente, altere su tamaño, dimensión o la deforme.

El conocimiento de las propiedades mecánicas de la madera se obtiene a través de la experimentación, mediante ensayos que se aplican al material, y que determinan los diferentes valores de esfuerzos a los que puede estar sometida.

ENSAYOS

Los ensayos se realizan en dos estados de contenido de humedad, uno con probetas de humedad superior al 30% (estado verde), y el segundo con probetas de humedad 12% (estado seco al aire).

- **Compresión paralela a las fibras**

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección paralela a las fibras, la que se realiza en columnas cortas para determinar la tensión de rotura, tensión en el límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad (ver figura 5).

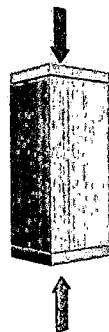


Figura 5: Esquema de Ensayo de compresión paralela a las fibras

- **Compresión normal a las fibras**

Es la resistencia de la madera a una carga en dirección normal a las fibras, aplicada en una cara radial, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad y tensión máxima (ver figura 6).

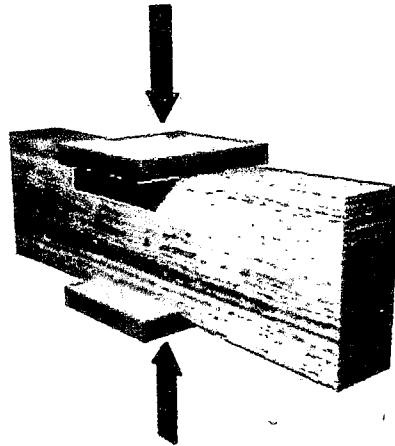


Figura 6: Esquema de Ensayo de Compresión normal a las fibras

- **Flexión estática**

Es la resistencia de la viga a una carga puntual, aplicada en el centro de la luz, determinando la tensión en el límite de proporcionalidad, tensión de rotura y el módulo de elasticidad (ver figura 7).

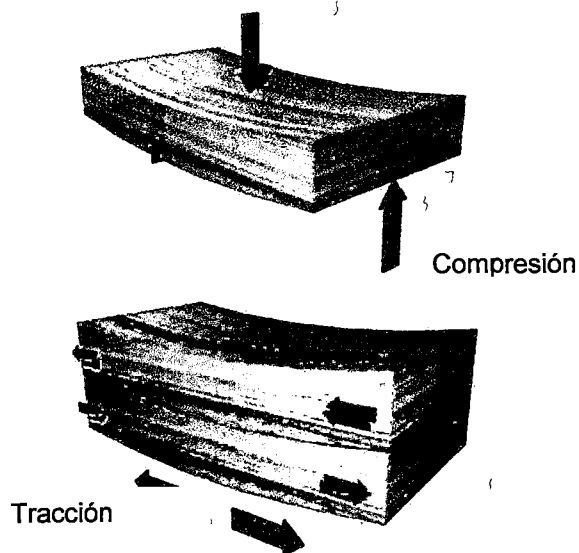


Figura 7: Esquema de ensayo de flexión estática.

- **Tenacidad**

Es la capacidad que tiene la madera de absorber energía al aplicar una carga que actúa en forma instantánea (ver figura 8).



Figura 8: Esquema de ensayo de tenacidad.

- **Corte o Cizalle**

Es la medida de la capacidad de la pieza para resistir fuerzas que tienden a causar deslizamiento de una parte de la pieza sobre otra (ver figura 9).

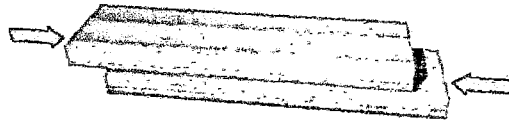


Figura 9: Esquema de Ensayo de Corte longitudinal

Según la dirección de las fuerzas que la producen se pueden clasificar en:

a) Corte paralelo tangencial

La sollicitación es paralela a las fibras y produce un plano de falla, tangente a los anillos de crecimiento (ver figura 10).

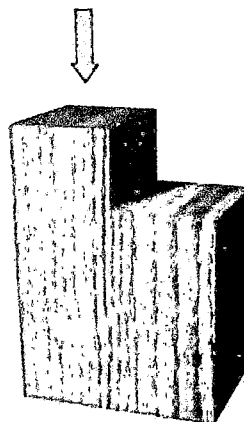


Figura 10: Esquema de ensayo de cizalle paralelo tangencial

b) Corte paralelo radial

La sollicitación es paralela a las fibras y produce un plano de falla perpendicular a los anillos de crecimiento (ver figura 11).

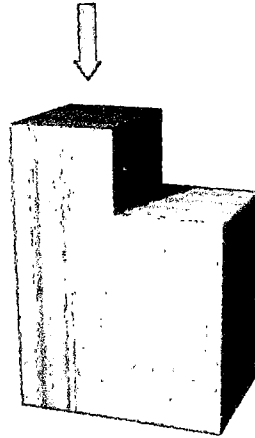


Figura 11: Esquema de ensayo de cizalle paralelo radial

- **Clivaje tangencial y radial**

El clivaje es la resistencia que ofrece la madera al rajamiento, ver el esquema del ensayo en la figura 12.

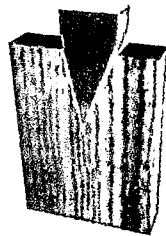


Figura 12: Esquema de ensayo de clivaje.

Dependiendo de la ubicación de los anillos de crecimiento con respecto al plano de falla, el clivaje puede ser tangencial y radial.

a) Clivaje tangencial

El plano de falla es tangente a los anillos de crecimiento.

b) Clivaje radial

Es aquel en que el plano de falla es normal a los anillos de crecimiento (ver figura 13).

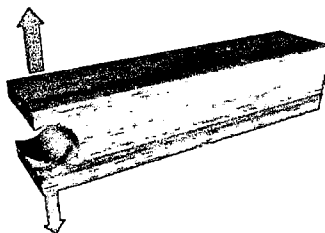


Figura 13: Esquema de ensayo de clivaje radial.

- **Tracción paralela a las fibras**

Es la resistencia a una carga de tracción en dirección paralela a las fibras, ver el esquema del ensayo en la figura 14.

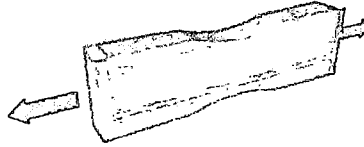


Figura 14: Esquema de ensayo de tracción paralela a las fibras.

- **Tracción normal a las fibras**

Es la resistencia que opone la madera a una carga de tracción en la dirección normal a las fibras, ver la figura 15 que representa un esquema del ensayo.

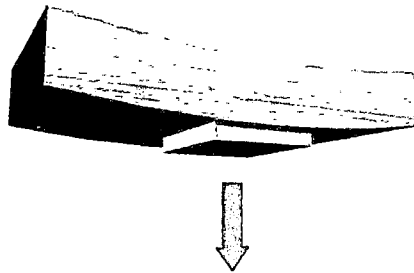


Figura 15: Esquema de tracción normal a las fibras.

Según la posición del plano de falla con respecto a los anillos de crecimiento, se puede distinguir la tracción normal tangencial y la tracción normal radial.

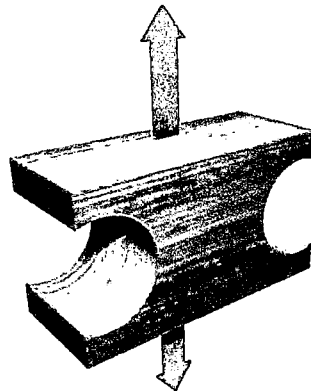


Figura 16: Esquema de tracción normal radial a las fibras.

- **Dureza**

Es la resistencia que presenta la madera a la penetración, el esquema del ensayo se muestra en la figura 17.

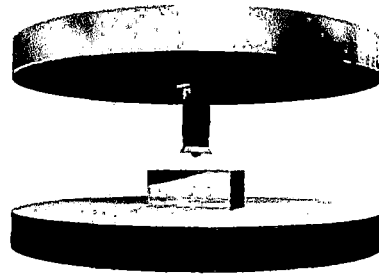


Figura 17: Esquema de ensayo de dureza. Puede medirse en forma normal o paralela a la fibra.

2.2 DESCRIPCIÓN DE LA MADERA TORNILLO

Esta especie está distribuida en la Amazonía peruana, brasileña, colombiana, ecuatoriana, y en Surinam. Su distribución en el Perú va desde los 120 hasta 800 msnm, con temperaturas que varían de 15 °C hasta 38 °C y precipitaciones anuales de 2 500 hasta 3 800 mm. Se lo encuentra en bosques aluviales y bosques de colina.

Es una especie gregaria, se la encuentra en concentraciones. En la Amazonía peruana, las principales especies que se encuentran asociadas con el tornillo son: "moena" (géneros Aniba, Ocotea, Persea y Nectandra), "nogal" (*Juglans neotropica*), "Manchinga" (*Brosimum alicastrum*), "Mashonaste" (*Clarisia racemosa*), "almendro" (*Caryocar* sp.), "quinilla" (*Manilkara bidentata*), "sapote" (*Matisia* sp.), "cedro de altura" (*Cedrela* sp). En cantidades menores; "requia" (*Guarea* sp.), "bolaina blanca" (*Guazuma crinita*), "capirona" (*Calycophyllum* sp.), "cumala" (*Virola* sp.), "estoraque" (*Miroxylom balsamun*).

Descripción

Árbol de 0.5-2 m de diámetro y 20-40 m de altura total, con fuste cilíndrico, la ramificación desde el segundo o tercer tercio, la base del fuste recta.

Corteza externa agrietada a fisurada, color marrón pardo a rojizo, con placas de ritidoma de unos 3-5 x 8-13 cm.

Corteza interna homogénea, color crema ha rosado blanquecino, sin secreciones.

Ramitas terminales con sección circular, color marrón claro cuando secas, de unos 5-10 mm de diámetro, lenticeladas, glabras.

Hojas compuestas bipinnadas (es una hoja dividida en folíolos o segmentos, de tal modo que estos están enfrentados en el raquis secundario), alternas y dispuestas en espiral, de unos 30-40 cm de longitud, el peciolo de unos 6-30 cm de longitud, las hojas usualmente con 4 pinas, las zonas de articulación de las pinas con una glándula de unos 2-5 mm de diámetro, las láminas foliares ovadas, asimétricas, de unos 4-15 cm de longitud y 2-9 cm de ancho, enteras, el ápice acuminado, la base aguda e inequilátera, la nervación pinnada con 5-7 pares de nervios secundarios, los nervios terciarios muy paralelos y transversales al nervio central, las hojas glabras.

Inflorescencias en panículas de 12-30 cm de longitud conteniendo numerosas cabezuelas agrupadas en manojos, las cabezuelas de 2.5-3.5 cm de longitud con pedúnculos de 1-2 cm de longitud.

Flores pequeñas, hermafroditas, de unos 1- 1.5 cm de longitud, actinomorfas, con cáliz y corola presentes, el cáliz pequeño, de 1-2 mm de longitud, la corola blanquecina, de 4-5 mm de longitud, tubular, con 5 dientes; androceo con muy numerosos estambres de 1-1.5 mm de longitud, el pistilo único con un estilo largo y estigma obsoleto.

Frutos legumbres muy largas y aplanadas, de 30-40 cm de longitud y 2-3 cm de ancho, con 6-15 semillas, la legumbre estrechada entre las semillas y revirada helicoidalmente.

Esta especie es reconocible por su fuste cilíndrico, sin modificaciones en la base, la corteza externa agrietada a fisurada, color marrón rojizo o marrón oscuro, las hojas bipinnadas con folíolos muy asimétricos y los frutos estrechos y alargados, revirados. Estos últimos, al ser vistos de lejos, semejan grandes tornillos, y de allí el nombre común de esta especie.

En la figura 18 y 19, se muestran algunas características botánicas sobresalientes de la cedrelinga catenaeformis duke, se puede apreciar la forma de sus hojas y fruto principalmente.

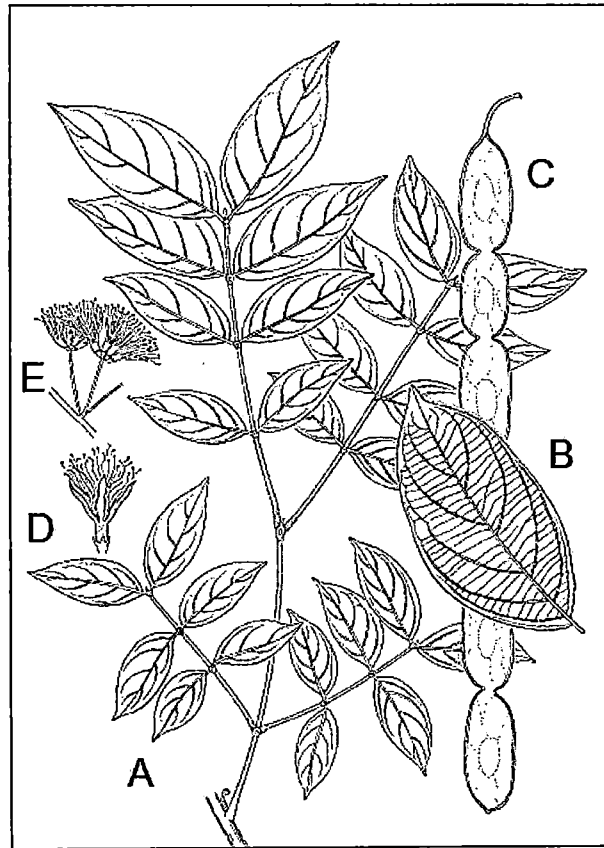


Figura 18: A. Ramita con hoja, B. Lámina foliar, C. Fruto, D. Flor, E. Parte de la inflorescencia

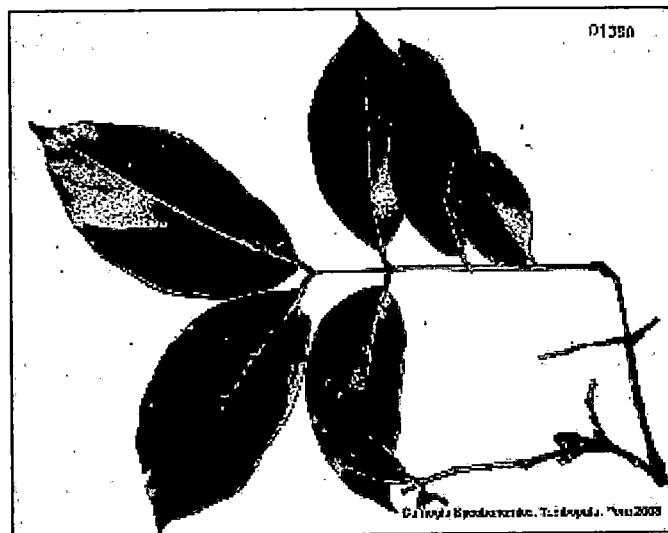


Figura 19: Hoja con ramita de la cedrelinga catenaeformis duke

La figura 20 muestra la foto de un árbol de la especie *cedrelinga catenaeformis duke*, en ella se aprecia su gran altura y algunas características principales como su tronco, ramas y hojas.

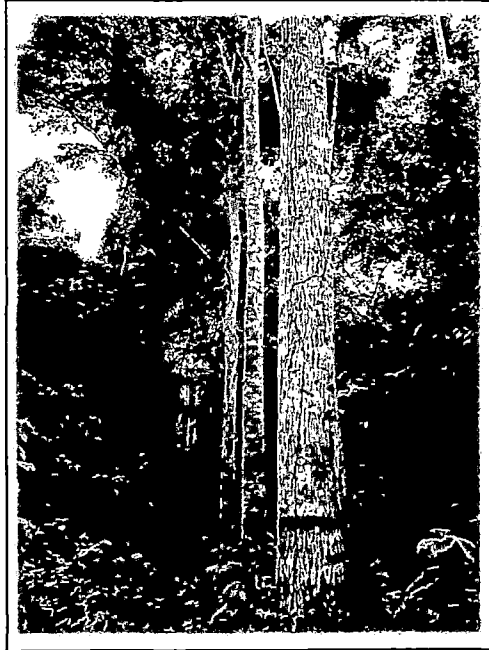


Figura 20: Bosque de *cedrelinga catenaeformis duke*

Características de la madera Tornillo

Color: El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color rosado y las capas internas (duramen) de color rojizo claro y de forma regular, observándose entre ambas capas un gradual contraste de color. En la madera seca al aire la albura se toma de color rosado y el duramen marrón rojizo.

Olor Distintivo, urticante al aserrase.

Lustre o brillo Moderado a brillante.

Grano Entrecruzado.

Textura Gruesa.

Veteado o figura: Poco definido en el corte tangencial, arcos superpuestos ligeramente diferenciados con líneas vasculares oscuras pronunciadas y en el corte radial bandas angostas, paralelas, satinadas.

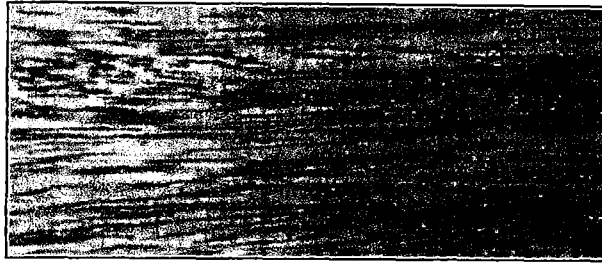


Figura 21: Madera tornillo



Figura 22: Plantaciones de madera tornillo realizadas por el INIA, principalmente en el Anexo Experimental von Humboldt (Departamento de Ucayali).

El biólogo utiliza, como todo científico y todo artesano, un lenguaje especializado que constituye su modo de expresión; para muchos biólogos hay además, una terminología más o menos complicada, por ejemplo la del genético, la del ecólogo, la del ornitólogo, etc.

También la taxonomía tiene su propio lenguaje o terminología y una parte importante de esa terminología taxonómica ha sido dedicada a dar nombres a las clases o grupos de organismos, a su vez la taxonomía es la expresión ordenada de las ideas (morfológicas, filogenéticas, etc.) que tiene el biólogo sobre la evolución de los seres vivos.

La unidad de clasificación es la especie, que se define como un grupo de organismos que se cruzan entre sí pero no con otro grupo de organismos. Las especies se designan con un sistema binomial que comprende el nombre del género seguido por el epíteto específico. Bajo un género se agrupan especies similares. Los géneros se agrupan en familias, las familias en órdenes, los órdenes en clases, las clases en divisiones, y las divisiones en reinos. Ejemplo:

el nombre científico del "llantén menor" es *Plantago lanceolata*, y el nombre científico del "llantén mayor" es *Plantago major*. *Plantago* es el género, *lanceolata* y *major* son las especies. Importante: las dos palabras latinas son el nombre científico de una especie vegetal.

En el cuadro 2 se muestra la clasificación taxonómica de la *cedrelinga catenaeformis duke* realizado por la CNF (3), dicha información nos permitirá conocer y comparar su clasificación con otras especies.

Cuadro 2: Clasificación taxonómica de la madera tornillo

División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliophyta
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Sub – familia	Mimosoideae
Tribu	Ingeae
Género	<i>Cedrelinga</i>
Especie	<i>Catenaeformis</i>
Nombre científico	<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke.
Nombre común	Tornillo.

Fuente: Cámara Nacional Forestal

Asimismo la Confederación Peruana de la Madera elaboró una ficha técnica de la *cedrelinga catenaeformis duke* en la que se muestran los valores de algunas propiedades físicas y mecánicas de la mencionada especie.

Dicha ficha tiene como finalidad familiarizar al lector con términos técnicos, propiedades de la madera y conocer el uso adecuado de esta especie; que aunque presente en el mercado, no son empleadas por la industria y sectores afines, de forma correcta.

De manera explicativa se detallarán dichas propiedades, para luego mostrar sus valores en los cuadros 3 y 4.

PROPIEDADES FÍSICAS

Densidad básica.- expresada en gr/cm^3 . Indica la relación entre el peso constante seco al horno y el volumen verde de la madera.

Contracción volumétrica.- expresada en %. Es la variación de la dimensión de una pieza de madera en volumen, entre el estado verde y el estado anhidro, debido a las contracciones radiales y tangenciales, refiriéndose esta contracción a las dimensiones en estado verde.

Contracción tangencial.- expresada en %. Es la variación de la dimensión de una pieza de la madera, en sentido perpendicular a los radios de la madera, entre el estado verde y el estado anhidro. Se refiere a las dimensiones en estado verde.

Contracción radial.- expresada en %. Es la variación de la dimensión de una pieza de madera en el sentido de los radios de la madera, entre el estado verde y el estado anhidro. Se refiere a las dimensiones en estado verde.

Relación T/R.- se refiere a la relación entre la contracción tangencial y la contracción radial.

Cuadro 3: Propiedades físicas de la madera tornillo

Densidad básica (g/cm^3)	0.45
Contracción tangencial	6.90%
Contracción radial	3.17%
Contracción volumétrica	10.65%
Relación T/R	2.2

Fuente: Confederación Peruana de la Madera

PROPIEDADES MECÁNICAS

Módulo de elasticidad en flexión.- calculado para la base elástica de flexión, el cual es expresado en Tn/cm^2 , caracteriza la proporción entre la carga y la deformación.

Módulo de ruptura en flexión.- es la carga unitaria, expresada en kg/cm^2 , que se debe aplicar en el centro de una muestra seca a peso constante y de 4 cm^2 de sección; reposando sobre dos apoyos distantes de 28 cm. para llegar a la rotura.

Compresión paralela.- indica la resistencia, que soporta la madera, a los esfuerzos de compresión paralela a las fibras. Se expresa en kg/cm^2 .

Compresión perpendicular.- indica la resistencia de la madera a cargas perpendiculares a su eje, comprimiendo las pequeñas cavidades contenidas en ella. Se expresa en kg/cm^2 .

Corte paralelo a las fibras.- indica la resistencia del elemento de unión de las fibras (lignina) a los esfuerzos de corte en esta dirección. Se expresa en kg/cm^2 .

Dureza de lados.- resistencia de la madera a la penetración. Se expresa en kg/cm^2 .

Tenacidad.- resistencia de la madera al choque o impacto. Se expresa en kg-m .

Cuadro 4: Propiedades mecánicas de la madera tornillo

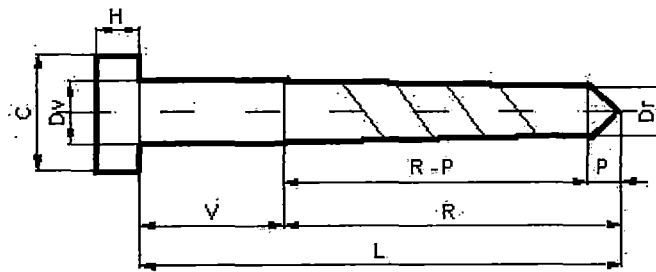
Módulo de elasticidad en flexion (Tn/cm^3)	108
Módulo de rotura en flexion (kg/cm^2)	576
Compresión paralela (kg/cm^2)	222
Compresión perpendicular (kg/cm^2)	57
Corte paralelo a las fibras (kg/cm^2)	81
Dureza en los lados (kg/cm^2)	388
Tenacidad (kg-m)	2.88

Fuente: Confederación Peruana de la Madera

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 que la del tornillo, 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. 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.



- D = diámetro nominal = Dv = diámetro del vástago sin rosca
- Dr = diámetro del vástago central en la zona roscada
- C = lado de la cabeza cuadrada
- H = espesor de la cabeza
- V = longitud del vástago
- L = longitud nominal
- R = longitud roscada total
- P = longitud de la punta aguzada

Figura 23: Esquema del tirafón, según el manual de la CORMA en la unidad 7-Uniones.

• Ventajas

La ventaja de los tirafones se encuentra en los tamaños que poseen. Los tamaños típicos se presentan desde 1" hasta 16" en longitud y desde 3/16" hasta 1" 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 tirafón hasta penetrar completamente dentro de la madera. Para facilitar la instalación es recomendable cubrir la parte roscada del tirafón con jabón o algún lubricante (grasa, manteca, etc.).

3.2 TIPO DE TIRAFONES

El rango de tirafones es de aproximadamente 5.1mm 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 varía con la longitud del tirafón y se extiende a partir de 19 mm (3/4") con longitudes de tirafones de 25.4 y 31.8 mm (1" y 1 ¼") a la mitad de la longitud para todas las longitudes mayores de 254 mm (10").

3.3 CARACTERÍSTICAS DE LOS TIRAFONES

El tirafón es fabricado en frío con acero al carbono SAE 1007 y su recubrimiento puede ser pavonado (óxido 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 apretadas 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.

A diferencia de los tornillos, los tirafones tienen hilos filosos, lo que facilita la penetración en la madera. Además poseen una rosca recta, permitiendo mayor agarre. En la figura 24 se muestran tirafones de diferentes dimensiones.

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.

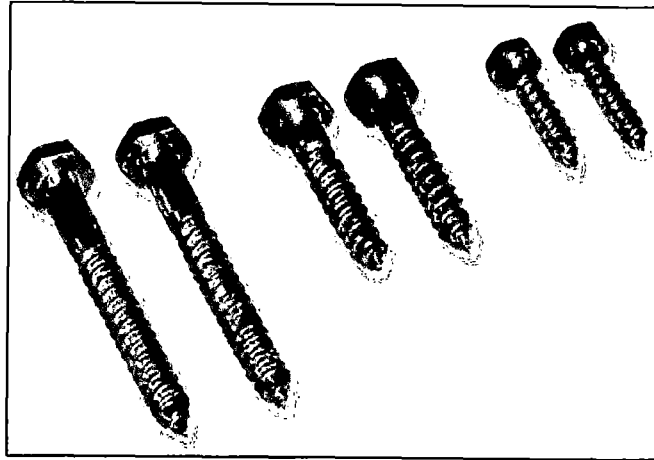


Figura 24: Tirafón zincado

3.4 PERFORACIONES GUÍAS

CORMA (6) y NDS (1) 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 alojará 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 tirafón.
2. La perforación para la zona con rosca del tirafón debe de tener una profundidad al menos igual a la longitud de la zona roscada del tirafón ($R-P$) y un diámetro comprendido entre:
 - ✓ 40% y 70% del diámetro del vástago para las especies con densidad anhidra de 0.40 gr/cm^3 (madera grupo A, dicha madera pertenece al grupo C de la clasificación estructural hecha por la Junta del Acuerdo de Cartagena (12)).
 - ✓ 60% y 75% del diámetro del vástago para las especies con densidad anhidra superior a 0.40 gr/cm^3 pero no mayor a 0.50 gr/cm^3 . (grupo B, dicha madera pertenece al grupo C de la clasificación estructural hecha por la Junta del Acuerdo de Cartagena (12)).
 - ✓ 65% y 85% del diámetro del vástago para las especies con densidad anhidra superior a 0.50 gr/cm^3 (grupo C y D, dicha madera pertenece al grupo B de la clasificación estructural hecha por la Junta del Acuerdo de Cartagena (12)).

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 daños en el tirafón, se recomienda el empleo de lubricantes en la rosca o en la perforación.

En la figura 25 se detalla las consideraciones para realizar la perforación guía, en donde φ_1 es el diámetro de la perforación guía en la zona del vástago del tirafón y φ_2 es el diámetro de la perforación guía en la zona roscada del tirafón.

En conclusión se dispone que en la zona del vástago del tirafón, la perforación guía φ_1 será igual al diámetro del vástago del tirafón (D_v). En cambio en la zona roscada la perforación guía φ_2 será realizado de acuerdo al grupo al que pertenezca la especie maderera a utilizar.

La nomenclatura de las partes del tirafón son las mismas que las indicadas en la figura 23.

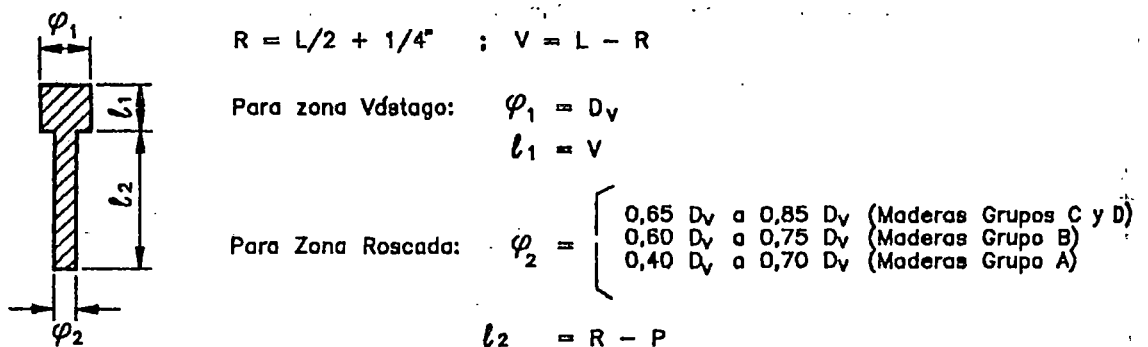


Figura 25: Perforaciones guías recomendadas por la Norma Chilena NCh 1198

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 tirafón con madera Quinilla (19) y la recomendación de la Norma Chilena 1198 (18), los tirafones deben llevar arandelas según lo indica el cuadro 5, excepto que se dispongan planchas de acero entre la cabeza del tirafón y la madera.

Cuadro 5: Dimensiones mínimas de arandelas para uniones apernadas estructurales

Díámetro del Perno	mm	10	12	16	20	>20
Espesor de la Arandela	mm	5	5	6	6	6
Díámetro 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 a 133 mm. Para los ensayos se utilizaron arandelas circulares de 1.8 mm de espesor.

3.6 PROPIEDADES MECÁNICAS

Como referencia de la tesis de grado Uniones Estructurales con tirafones en madera Quinilla, Claudia Paredes (19) 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, dichos valores se muestran en el cuadro 6 en donde se indica además que la resistencia fue de 55.6 kg/mm².

Cuadro 6: Ensayo de Tracción del tirafón

Procedencia		: Empresa CORONA			
Fecha de realizacion del ensayo		: 05-06-2005			
Maquina de ensayo		Maquina Universal de 100 Tn-Tokyokoki Seizosho			
Probeta	Carga de Fluencia	Carga Máxima	Area	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/cm²)				3071.0	5556.2
Promedio (kg/mm²)				30.7	55.56

Fuente: Tesis "Uniones estructurales con tirafones en madera Quinilla Colorada"

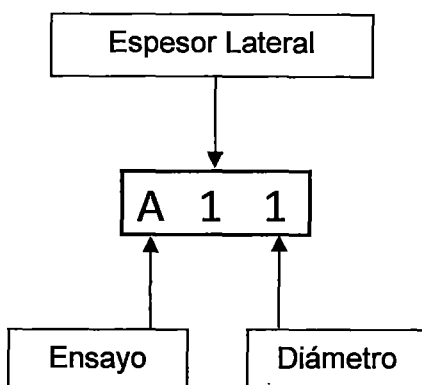
Autor: Claudia Elizabeth Paredes Palomino, 2006 FIC-UNI.-

CAPÍTULO 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 el cual se desarrollaron los ensayos físicos y mecánicos teniendo en cuenta las recomendaciones de las Normas NTP y ASTM respectivas.

El criterio utilizado para el diseño de probetas de ensayo, se basó en 2 de las variables que afectan la resistencia de tirafones.

La codificación empleada para identificar cada probeta (la probeta está comprendida por el conjunto: madera-tirafón), fue teniendo en cuenta las variables que se tomaron, que son: diámetro del tirafón (\emptyset) y la relación Espesor lateral/Diámetro (E/D).



Cuadro 7: Codificación de probetas por el tipo de ensayo

Ensayo	Clave
Corte Simple Paralelo al grano	A
Corte Simple Perpendicular al grano	B
Corte Doble Paralelo al grano	C
Corte Doble Perpendicular al grano	D
Extracción	E

Cuadro 8: Codificación de probetas por el espesor lateral

Espesor Lateral (E)	Clave
1/2"	1
3/4"	2
1"	3
1 1/2"	4

Cuadro 9: Codificación de probetas por el diámetro del tirafón

Diámetro del Tirafón (D)	Clave
1/4"	1
5/16"	2
3/8"	3

ENSAYOS FÍSICOS

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

- Ensayo de Densidad Básica.-** en este ensayo se utilizaron 20 especímenes con dimensiones de 1"x1" de sección transversal y 4" de longitud, estas probetas fueron obtenidas del material en estudio, siguiendo la N.T.P. 251.011.2004.
- Ensayo de Contenido de Humedad.-** en este ensayo se utilizaron 25 especímenes con dimensiones de 1"x1" 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 los ensayos mecánicos tanto el ensayo de extracción directa así como el de corte o cizallamiento se utilizó 60 y 105 especímenes respectivamente, los cuales se describe detalladamente en los siguientes cuadros:

Cuadro 10: Características de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos de extracción

Ensayo	Muestra	Espécimen (pulg)			Tirafón (pulg)		Profundidad de penetración (cm)	N° Ensayos	Ø broca p/perforación guía (mm)
		Principal			Diámetro	Longitud			
		espesor	ancho	longitud					
Extracción	E 1 1	2	2	6	1/4	2 1/2	2.50	10	3.00
	E 2 1	2	2	6	5/16	2 1/2	2.50	10	3.50
	E 3 1	2	2	6	3/8	2 1/2	2.50	10	4.00
	E 1 2	2	2	6	1/4	2 1/2	3.00	10	3.00
	E 2 2	2	2	6	5/16	2 1/2	3.00	10	3.50
	E 3 2	2	2	6	3/8	2 1/2	3.00	10	4.00

Cuadro 11: Características de las probetas utilizadas en los ensayos mecánicos de corte

Ensayo	Muestra	Especimen (pulg)						Tirafón (pulg)		Profundidad de penetración	Relación E/I/D	Nº Ensayos	
		Principal			Lateral			Diámetro	Longitud				
		espesor	ancho	longitud	espesor	ancho	longitud						
Corte o Cizallamiento	Corte Simple Paralelo al grano	A 1 1	2	2	12	1/2	2	12	1/4	1 1/2	1	2.00	5
		A 3 1	3	2	12	1	2	12	1/4	2 1/2	1 1/2	4.00	5
		A 4 1	4	2	12	1 1/2	2	12	1/4	3 1/2	2	6.00	5
		A 1 2	2	2	12	1/2	2	12	5/16	1 1/2	1	1.60	5
		A 3 2	3	2	12	1	2	12	5/16	2 1/2	1 1/2	3.20	5
		A 4 2	4	2	12	1 1/2	2	12	5/16	3 1/2	2	4.80	5
		A 1 3	2	2	12	1/2	2	12	3/8	1 1/2	1	1.33	5
		A 3 3	3	2	12	1	2	12	3/8	2 1/2	1 1/2	2.67	5
		A 4 3	4	2	12	1 1/2	2	12	3/8	3 1/2	2	4.00	5
	A 2 1	1 1/2	2	12	3/4	2	12	1/4	1 1/2	3/4	3.00	5	
	A 2 2	1 1/2	2	12	3/4	2	12	5/16	1 1/2	3/4	2.40	5	
	A 2 3	1 1/2	2	12	3/4	2	12	3/8	1 1/2	3/4	2.00	5	
	Doble Paralelo	C 1 1	1	2	12	1/2	2	12	1/4	2	0	2.00	5
	Corte Simple perpendicular al grano	B 1 1	2	3	12	1/2	2	6	1/4	1 1/2	1	2.00	5
		B 1 2	3	3	12	1/2	2	6	5/16	2 1/2	2	1.60	5
B 1 2		1	3	12	1/2	2	6	5/16	1 1/2	0	1.60	5	
B 1 3		1	3	12	1/2	2	6	3/8	1 1/2	0	1.33	5	
B 2 1		1 1/2	3	12	3/4	2	6	1/4	1 1/2	3/4	3.00	5	
B 2 2		1 1/2	3	12	3/4	2	6	5/16	1 1/2	3/4	2.40	5	
B 2 3		1 1/2	3	12	3/4	2	6	3/8	1 1/2	3/4	2.00	5	
Doble Perpendicular	D 1 1	1	3	12	1/2	2	6	1/4	2	0	2.00	5	

4.1 MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

• METODOS:

Para los ensayos de resistencia de las uniones se siguieron en líneas generales las especificaciones dadas por las normas ASTM (2), 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 los ensayos según la norma N.T.P. 251.010.2004 y N.T.P. 251.011.2004.

• PROCEDIMIENTOS:

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

1. Clasificación visual de vigas de madera. Cualquier irregularidad o imperfección que afecta las propiedades físicas, químicas y mecánicas de una pieza de madera puede considerarse un defecto. La finalidad de la clasificación por defectos es limitar la presencia, tipo, forma, tamaño y

ubicación de los mismos con la finalidad de obtener piezas de madera con características mínimas garantizadas. En la foto 1 se aprecia la selección de las piezas de madera que no presentaron defectos para utilizarlos en la realización de los ensayos.

2. Dimensionamiento de piezas en las vigas de madera, este trabajo se realizó en el aserradero debido a los equipos para corte y cepillado que tiene dicho aserradero, en la foto 2 se aprecia el corte de la madera con el uso de una sierra circular eléctrica.
3. Corte y cepillado de la madera, en la foto 3 y 4 se observa el uso de una máquina de corte y cepillado para madera del tipo industrial.
4. Realización de agujeros guías con el uso de un taladro eléctrico como se muestra en la foto 5.
5. Colocación de tirafones y arandelas en cada probeta de acuerdo al tipo de ensayo, en la foto 6 se muestra como se realizó dicho trabajo usando una llave de tuerca para colocar el tirafón y sujetando la pieza de madera con una prensa.
La foto 7 muestra las probetas terminadas y listas para realizar los ensayos respectivos.
6. Realización del ensayo correspondiente para cada probeta específica.

Se realizaron ensayos de corte en los cuales se tomaron lectura de datos de carga y deformación (105 ensayos-5 réplicas/ensayo) y para los ensayos de extracción se tomaron los datos de carga resistente a la extracción directa y el tiempo de falla (60 ensayos-10 réplicas/ensayo).

Foto 1: Clasificación visual

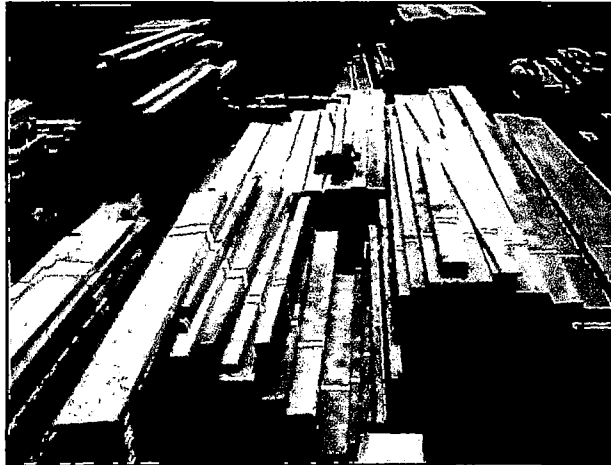


Foto 2: Dimensionamiento de piezas

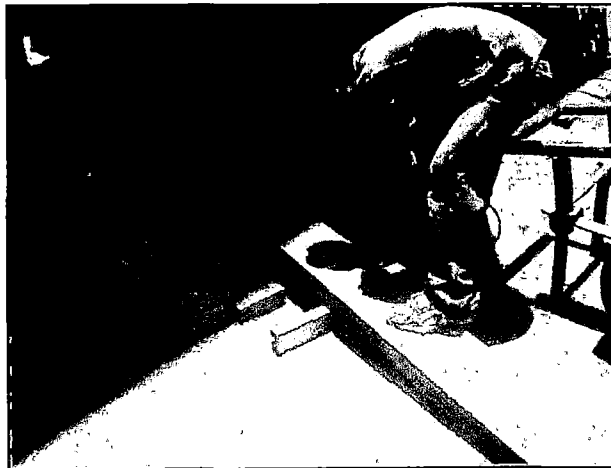


Foto 3: Corte de madera

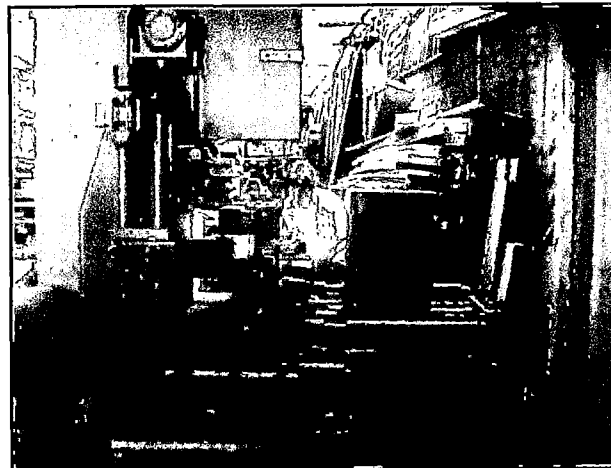


Foto 4: Cepillado de madera

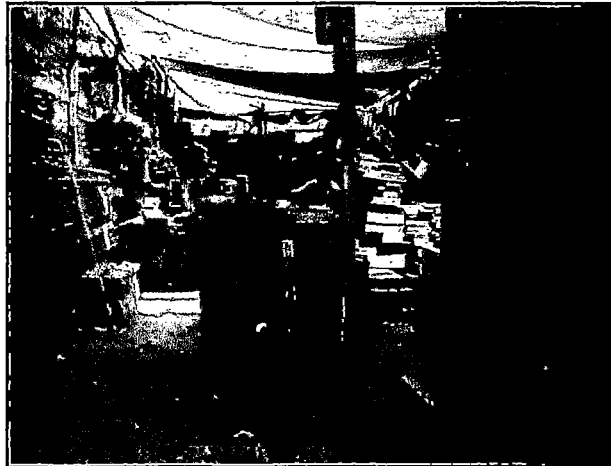


Foto 5: Uso del taladro para realizar la perforación guía



Foto 6: Colocación de los tirafones



Foto 7: Probetas listas para ensayar



4.1.1 Método de ensayo según NTP y ASTM

Para el procedimiento de ensayo de las propiedades mecánicas, se tomaron en cuenta las recomendaciones del ASTM (2) y el NDS (1).

4.1.2 Materiales y equipos

MATERIALES

- **MADERA.-** las muestras de madera ensayadas son de la especie Tornillo, obtenidas de la “Maderera Pucallpa” ubicada en la Av. Tomás Valle cuadra 34, siendo las maderas provenientes de la ciudad de Pucallpa.
- **TIRAFONES.-** fueron obtenidos de un almacén de ferretería, la cual vendía dicho productos de la marca ACRIMSA.
- **ARANDELA.-** fueron obtenidos de un almacén de ferretería, la cual vendía dicho productos de la marca ACRIMSA.
- **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.
- **EQUIPOS:**
Máquina Universal AMSLER.- capacidad de 50 Tn. Los ensayos se ejecutaron a una velocidad constante de 2.00 mm/min aproximadamente. La foto 8 muestra el equipo utilizado para los ensayos.

Reloj Comparable.- milésima de pulgada de precisión, en la foto 10 se muestra el reloj comparable utilizado al cual se le ha colocado una plancha de acero que permitirá sujetarlo a la pieza de madera con la finalidad de poder medir las deformaciones en los ensayos.

Planchas de Acero.- se usaron como apoyo para el reloj comparable.

Prensas.- se utilizaron prensas de 1", 2" y 3" dependiendo de la muestra a la cual se ensayaba en la foto 9 se muestra las prensas utilizadas para sujetar el reloj comparable con la pieza de madera.

Foto 8: Máquina Universal AMSLER

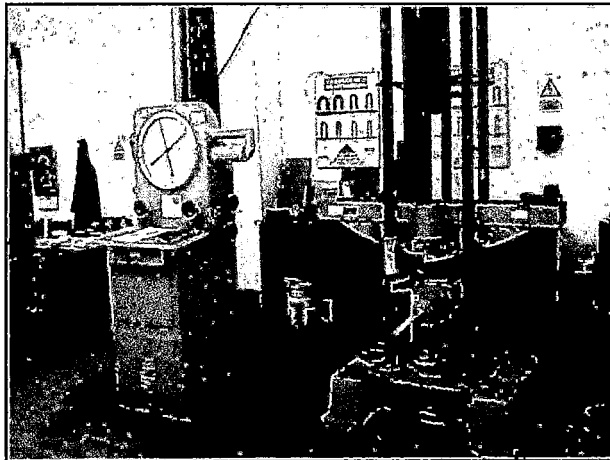


Foto 9: Prensas

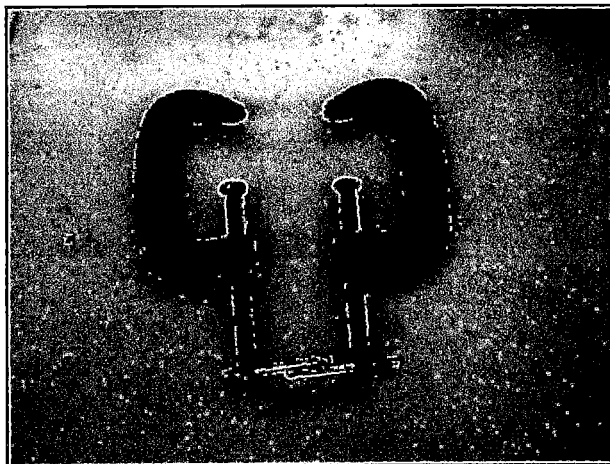
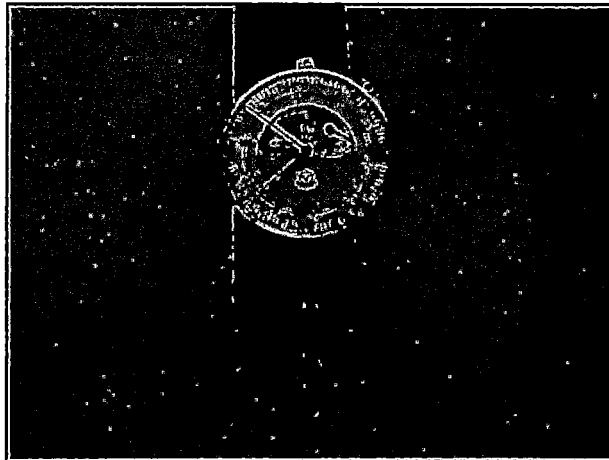


Foto 10: Reloj comparable



4.1.3 Números de probetas para cada tipo de ensayo

El número de probetas para los ensayos de determinación de las propiedades mecánicas fue tomado de la norma ASTM D-1761-88T, el cual indica que para los ensayos de extracción se deberá hacer por lo menos 10 réplicas (repeticiones) para cada variable, en la foto 11 se muestran las probetas listas para realizar el ensayo de extracción. Y para los ensayos de corte se realizarán por lo menos 5 probetas para cada variable, en la foto 12 se muestra las diferentes probetas listas para realizar los ensayos de corte.

Para la determinación del contenido de humedad se tomarán 20 muestras según la norma N.T.P. 251.010.2004 y para el cálculo de la densidad básica se tomarán 20 muestras también según la N.T.P. 251.011.2004.

Foto 11: Probetas para ensayo de Extracción Directa

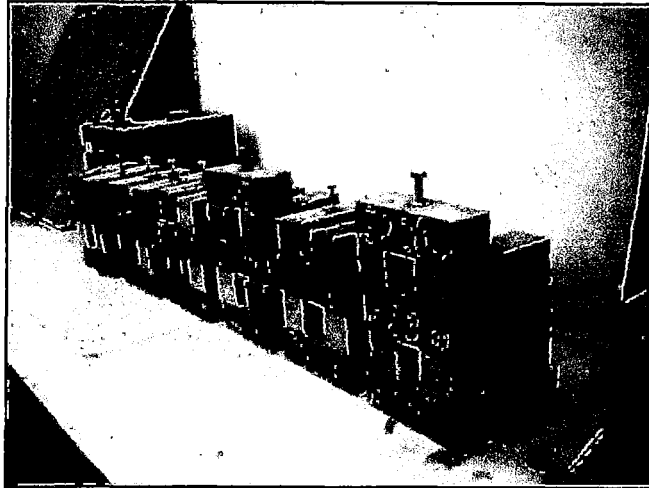


Foto 12: Probetas para ensayo de corte



4.2 ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS

Como señalamos anteriormente el procedimiento realizado para la obtención de las propiedades físicas de nuestro proyecto, se realizaron siguiendo las recomendaciones de las normas de INDECOPI.

4.2.1 Determinación del Contenido de Humedad

La estructura de la madera almacena una importante cantidad de humedad. Esta se encuentra como agua ligada (savia embebida) en las paredes celulares y como agua libre, en el interior de las cavidades celulares. Para determinar la humedad en la madera, se establece una relación entre masa de agua contenida en una pieza y masa de la pieza anhidra, expresada en porcentaje. A este cociente se le conoce como contenido de humedad.

Cálculo del Contenido de Humedad.- el agua contenida en el interior de la madera, sea en forma natural o por estar expuesta a condiciones del medio ambiente, puede variar principalmente debido a la humedad y temperatura predominantes en el lugar donde se utiliza.

Al cortar un árbol, la madera contiene gran volumen de agua en sus cavidades y paredes celulares, humedad que oscila alrededor del 80%. En algunos casos, puede ser superior al 100%, es decir, el peso del agua contenida en el volumen de madera es superior al peso de ésta anhidra.

Dependiendo de las condiciones ambientales, la madera entrega al medio agua libre contenida en sus cavidades, y luego agua adherida por capilaridad a las paredes celulares.

Cuando el intercambio de humedad que produce el medio ambiente cesa, se dice que la madera ha alcanzado un punto denominado humedad de equilibrio.

Se denomina, entonces, humedad de equilibrio al porcentaje de agua que alcanza una madera sometida durante un lapso determinado a condiciones de temperatura y humedad en su medio ambiente.

Los cambios climáticos del aire que se suceden continuamente, día y noche según las estaciones, hacen que la humedad de la madera también cambie, aunque en valores pequeños.

Kollmann (13) comprobó que la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas, y elaboró un ábaco para determinar este valor. O sea, cuando la madera es sometida a un ambiente saturado de humedad (100% de humedad relativa del aire), la humedad de equilibrio es casi constante para todas las maderas, alcanzando un valor máximo de 30% (ver figura 26).

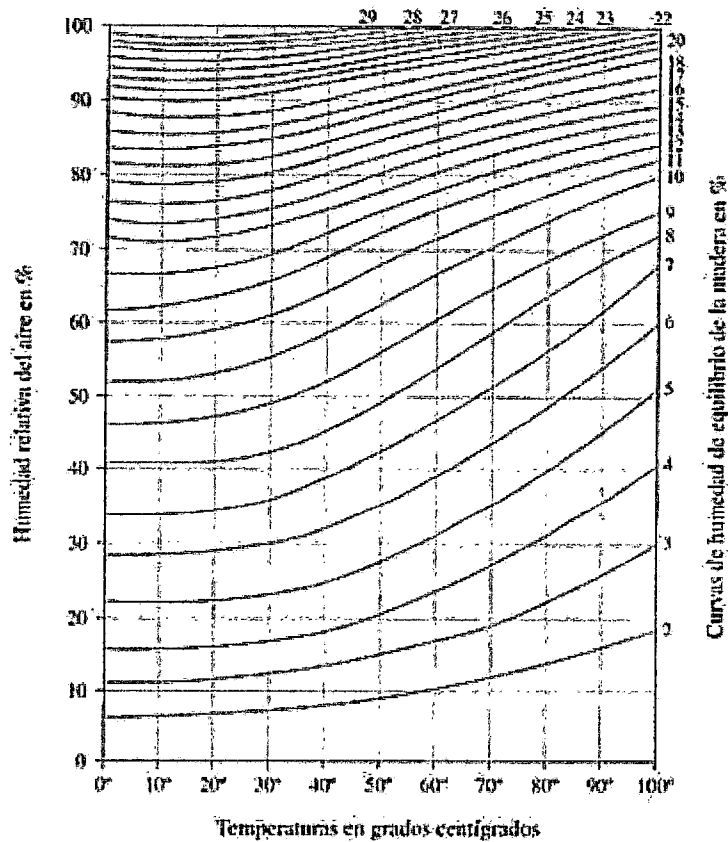


Figura 26: Ábaco de Kollmann

Procedimiento:

Se utilizaron especímenes con unas dimensiones de: 1"x1" de sección transversal y 4" de longitud, se pesaron las muestras para obtener el peso húmedo (PH), luego se colocaron en el horno que se muestra en la foto 13, se aplicó un calentamiento gradual hasta alcanzar los 100°C ± 2°C, dejando las probetas a esta temperatura por un periodo mayor a 24 horas, luego se retiraron las muestras del horno, se pesaron en la balanza que se muestra en la foto 14, se repitió el procedimiento hasta obtener el peso constante, o sea el peso seco al horno (PS).

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

Donde:

CH: Contenido de Humedad (%)

PH: Peso Húmedo (gr).

PS: Peso Seco (gr).

El cuadro 51 (Anexo A, página 138) muestra los valores del contenido de humedad de las probetas estudiadas.

Foto 13: Horno de secado

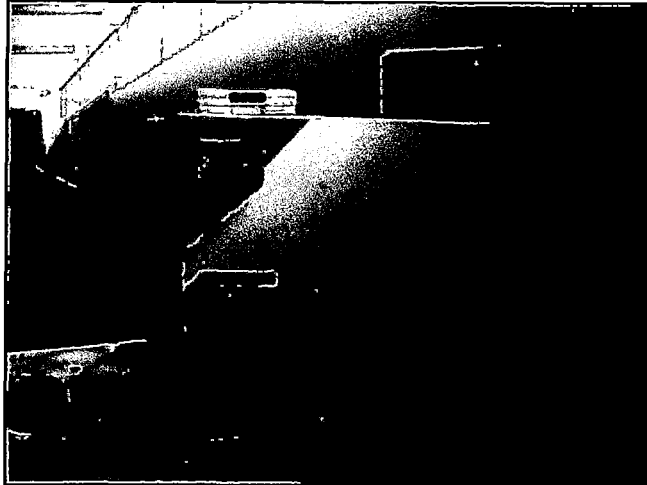
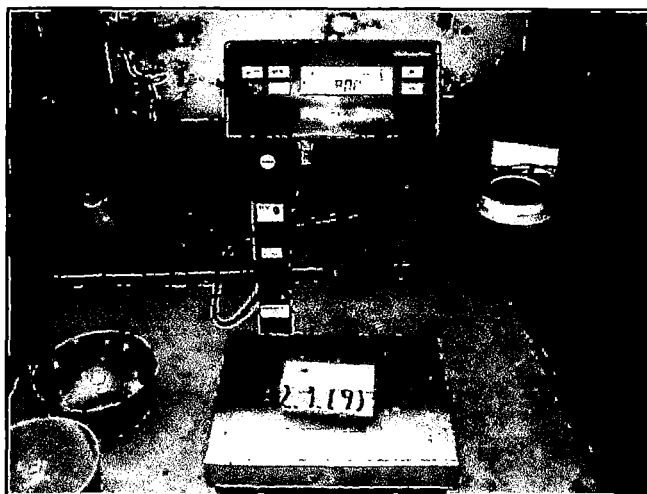


Foto 14: Balanza electrónica



4.2.2 Determinación de la Densidad Básica

La densidad de un cuerpo es el cociente formado por masa y volumen.

En la madera, por ser higroscópica, la masa y el volumen varían con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y durabilidad de la madera.

Procedimiento:

Se utilizaron especímenes con dimensiones: 1"x1" de sección transversal y 4" de longitud, se pesaron las muestras y luego se saturaron en agua de 20 a 24 horas como se muestra en la foto 15, y se calculó el volumen saturado (VHS), empleándose para ello el método de medición indirecto por inmersión en agua. 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 como se observa en la foto 16, luego se retiraron las muestras del horno, se pesaron en la balanza que se muestra en la foto 17, se repitió el procedimiento hasta obtener el peso constante, o sea el peso seco al horno (PS).

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

Donde:

DB: Densidad Básica

PS: Peso Seco (g)

VHS: Volumen Húmedo Saturado (cm³)

En el cuadro 50 (Anexo A, página 137), se muestran los valores de la densidad básica de las probetas estudiadas.

Foto 15: Probetas saturándose

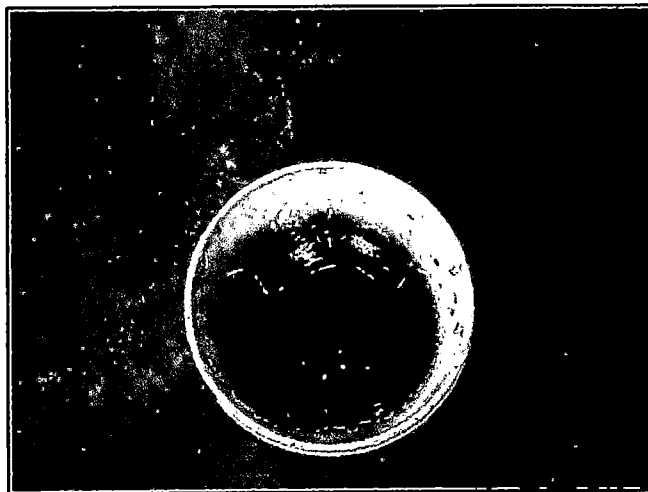


Foto 16: Probetas secadas en el horno

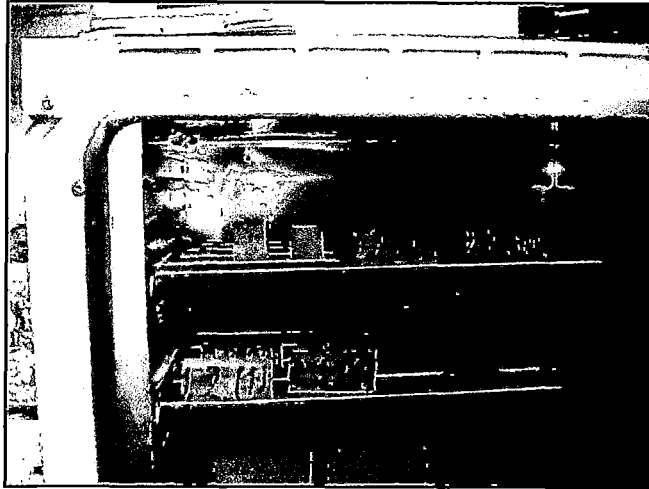


Foto 17: Probetas pesadas en la balanza electrónica



4.3 ENSAYO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS

Son aquellas que indican la capacidad de los materiales para resistir fuerzas externas, de acuerdo a esta capacidad serán los usos a que los materiales son destinados y las secciones transversales necesarias para asegurar una adecuada estabilidad estructural en las construcciones. Conforme a la amplia gama de sollicitaciones a los cuales puede estar expuesto un material durante su uso, se han definido diversas propiedades mecánicas.

La metodología de ensayo para ellos, son:

4.3.1 Ensayo de Extracción Directa

Hansen (7) y la NDS (1) indican 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 se penetra el tirafón con relación a la dirección del grano de la madera. Hansen (7) 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 más densas y de 10 a 12 veces el diámetro de la caña en la madera más liviana, desarrollará 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:

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

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 caña del tirafón (cm).

Kw: 160

La NDS (1) indica que el valor de Kw, al que Hansen (7) 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, obteniéndose 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 el diámetro del tirafón.

TAMAÑO DE LOS ESPECIMENES DE ENSAYO

El ensayo de extracción para tirafones fue hecho con especímenes de 2"x2" de sección transversal y 6" de longitud tomando como referencia base la norma ASTM D-1761-88T- ensayo de extracción para tornillo.

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. Pero según la tesis de grado de Campos Mattos y Cano Delgado (4) 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 espaciamentos mínimos para el tirafón de 3/8", que fue el de mayor diámetro ensayado.

TIRAFONES UTILIZADOS

No se pudo utilizar la longitud de tornillos recomendadas por la norma ASTM (2) debido a que se deseaba probar con dos profundidades diferentes y que el accesorio de la máquina Universal AMSLER de 50 Tn no sujetaba tirafones de menor longitud. El accesorio tenía una abertura de 1.50 cm 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.

Finalmente se usaron tirafones de 2 ½" de longitud, y de 1/4", 5/16" y 3/8" de diámetro.

El equipo utilizado para el ensayo de extracción es una máquina universal marca AMSLER como se puede apreciar en la foto 21. 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 acondicionó con accesorios especiales. Los accesorios para el ensayo fueron de acuerdo con las especificaciones del ASTM (2).

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

La compra y el traslado de la madera se realizaron en setiembre del 2010, y se almacenó en el domicilio del tesista, en un ambiente expuesto al sol, durante 6 meses aproximadamente. La madera fue trasladada a la carpintería de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde se realizó el cepillado, corte y la preparación de las probetas de acuerdo a los ensayos a realizar.

Siguiendo las pautas dadas en la NCh 1198 (18), primero se clasificó a la madera tornillo, dado que su densidad fue de 472 kg/m³ le correspondió agruparlo en el grupo B y por lo tanto debió realizar una perforación guía en el orden del 60% al 75% del diámetro del vástago (Dv) del tirafón.

El cuadro 12 fue elaborado para determinar el diámetro de broca a utilizar para la realización de las perforaciones guías. En este cuadro se muestra una columna denominada porcentaje que va de 40% a 70%, luego está la columna de valores de diámetro de vástago (Dv) del tirafón, con valores constantes para cada diámetro de tirafón, de acuerdo a las recomendaciones de la NCh 1198 (18), se calculó la perforación en la zona roscada (Pr), que es el producto de multiplicar los diferentes porcentajes por el diámetro del vástago (Dv). En la siguiente columna se presentan los valores de diámetro de la zona roscada (Dr) para cada diámetro de tirafón, por último se calculó la adherencia que es la diferencia aritmética entre Dr y Pr.

La premisa utilizada para la elección del diámetro de la perforación guía fue incluir el parámetro "Adherencia", lo cual significa el agarre que el tirafón tendría sobre la madera.

En el cuadro 13, se indica la elección de las brocas utilizadas en la presente tesis para realizar las perforaciones guías, dicha elección fue realizada considerando que en el mercado nacional las brocas se venden en milímetros, la trabajabilidad de la madera tornillo y considerando también la adherencia entre el tirafón y la madera.

Se debe resaltar que las recomendaciones de la norma chilena, fueron tomadas en cuenta desde el punto de vista teórico, pero en la práctica, al momento de realizar las perforaciones guías se consideró el tema de adherencia como principal factor de decisión.

En la foto 19 se aprecia la probeta antes de ser ensayada, dicha probeta está conformada por la pieza de madera, el tirafón y la arandela.

En las fotos 18 y 20 se observa la probeta colocada en la maquina AMSLER para realizar el ensayo de extracción directa, se puede apreciar que fue necesario utilizar unos aditamentos metálicos que permitieron sujetar tanto a la pieza de madera como al tirafón

Cuadro 12: Determinación de la perforación guía

Diámetro del tirafón (D)	Porcentaje (P)	Diámetro del vástago (Dv) (mm)	Perforación zona roscada $Pr=P*Dv$ (mm)	Diámetro de la rosca (Dr) (mm)	Adherencia $A=Dr-Pr$ (mm)
1/4	40%	6.3	2.52	4.50	1.98
	50%	6.3	3.15	4.50	1.35
	60%	6.3	3.78	4.50	0.72
	70%	6.3	4.41	4.50	0.09
5/16	40%	7.7	3.08	5.50	2.42
	50%	7.7	3.85	5.50	1.65
	60%	7.7	4.62	5.50	0.88
	70%	7.7	5.39	5.50	0.11
3/8	40%	9.4	3.76	6.50	2.74
	50%	9.4	4.7	6.50	1.8
	60%	9.4	5.64	6.50	0.86
	70%	9.4	6.58	6.50	-0.08

Cuadro 13: Diámetro de brocas utilizadas

Diámetro del tirafón (D)	Diámetro de la broca (Db) (mm)	Porcentaje Db/Dv
1/4	3	47.62%
5/16	3.5	45.45%
3/8	4	42.55%

La ubicación de estos agujeros en la superficie 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 fuesen menores que lo especificado en el Manual de Diseño del Grupo Andino (12). Luego los tirafones fueron introducidos perpendicularmente a la superficie de las probetas.

Todos los tirafones de cada probeta fueron colocados e inmediatamente sometidos a la prueba de extracción, en la foto 22 se muestra una probeta después de haber sido ensayada.

Todos los datos fueron anotados progresivamente se iba realizando cada ensayo como se muestra en la foto 23.

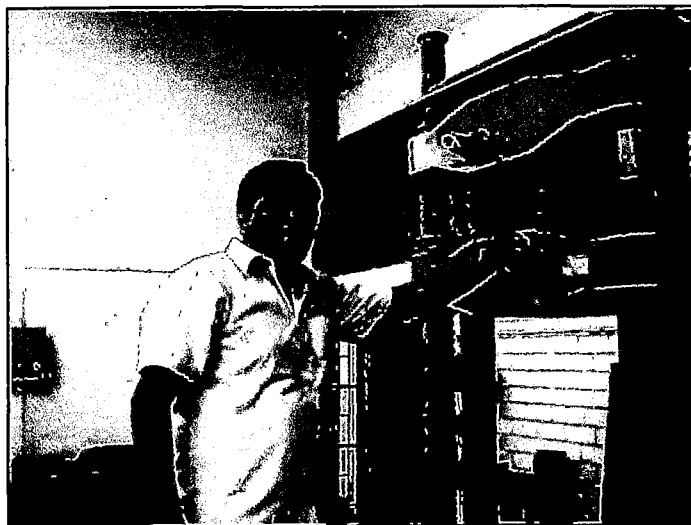
Foto 18: Colocación de la probeta en la máquina AMSLER para el ensayo de Extracción Directa

Foto 19: Probeta antes de ser ensayada

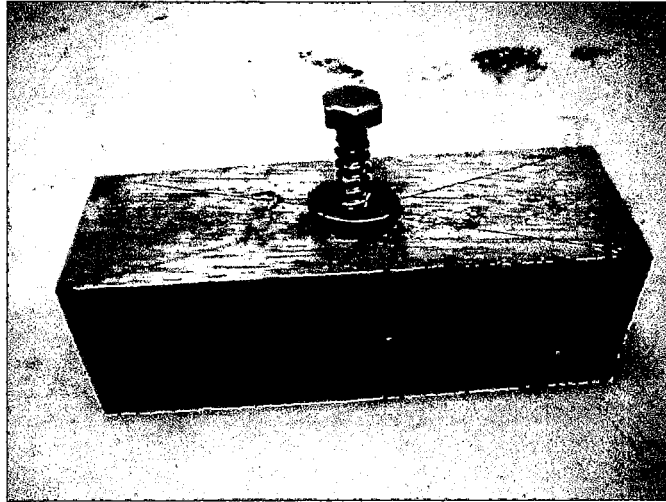


Foto 20: Probeta durante el ensayo

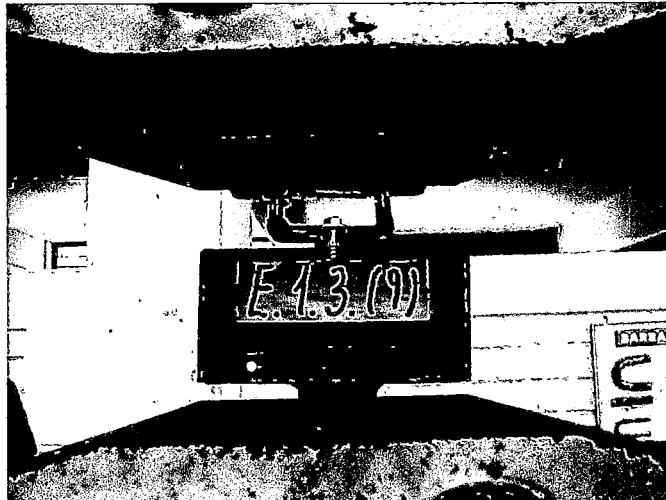


Foto 21: Máquina Universal AMSLER utilizada para el ensayo de extracción

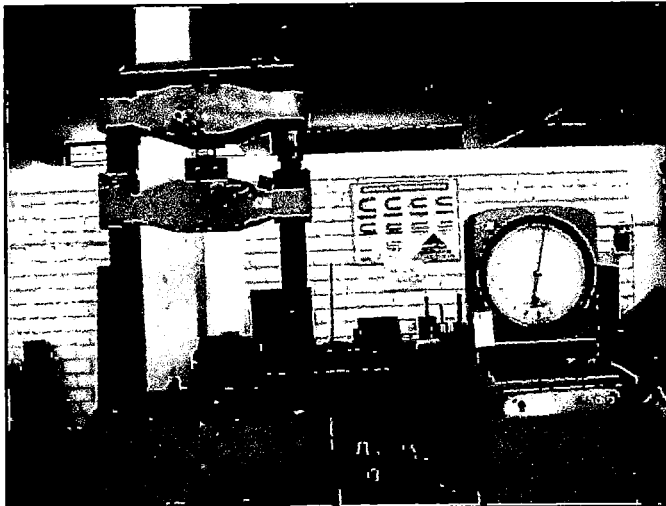


Foto 22: Probeta después del ensayo

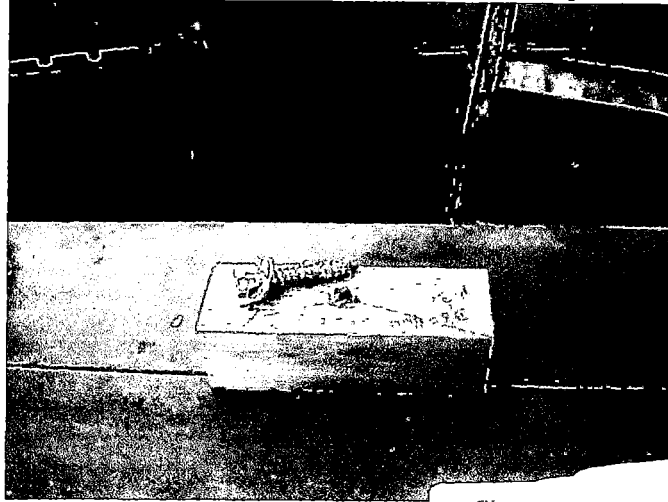


Foto 23: Toma de datos del respectivo ensayo



4.3.2 Ensayo de Corte o Cizallamiento

4.3.2.1 Corte Simple Paralelo al grano

Este ensayo está constituido por una probeta la cual estuvo formada por dos piezas de madera de la misma especie (Tornillo), unidos por medio de un tirafón pasando a través de la pieza más delgada (pieza lateral) y entrando a la pieza principal como se puede apreciar en la figura 27.

La posición de la probeta de ensayo era tal, que la línea de fuerza pasaba aproximadamente por el tirafón en el punto donde se juntaba la pieza lateral con la pieza principal. El agujero guía en la pieza lateral tenía un diámetro igual al del vástago del tirafón, y en la pieza principal el diámetro era el que previamente se había calculado según el cuadro 12.

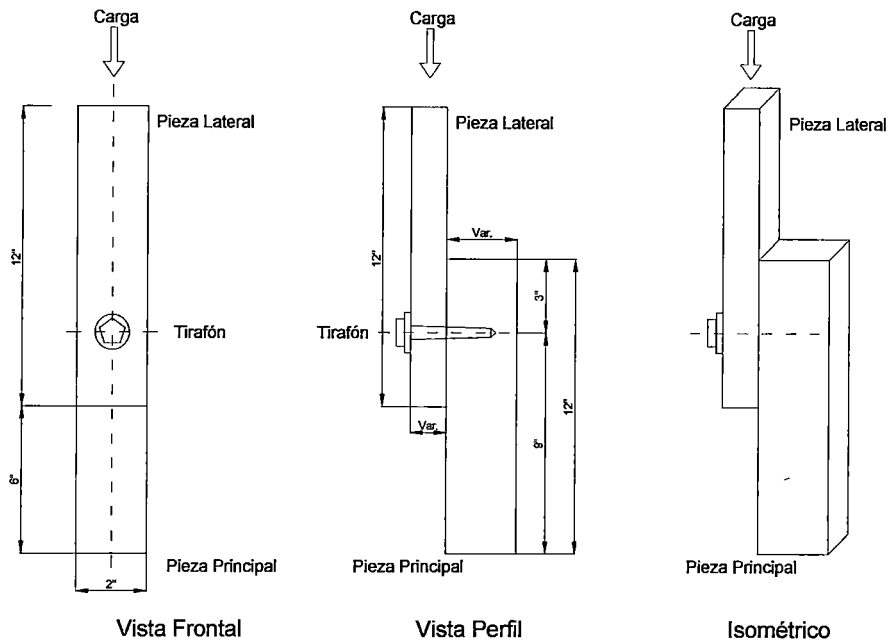


Figura 27: Esquema del ensayo de corte simple paralelo al grano

El tamaño de las probetas es fundamental ya que el espesor de las piezas laterales "E1", va relacionado directamente con el diámetro "D" de los tirafones. Siendo $E1/D$ 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.

En la foto 24 se aprecia la colocación de la probeta en la maquina AMSLER antes de ser ensayada, y se observa también la forma de colocación del reloj comparable al cual se le tuvo que colocar una plancha de acero para poder sujetarlo con una prensa a la pieza lateral como se observa en la foto 25.

Según recomendaciones del ASTM se dispuso que cada tipo de muestra tuviera cinco ensayos, para lograr resultados apropiados y con mínimo margen de error, en la foto 26 se aprecia la toma de dato del ensayo correspondiente.

Luego de realizado el ensayo se observó que la carga aplicada no originaba una separación brusca en la unión como se aprecia en la foto 27, más bien una falla dúctil debido a la deformación del tirafón.

Foto 24: Colocación de la probeta para la realización del ensayo de corte



Foto 25: Probeta antes de ser ensayada



Foto 26: Toma de datos del ensayo



La foto 28 muestra una probeta antes de ser ensayada, aquí se puede ver la colocación del reloj comparable para medir las deformaciones.

Para la realización de dicho ensayo fue necesaria la ayuda del técnico del LEM, encargado de operar el equipo AMSLER, quien además indicaba los valores obtenidos durante el ensayo, que fueron anotados inmediatamente como se muestra en la foto 29.

En la foto 30 se aprecia la deformación del tirafón luego de realizada el ensayo, y por el contrario las piezas de madera no sufrieron ningún daño.

Foto 28: Probeta antes de ser ensayada



Foto 29: Toma de datos del ensayo de corte

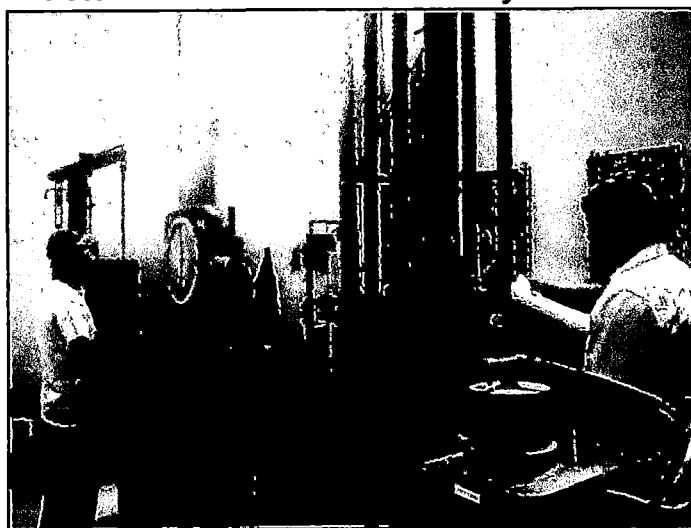
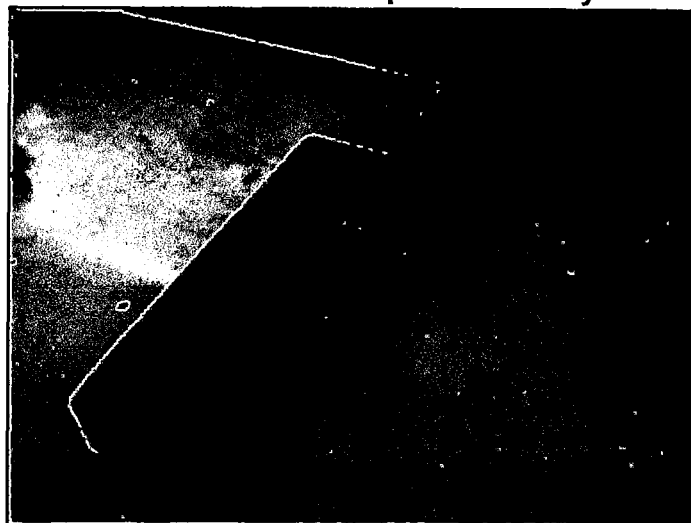


Foto 27: Probeta después del ensayo



4.3.2.2 Corte o Cizallamiento Simple Perpendicular al grano

En este ensayo de corte simple perpendicular al grano se tienen consideraciones similares que el ensayo anterior, debido a que en ambos ensayos existe un plano de corte y la variabilidad en el espesor de sus especímenes. El esquema de dicho ensayo está representado en la figura 28.

Se considera que el miembro principal posea por lo menos el doble del espesor que el lateral "E1". El $E1/D$ es 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.

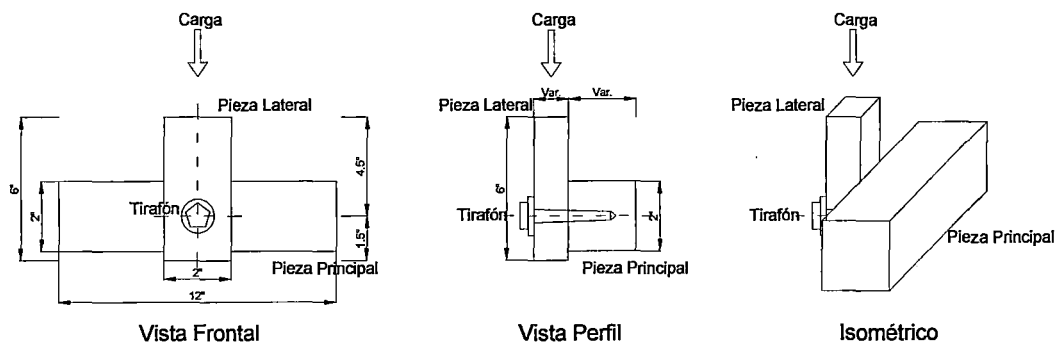
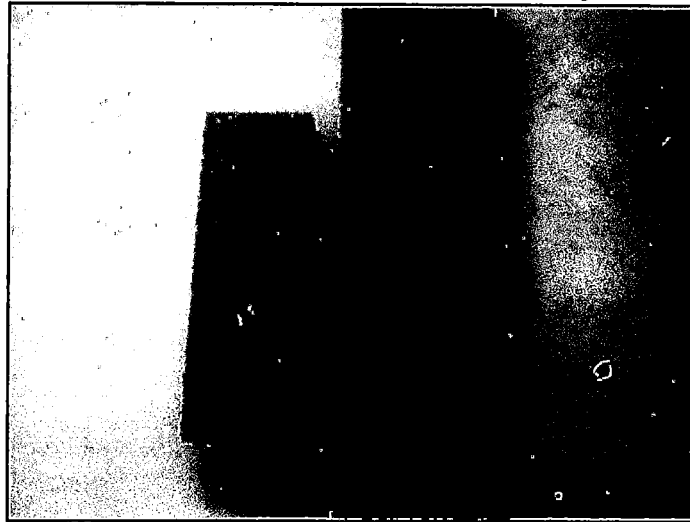


Figura 28: Esquema del ensayo de corte simple perpendicular al grano

Foto 30: Probeta después del ensayo



4.3.2.3 Corte o Cizallamiento Doble Paralelo al grano

Este ensayo considera el mismo procedimiento del ensayo de corte simple paralelo al grano, con la diferencia que un único tirafón atraviesa tres piezas (2 laterales y 1 principal), el esquema de dicho ensayo se presenta en la figura 29, además considerando que el miembro principal posea el doble del espesor que el lateral "E1", el análisis es distinto debido que en este caso existen dos planos de corte.

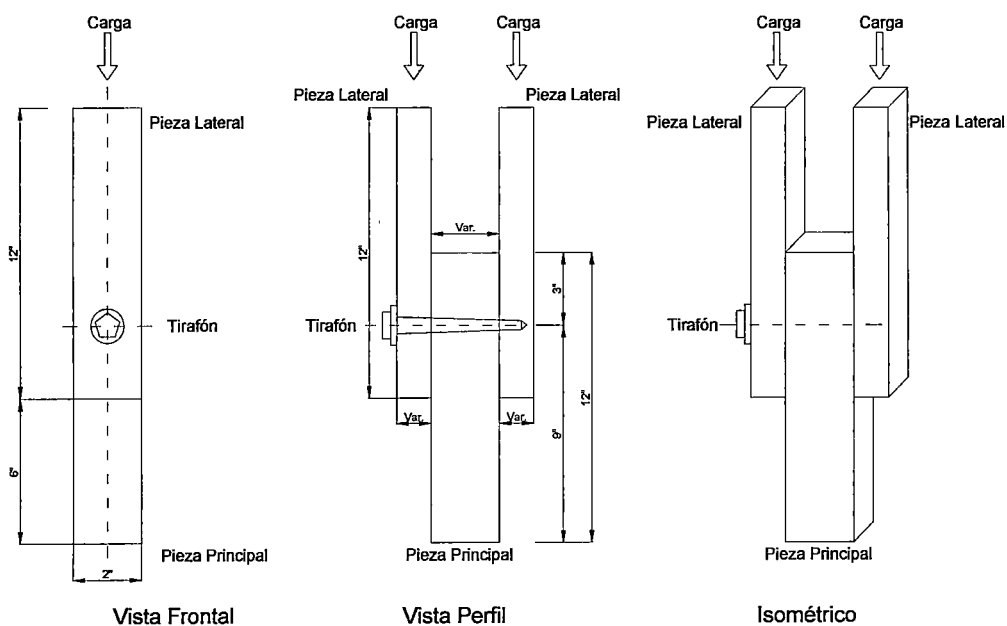


Figura 29: Esquema del ensayo de corte doble paralelo al grano

4.3.2.4 Corte o Cizallamiento Doble Perpendicular al grano

Este ensayo considera el mismo procedimiento y análisis del ensayo de corte simple paralelo al grano, con la diferencia que son dos piezas laterales las cuales forman un ángulo recto con el elemento principal. El esquema de dicho ensayo se muestra en la figura 30.

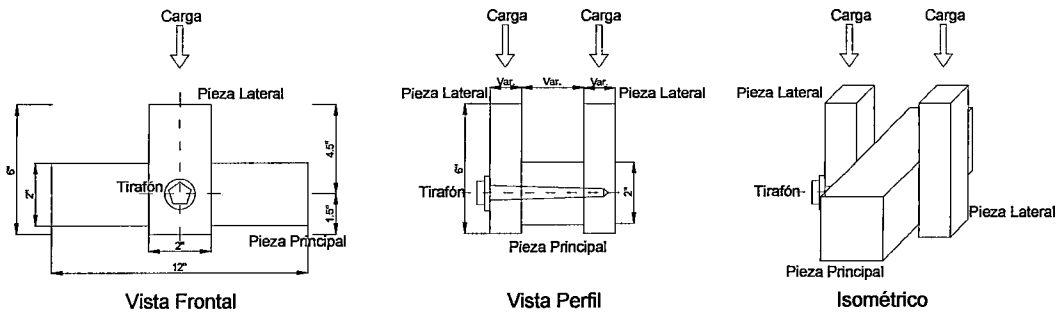


Figura 30: Esquema del ensayo de corte doble perpendicular al grano

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

La ley de Hook señala que todo esfuerzo sometido a un cuerpo lo deforma, la deformación es proporcional al esfuerzo mientras persista la deformación. A medida que se incrementan los esfuerzos, se observa una desviación marcada del comportamiento. Tal desviación empieza a ser significativa después de un cierto nivel de esfuerzo, que podría calificarse como el límite de proporcionalidad en muchos casos.

La definición del límite proporcional, es en algunos casos difícil, por lo que se acostumbra asociarlo a una determinada deformación.

Según la NDS (1), el límite proporcional se ubica al 5% del diámetro del tirafón, con una línea paralela a la parte proporcional de deformación.

Así, para cada probeta se obtuvo una curva carga-deformación en la cual se dibujo una línea de compensación paralela a la rama lineal inicial de la curva.

Esta compensación fue de una deformación igual al 5% del diámetro del tirafón.

El límite proporcional puede establecerse como la intersección de la línea de compensación y la curva carga-deformación (ver figura 31).

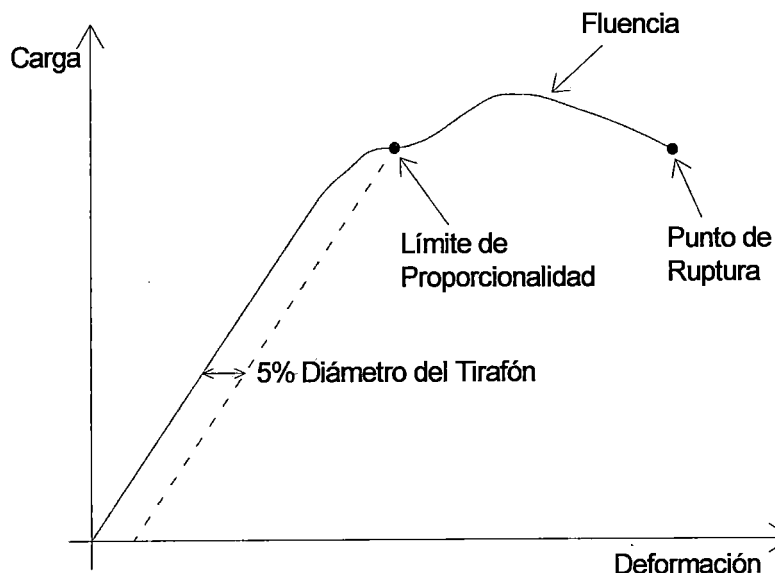


Figura 31: Curva para la determinación del límite proporcional según la NDS.

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS FÍSICOS

A continuación presentaremos el cuadro resumen de los resultados obtenidos de los ensayos físicos realizados (ver Anexo A página 138) al espécimen estudiado:

Cuadro 14: Resultados de los ensayos físicos realizados

ESPECIE	DENSIDAD BASICA (g/cm ³)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
Cedrelinga Catenaeformis Duke	0.472	13.956

Cuadro 15: Clasificación estructural según el Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.010

Clasificación estructural	Densidad
Grupo A	Comprende las maderas de mayor resistencia, cuyas densidades están por lo general mayor a 0.71 g/cm ³ .
Grupo B	Comprende las maderas de mediana resistencia y sus densidades se sitúan entre el rango de 0.70 a 0.56 gr/cm ³ .
Grupo C	Comprende las maderas de menor resistencia, sus densidades se sitúan en el rango de 0.55 a 0.40 gr/cm ³ .

El valor de la densidad básica obtenida en esta tesis, coincide con el hallado por la Junta del Acuerdo de Cartagena incluida en el Manual de Diseño para maderas del Grupo Andino (12) cuyo valor es de 0.44 g/cm³ para la especie estudiada. De acuerdo a este valor de la densidad la madera tornillo se clasifica estructuralmente en el grupo C y según su recomendación se pueden usar como madera utilitaria de construcción, donde se combine resistencia y facilidad de trabajo, conjuntamente con otras facilidades técnicas de manufactura facilidad de clavado, corte, ensamblaje, montaje, etc.).

Con relación al contenido de humedad, se observa que de acuerdo al valor obtenido de 13.96% podemos decir que la madera se encuentra en estado seco

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS MECÁNICOS

5.2.1 Extracción Directa

Los valores obtenidos en los ensayos se presentan en el Anexo A (páginas 139 y 140). Se ejecutaron 60 ensayos en total, con diferentes diámetros (1/4", 5/16" y 3/8"), y 2 profundidades diferentes de penetración (25mm y 30mm), se resumen los resultados en el siguiente cuadro:

Cuadro 16: Resultados de los ensayos de extracción directa

Ø (pulgada)	Carga Máxima (kg)	Profundidad de Penetración (mm)	Carga por longitud de penetración (kg/cm)
1/4	378.00	25	151.2
1/4	432.00	30	144
5/16	447.50	25	179
5/16	543.50	30	181.17
3/8	528.50	25	211.4
3/8	644.00	30	214.67

Los valores obtenidos de los ensayos fueron la carga máxima para cada diámetro de tirafón y para cada profundidad de penetración específica.

En función de estos valores experimentales obtenidos, se procedió a obtener relaciones matemáticas que relacione las variables de diámetro de tirafón y profundidad de penetración.

De acuerdo a los valores obtenidos en los ensayos se ha podido obtener funciones que relacionan la variación del diámetro con el cálculo de la carga máxima.

Es decir si realizamos una penetración de 25mm es posible calcular el valor de la carga máxima (kg) según la siguiente función, $y(x) = 75.25x + 300.83$, con $R^2 = 0.9981$ como se muestra en el gráfico 1.

Igualmente para una penetración de 30mm puede aplicarse la siguiente función:
 $y(x) = 106x + 327.83$, con $R^2 = 0.9991$ como se muestra en el gráfico 2, en
 donde el valor de la carga máxima (kg) está en función del diámetro del tirafón.

Gráfico 1: Relación entre el Diámetro del tirafón vs Carga Máxima para una profundidad de penetración de 25mm

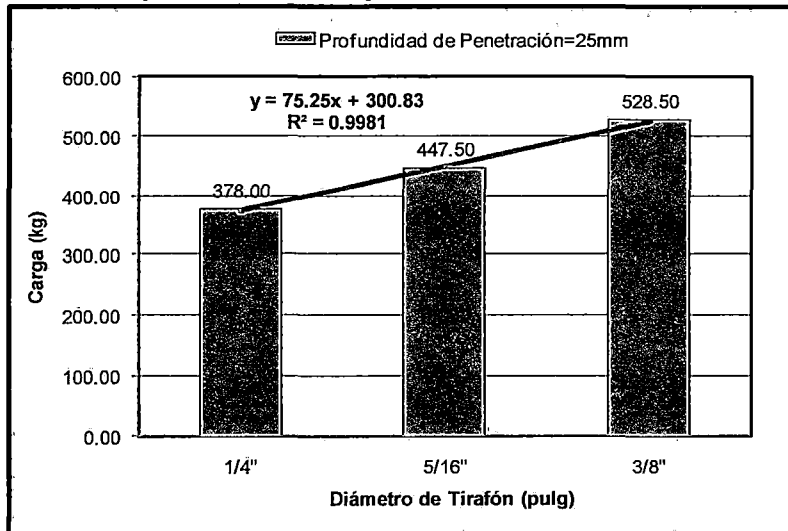
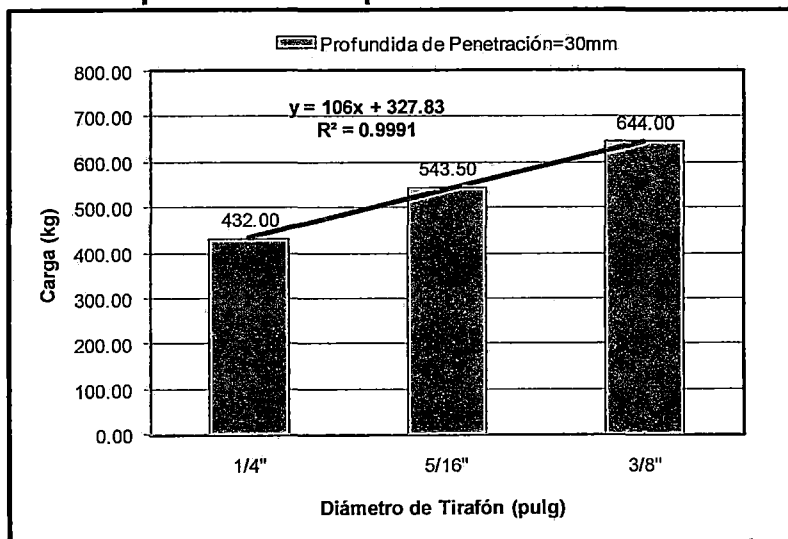


Gráfico 2: Relación entre el Diámetro del tirafón vs Carga Máxima para una profundidad de penetración de 30mm



De los gráficos 3 y 4, podemos observar que si realizamos una penetración de 25mm el valor de la carga máxima disminuye en un 84% en promedio con relación si es que realizamos una penetración de 30mm.

Del gráfico 5, podemos observar que la variación porcentual del valor de la carga máxima al incrementar el diámetro del tirafón varía en 18% para un $\varnothing=5/16"$ y 40% para un $\varnothing=3/8"$, con una profundidad de penetración de 25mm.

Asimismo para una profundidad de penetración de 30mm, la variación porcentual del valor de la carga máxima al incrementar el diámetro del tirafón varía en 26% para un $\varnothing=5/16"$ y 49% para un $\varnothing=3/8"$.

Gráfico 3: Comparativo entre el Diámetro del tirafón vs Carga Máxima para varias profundidades de penetración

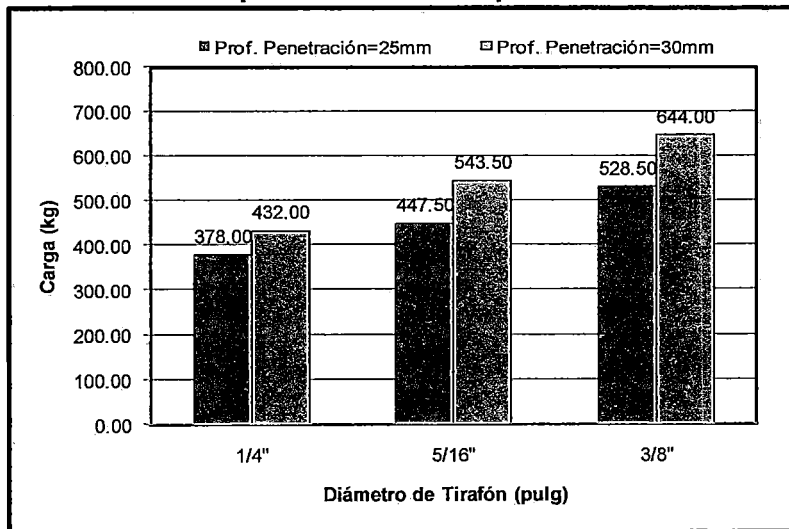


Gráfico 4: Comparativo Porcentual

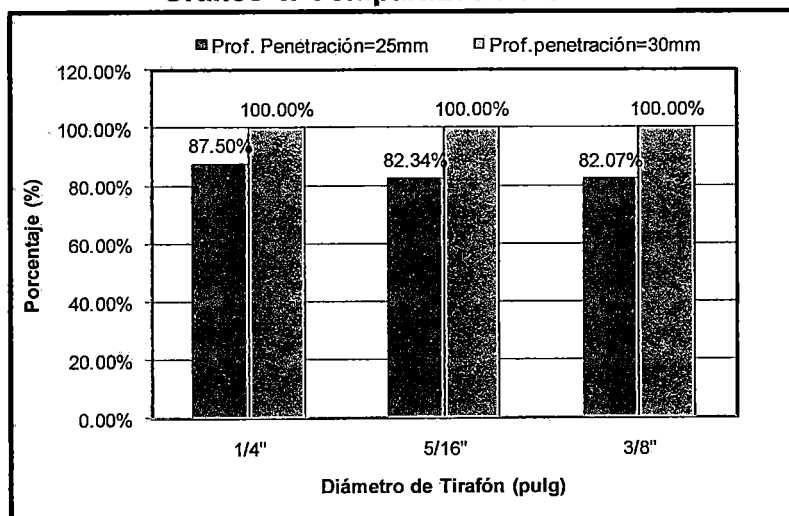
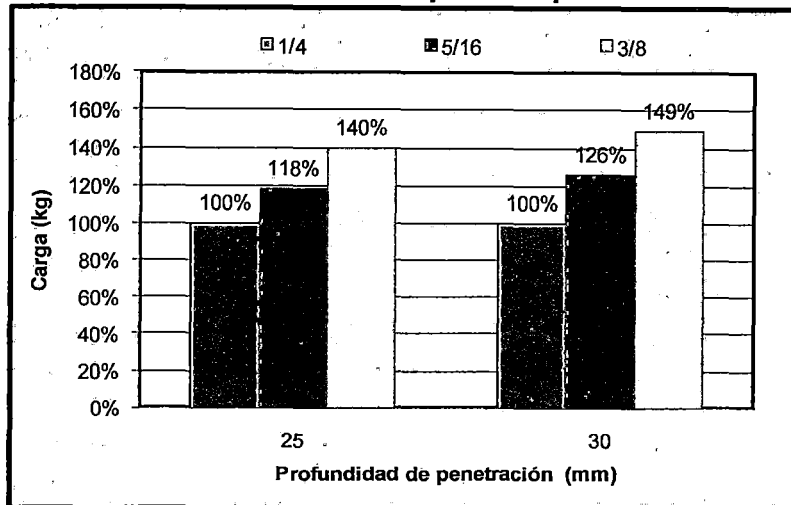


Gráfico 5: Cuadro comparativo porcentual

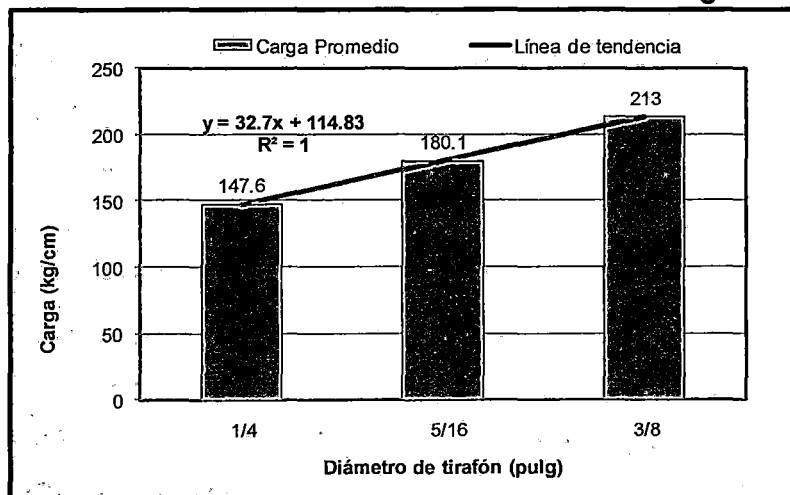


La carga promedio expresada en kilogramos/centímetro de penetración, se obtuvo mediante un promedio aritmético entre los valores de carga por longitud de penetración, para cada profundidad de penetración.

Cuadro 17: Valores de Carga Promedio

Ø (pulgada)	Carga Máxima (kg)	Profundidad de Penetración (mm)	Carga por longitud de penetración (kg/cm)	Carga promedio (kg/cm)
1/4	378.00	25	151.2	147.6
1/4	432.00	30	144	
5/16	447.50	25	179	180.1
5/16	543.50	30	181.17	
3/8	528.50	25	211.4	213.0
3/8	644.00	30	214.67	

Gráfico 6: Relación entre el Diámetro del tirafón vs Carga Promedio



Del gráfico 6 se ha podido obtener la función, $y = 32.7x + 114.83$ con $R^2 = 1$, en donde el cálculo del valor de la carga promedio "y" (carga en kilogramos por centímetro de penetración), está en función del diámetro del tirafón "x".

De las bibliografías empleadas tanto de la tesis de la Ingeniera Claudia Paredes (19) y la National Design Specification (NDS) (1) donde se indica los factores de reducción de las cargas encontradas experimentalmente, se obtuvieron los valores de diseño para cada diámetro de tirafón.

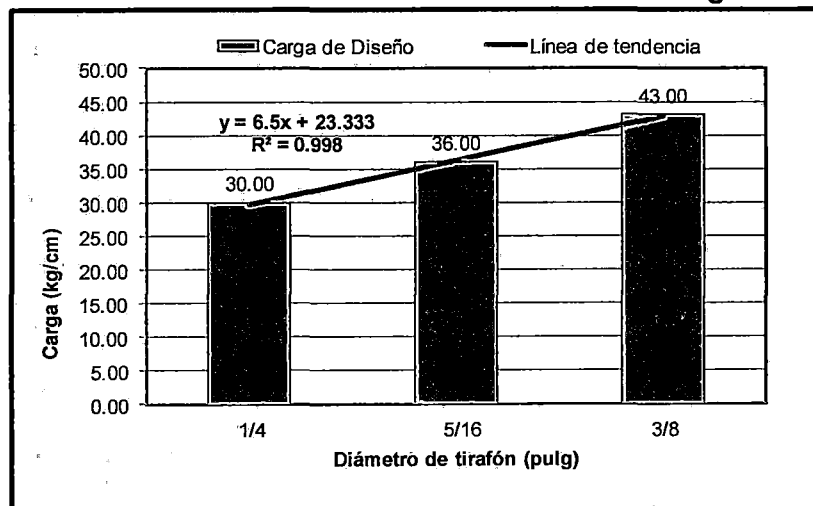
Resistencia a la Extracción Directa:

$$\text{Carga de Diseño} = \frac{\text{Carga Máxima}}{5}$$

Cuadro 18: Determinación de la Carga de Diseño

Ø (pulgada)	Carga Máxima (kg)	Profundidad de Penetración (mm)	Carga por longitud de penetración (kg/cm)	Carga promedio (kg/cm)	Carga Diseño (kg/cm)
1/4	378.00	25	151.2	147.6	30
1/4	432.00	30	144		
5/16	447.50	25	179	180.1	36
5/16	543.50	30	181.17		
3/8	528.50	25	211.4	213.0	43
3/8	644.00	30	214.67		

Gráfico 7: Relación entre el Diámetro del tirafón vs Carga de Diseño



Del gráfico 7 se ha podido obtener la función, $y = 6.5x + 23.333$ con $R^2 = 0.998$, en donde el cálculo del valor de la carga de diseño “y” (carga por centímetro de penetración), está en función del diámetro del tirafón “x”.

5.2.2 Corte o Cizallamiento

La finalidad de este ensayo fue el de determinar el efecto de la relación E/D y la profundidad de penetración en la resistencia de la unión.

Los resultados de los ensayos se presentan en el Anexo A (páginas 141 a 152).

Al valor de la carga de diseño calculado según las pautas de la NSD (1) se le ha llamado Carga Experimental, pues es un valor obtenido a partir de ensayos de laboratorio.

$$\text{Carga Experimental} = \frac{\text{Carga en el Límite de Proporcionalidad}}{2.5} * 1.2$$

Para el cálculo del límite proporcional, se desarrollaron gráficas las cuales se encuentran en el Anexo B. Un ejemplo se muestra a continuación.

Gráfico 8: Comportamiento de la Unión

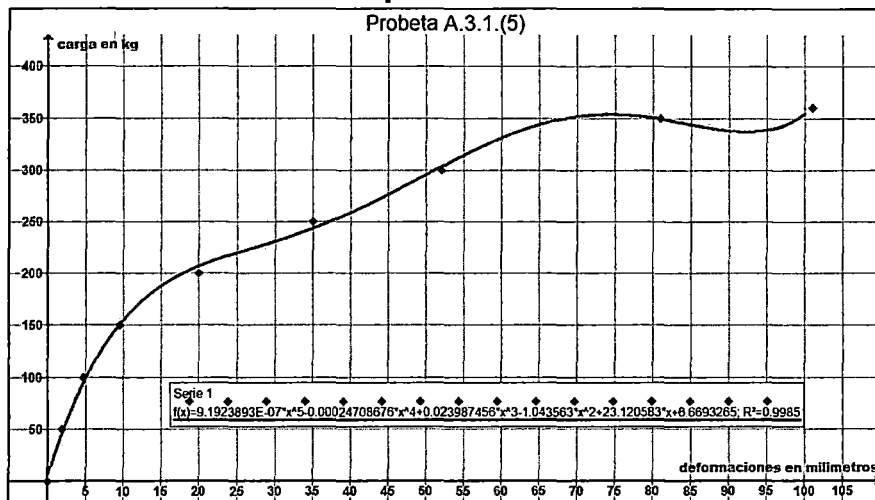
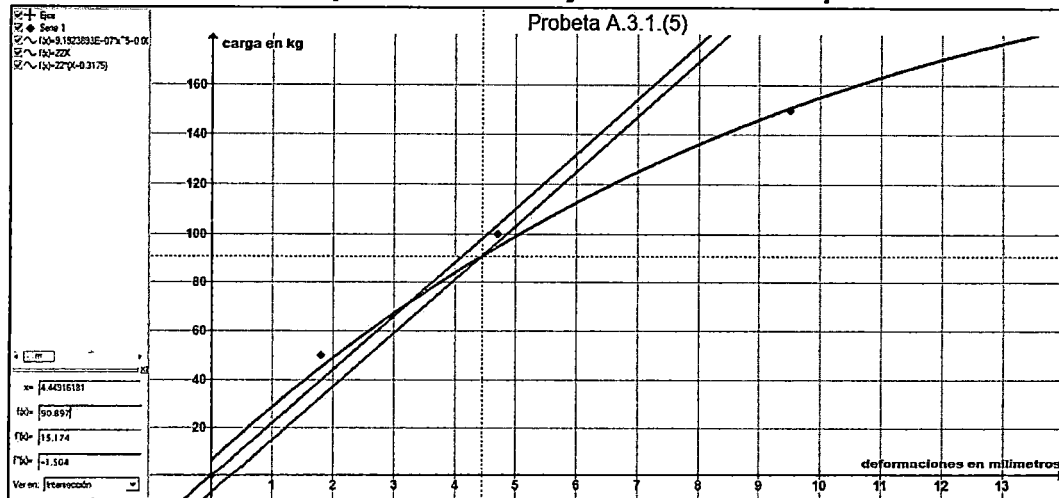


Gráfico 9: Comportamiento de ajuste al Límite Proporcional



El gráfico 8 muestra el comportamiento total de la unión (tirafón-madera), hasta llegar al punto de falla. Para ello se anotaron los valores de las deformaciones a cada 50 kg, observando que:

Carga Máxima (kg)	360
Deformación en la Carga Máxima (mm)	101

En el gráfico 9 observamos la curva de ajuste para encontrar el límite proporcional más adecuado, observando además el factor de ajuste que nos indica la gráfica, para obtener un valor más exacto, en este caso:

Carga al Límite Proporcional (kg)	90.90
Deformación en el Límite Proporcional (mm)	4.5

De esta manera se desarrollaron para las siguientes 104 muestras que se detallan en el Anexo B entre las pagina 153 a 222.

ENSAYO DE CORTE O CIZALLAMIENTO SIMPLE

A.1 Corte o 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.

Al tener 3 variables (diámetro del tirafón, relación E/D, profundidad de penetración), que se han utilizado en la realización de estos ensayos, primero mantendremos constante el diámetro (D), y analizaremos el comportamiento de la deformación y cargas con las otras variables.

Siendo D el diámetro del tirafón un valor fijo, en este caso 1/4" se obtuvo un aumento de carga para una relación E/D determinado, en el gráfico 10 se muestran los valores de las cargas: experimental, en el límite proporcional y máxima.

En el gráfico 11 se observa que de acuerdo a los datos tomados para un tirafón de $\varnothing=1/4"$, la carga experimental representa el 11.60% (en promedio) y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 24.1% (en promedio) de la carga máxima.

Gráfico 10: Comparativo entre la relación E/D vs Carga Experimental, Carga en el Límite Proporcional y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 1/4"

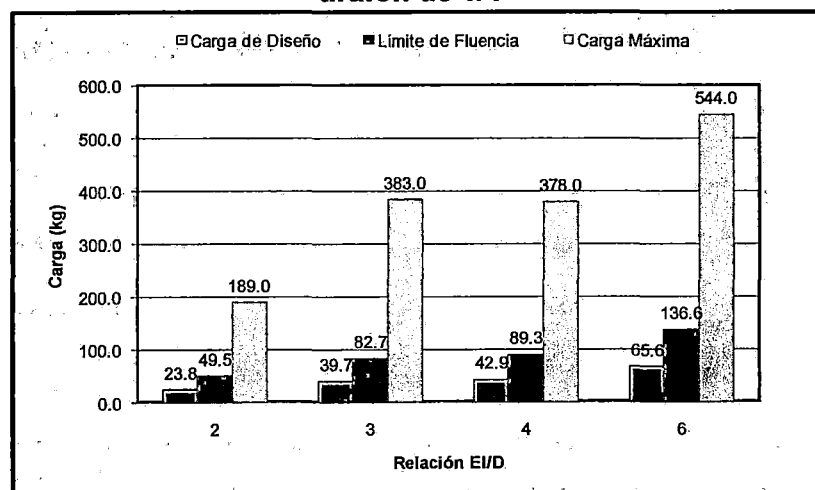
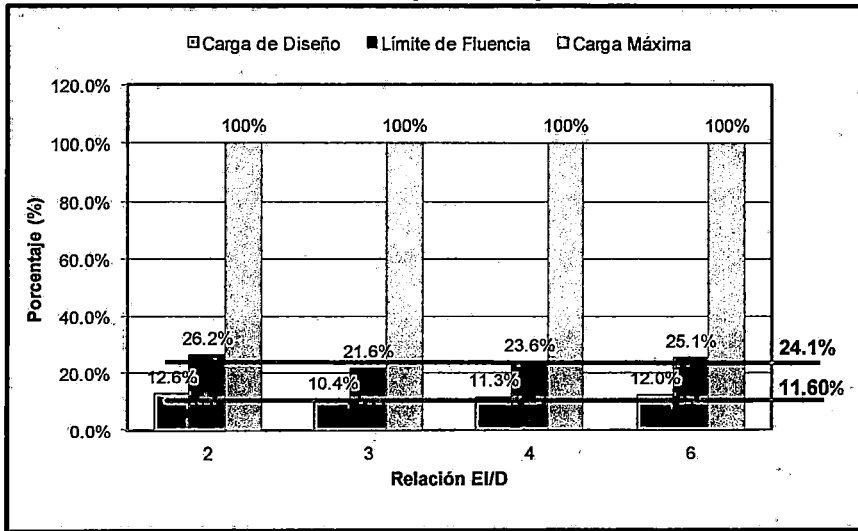


Gráfico 11: Comparativo porcentual



El gráfico 12 muestra los valores hallados de cargas: experimental, en el límite proporcional y máxima para un incremento de la relación E/D, considerando 5/16" el diámetro del tirafón.

Según los datos tomados, para un tirafón de $\varnothing=5/16"$, la carga experimental representa el 12.40% (en promedio) y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 25.8% (en promedio) de la carga máxima como se puede apreciar en el gráfico 13.

Gráfico 12: Comparativo entre la relación E/D vs Carga Experimental, Carga en el Límite Proporcional y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 5/16"

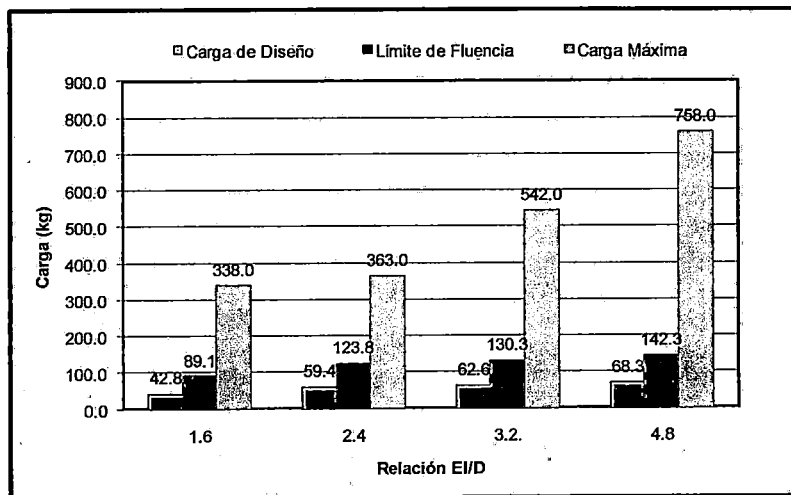
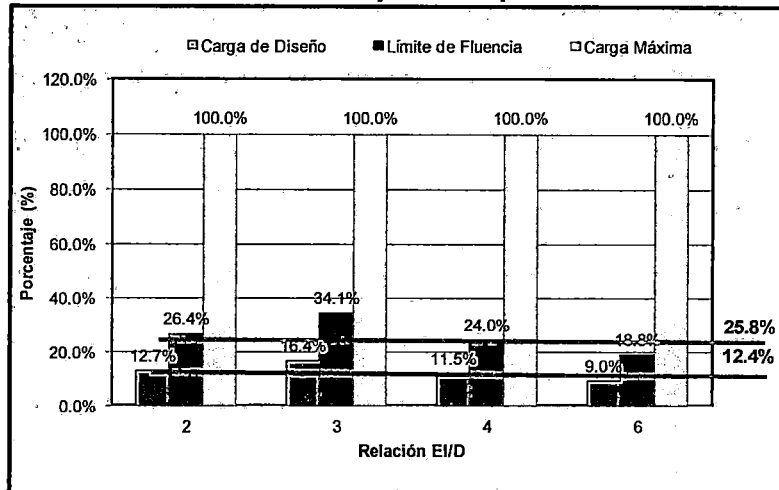


Gráfico 13: Comparativo porcentual



Igualmente el gráfico 14 muestra los valores hallados de cargas: experimental, en el límite proporcional y máxima para un incremento de la relación EI/D, considerando 3/8" el diámetro del tirafón.

Según los datos tomados, para un tirafón $\varnothing=3/8"$, la carga experimental representa el 14.17% (en promedio) y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 29.5% (en promedio) de la carga máxima como se aprecia en el gráfico 15.

Gráfico 14: Comparativo entre la relación EI/D vs Carga Experimental, Carga en el Límite Proporcional y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 3/8"

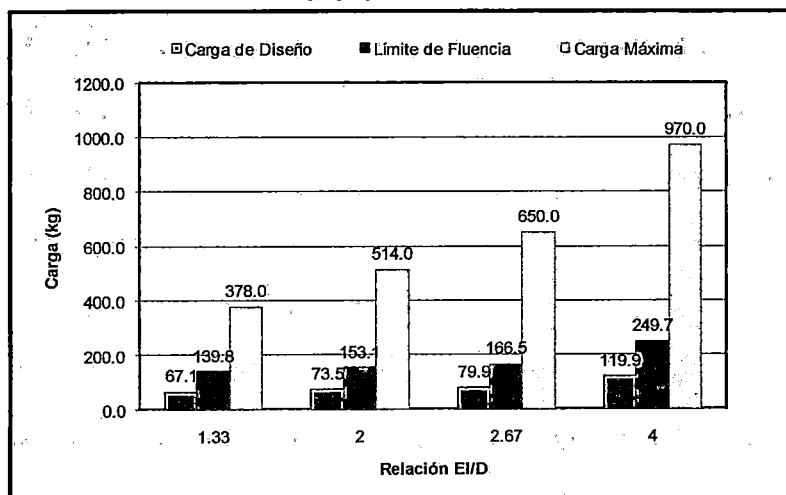
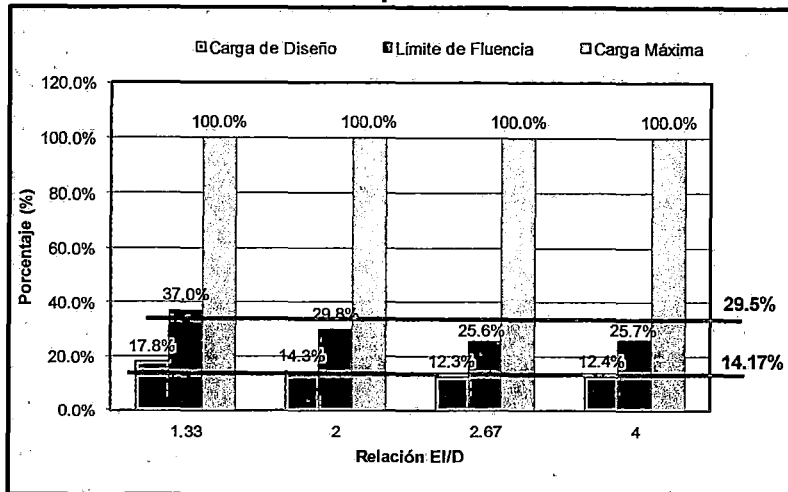


Gráfico 15: Comparativo Porcentual



A continuación analizaremos el comportamiento de la carga experimental en función de las variables: diámetro del tirafón (D) y la relación EI/D.

De acuerdo a los valores obtenidos experimentalmente y representados en los gráficos 10, 12 y 14, se ha realizado el gráfico 16.

En el gráfico 17, para un diámetro de tirafón de 3/8" se puede apreciar que no existe un valor de carga experimental para una relación EI/D=3, por tal motivo para realizar una correcta comparación fue necesario interpolar dicho valor de carga experimental.

Gráfico 16: Comparativo entre la Carga Experimental vs relación EI/D para varios diámetros de tirafón

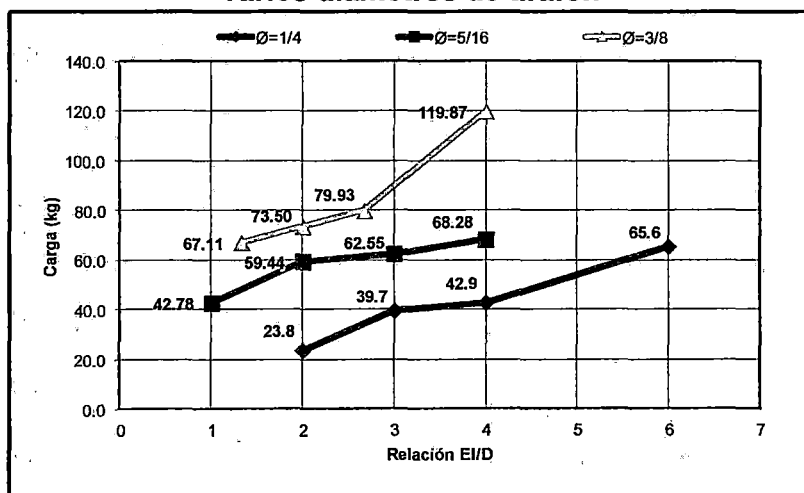
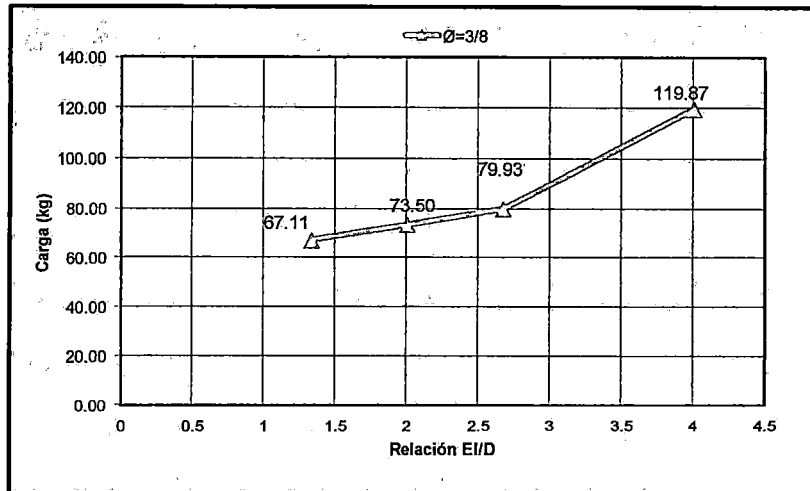


Gráfico 17: Valores de Carga Experimental vs relación E/D para un diámetro de tirafón 3/8"



Mediante esta interpolación que se presenta en el cuadro 19, se halla dicho valor para presentar el gráfico 18 y se calculó la variación porcentual de la Carga Experimental respecto a una variación de la relación E/D que se muestra en el gráfico 19.

Cuadro 19: Interpolación de valores de Carga Experimental de Corte Simple

Relacion E/D	1/4"	5/16"	3/8"
2	23.8	59.44	73.5
3	39.7	62.55	88.6
4	42.9	68.28	119.87

Gráfico 18: Relación de la Carga Experimental vs relación E/D para varios diámetros de tirafón

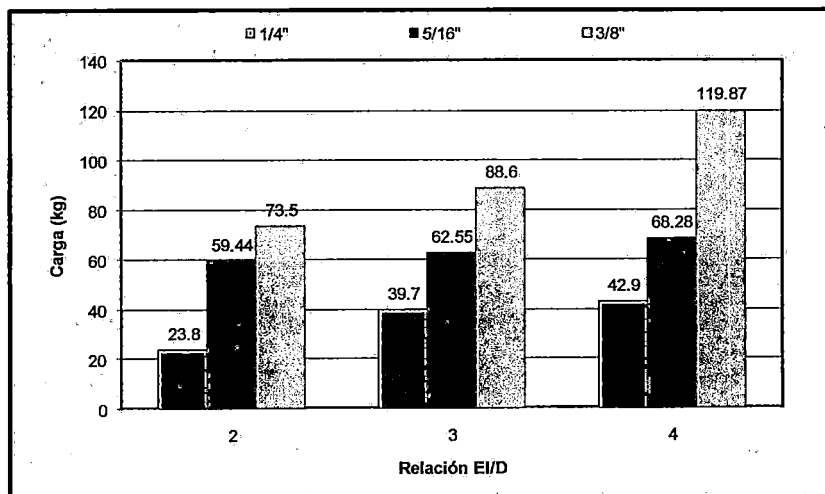
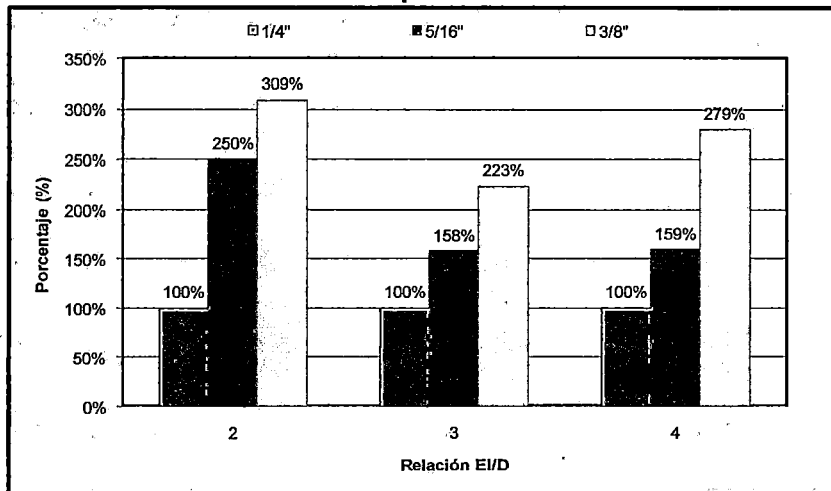


Gráfico 19: Comparativo Porcentual



De acuerdo a los datos obtenidos se observa que para un incremento en la relación E/D se origina un incremento porcentual del valor de la carga experimental para cada diámetro del tirafón, es decir en el caso de E/D=2, si tomamos en 100% la carga de diseño para un diámetro de 1/4", la variación porcentual de la carga experimental será para un diámetro de 5/16" en 150% y para el caso de 3/8" el incremento es del 209% y así para los demás diámetros estudiados según el gráfico 19.

Similarmente, con los valores obtenidos de carga máxima y representada en los gráficos 10, 12 y 14, se ha realizado el gráfico 20, que se muestra a continuación.

En el gráfico 21, para un diámetro de tirafón de 3/8" se puede apreciar que no existe un valor de carga máxima para una relación E/D=3, por tal motivo para realizar una correcta comparación fue necesario interpolar dicho valor de carga experimental.

Gráfico 20: Comparativo entre la Carga Máxima vs relación E/D para varios diámetros de tirafón

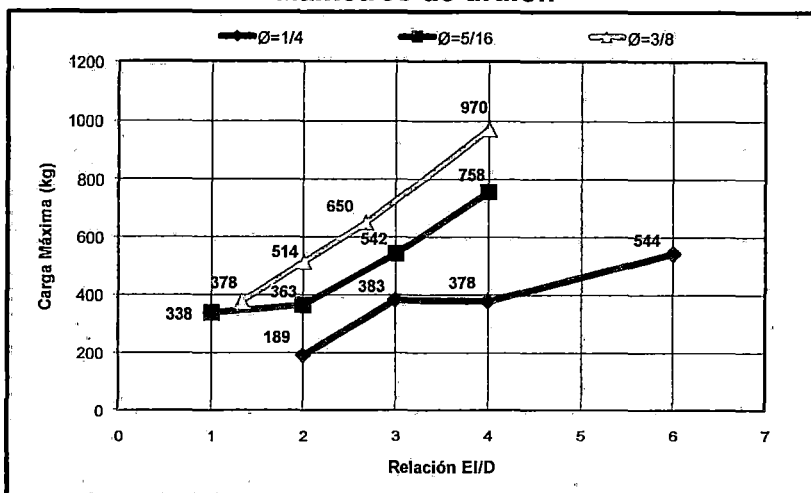
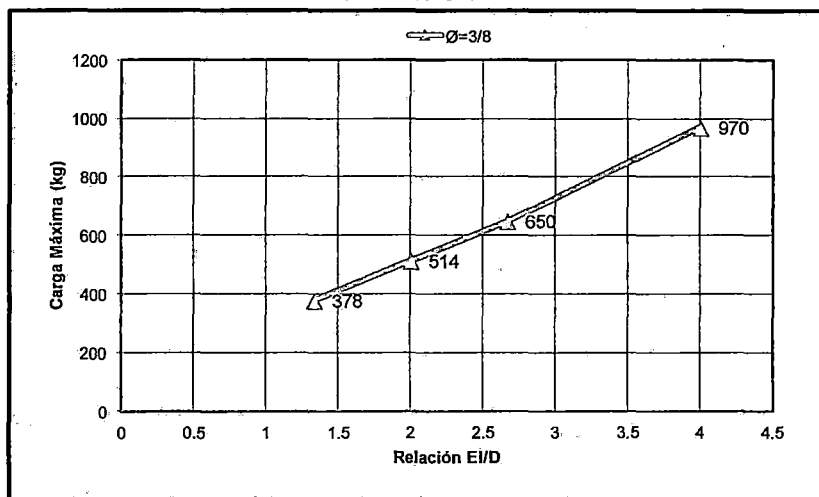


Gráfico 21: Valores de Carga Máxima vs relación E/D para un diámetro de tirafón 3/8"



Mediante esta interpolación que se presenta en el Cuadro 20, se halló el valor requerido para presentar el gráfico 22 y se calculó la variación porcentual de la Carga Máxima respecto a una variación de la relación E/D que se muestra en el gráfico 23.

Cuadro 20: Interpolación de valores de Carga Máxima

Relacion E/D	1/4"	5/16"	3/8"
2	189	363	514
3	383	542	739
4	378	758	970

Gráfico 22: Relación de la Carga Máxima vs relación E/D para varios diámetros de tirafón

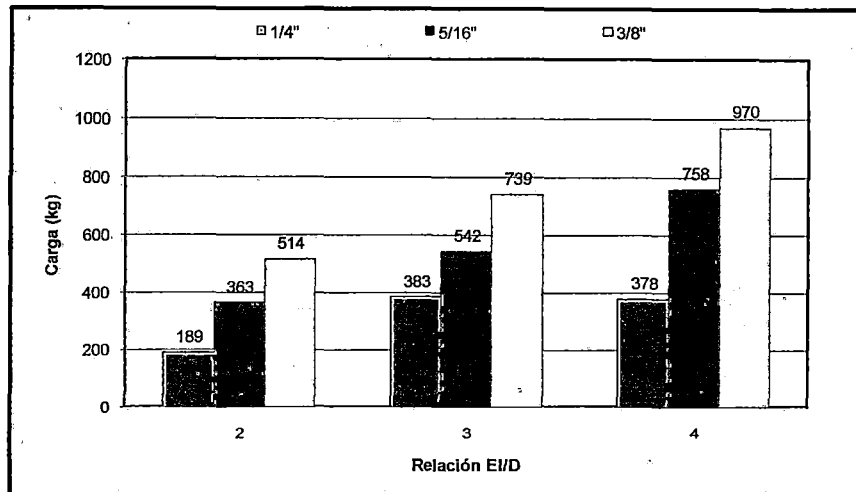
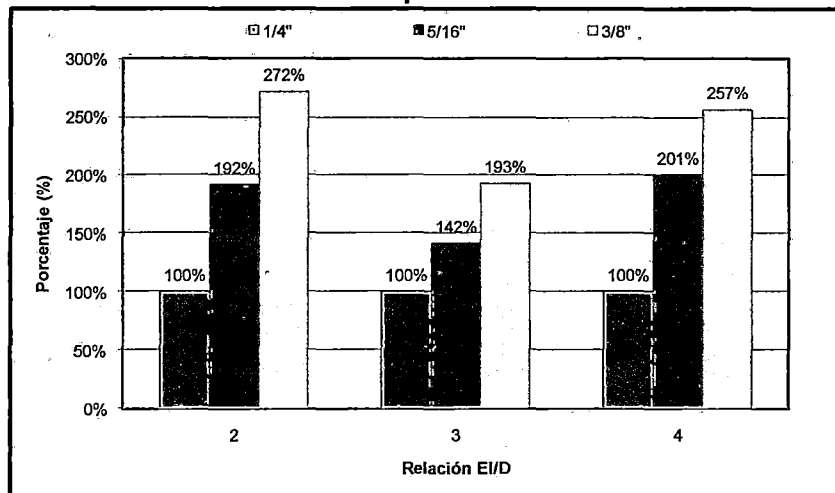


Gráfico 23: Comparativo Porcentual



De acuerdo a los datos obtenidos se observa que para un incremento en la relación E/D se origina un incremento porcentual del valor de la carga máxima para cada diámetro del tirafón, es decir en el caso de E/D=2, si tomamos en 100% la carga máxima para un diámetro de tirafón de 1/4", el incremento porcentual de la carga máxima será para un diámetro de 5/16" en 92% y para el caso de 3/8" el incremento es del 172%, y así para los demás diámetros estudiados según el gráfico 23.

Ahora analizaremos la variación de las deformaciones causadas por las cargas en el límite proporcional y máxima, para diferentes valores de la relación E/D.

En el gráfico 24, para un diámetro de tirafón de 1/4" se muestra una comparación entre los valores de las deformaciones en el límite proporcional y deformación máxima, para diferentes valores de la relación E/D.

Con los datos tomados del gráfico 24, se realizó un comparativo porcentual como se muestra en el gráfico 25, determinándose que la deformación en el límite proporcional representa en promedio 5.61% de la deformación máxima.

Gráfico 24: Comparación entre la relación E/D vs Deformación en el Límite proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 1/4"

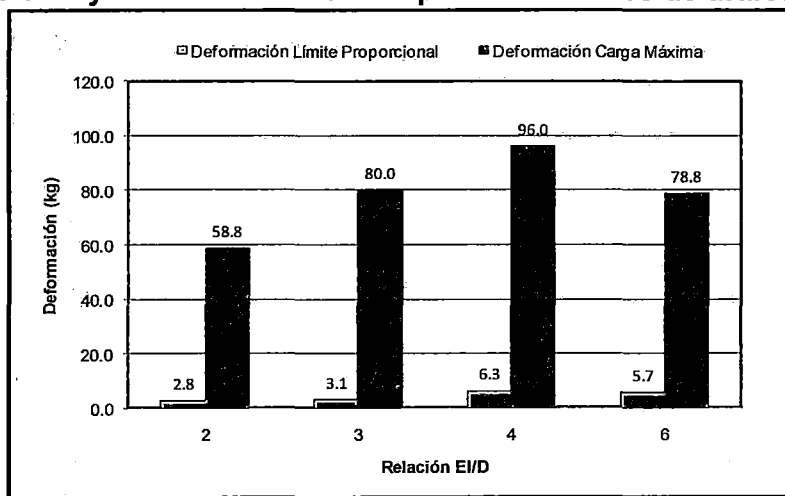
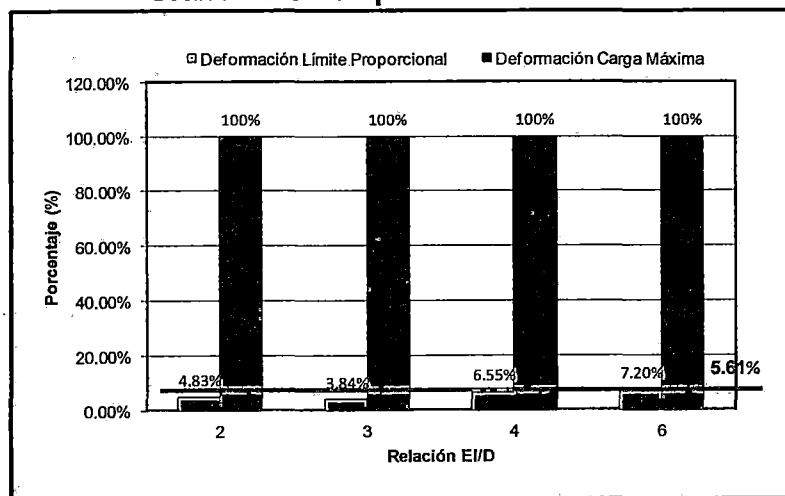


Gráfico 25: Comparación Porcentual



En el gráfico 26, para un diámetro de tirafón de 5/16" se muestra una comparación entre los valores de las deformaciones en el límite proporcional y deformación máxima, para diferentes valores de la relación E/D.

Con los datos tomados del gráfico 26, se realizó un comparativo porcentual como se muestra en el gráfico 27, determinándose que la deformación en el límite proporcional representa en promedio 6.16% de la deformación máxima.

Gráfico 26: Comparación entre la relación E/I/D vs Deformación en el Límite Proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 5/16"

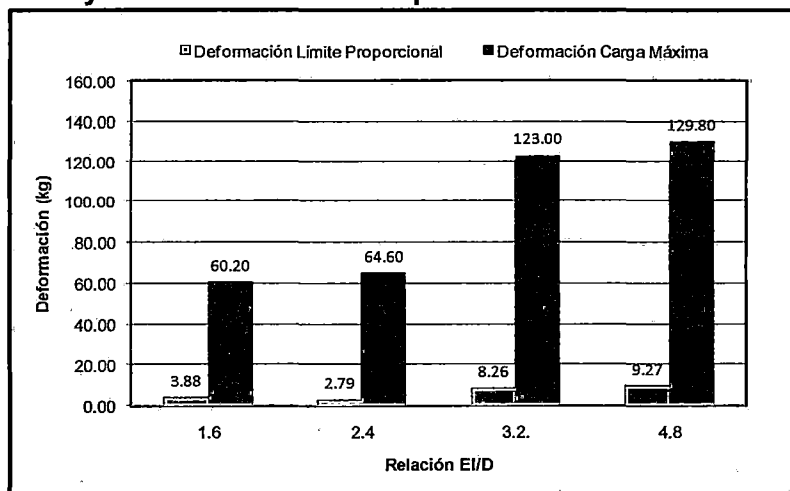
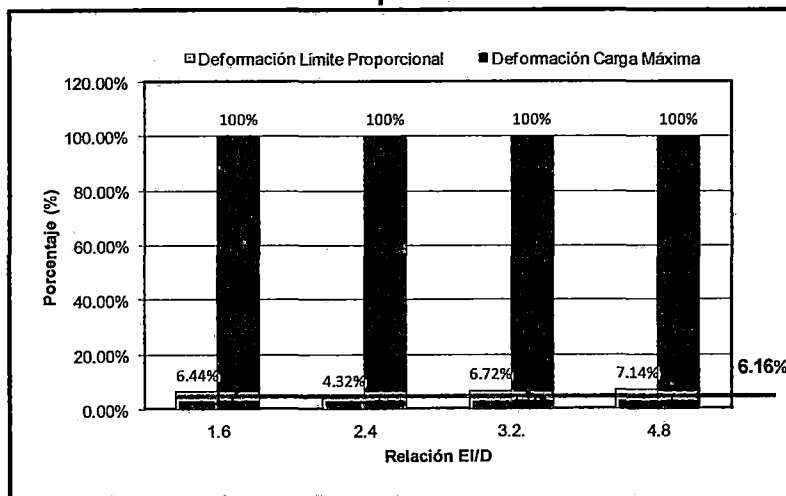


Gráfico 27: Comparación Porcentual



En el gráfico 28, para un diámetro de tirafón de 3/8" se muestra una comparación entre los valores de las deformaciones en el límite proporcional y deformación máxima, para diferentes valores de la relación E/I/D.

Con los datos tomados del gráfico 28, se realizó un comparativo porcentual como se muestra en el gráfico 29, determinándose que la deformación en el límite proporcional representa en promedio 5.27% de la deformación máxima.

Gráfico 28: Comparación entre la relación E/D vs Deformación en el Límite proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 3/8"

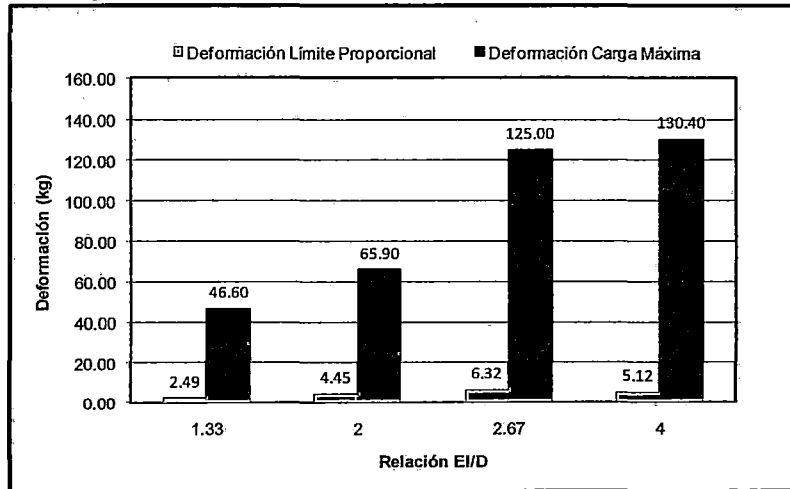
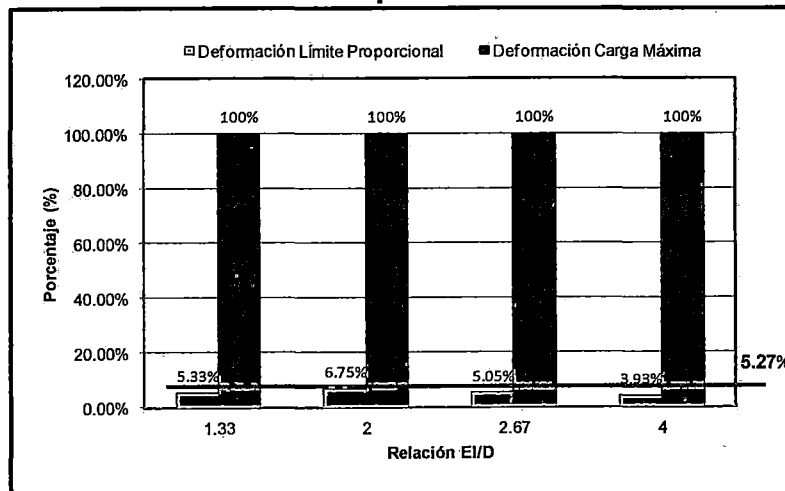


Gráfico 29: Comparativo Porcentual



Siendo D el diámetro del tirafón un valor fijo, en este caso se analizó la variación de la resistencia al cizallamiento en función a la variación de la profundidad de penetración.

El gráfico 30 muestra los valores hallados de carga experimental para un incremento en la profundidad de penetración, considerando diferentes diámetros del tirafón.

Gráfico 30: Comparación de la variación de la profundidad de penetración vs Carga Experimental para diferentes diámetros de tirafón

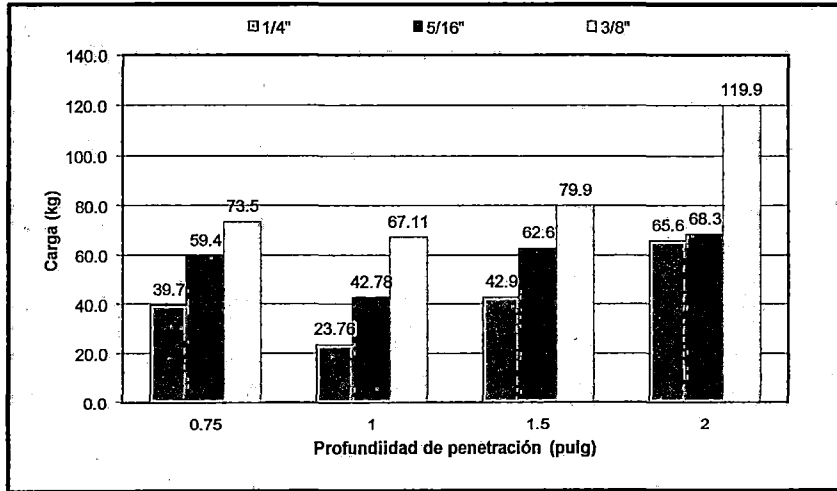
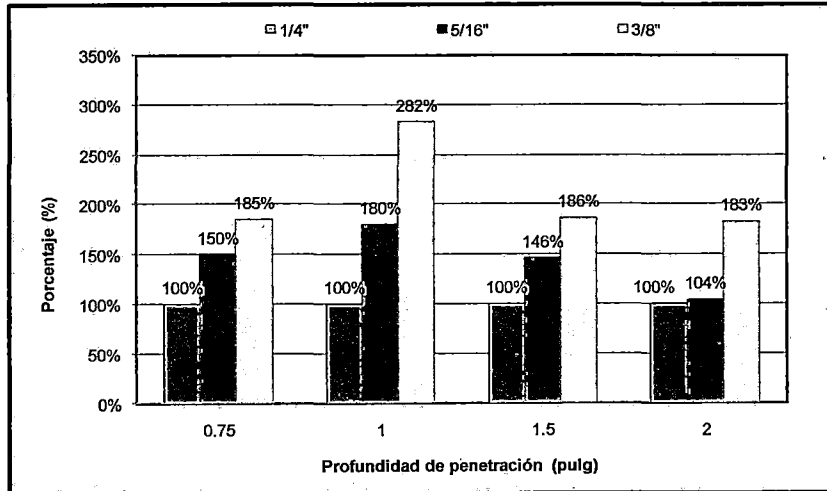


Gráfico 31: Comparativo porcentual



De acuerdo a los datos obtenidos se tiene que para un incremento en la profundidad de penetración se origina un incremento porcentual de la carga experimental para cada diámetro del tirafón, es decir en el caso de 0.75 pulgadas de profundidad de penetración si tomamos en 100% la carga experimental para un diámetro de 1/4", el incremento porcentual de la carga experimental será para un diámetro de 5/16" en 50% y para el caso de 3/8" el incremento es del 85% según se muestra en el gráfico 31.

El gráfico 32 muestra los valores hallados de carga máxima para un incremento en la profundidad de penetración, considerando diferentes diámetros del tirafón.

Gráfico 32: Comparación de la variación de la profundidad de penetración vs Carga Máxima para diferentes diámetros de tirafón

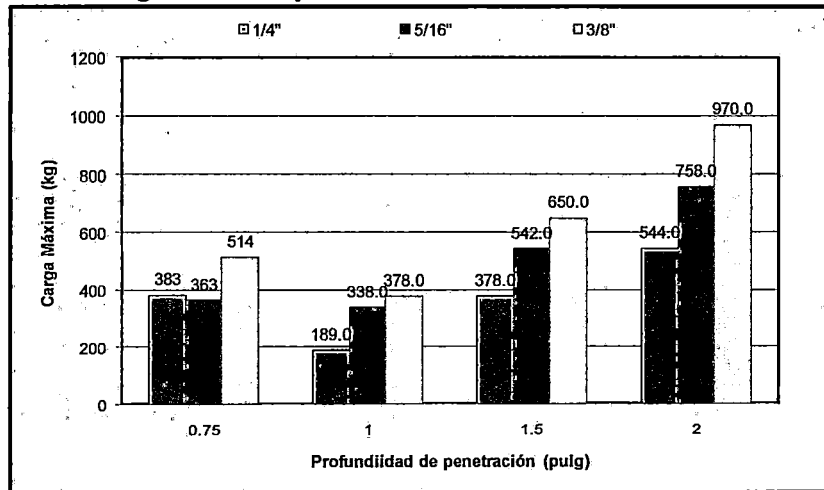
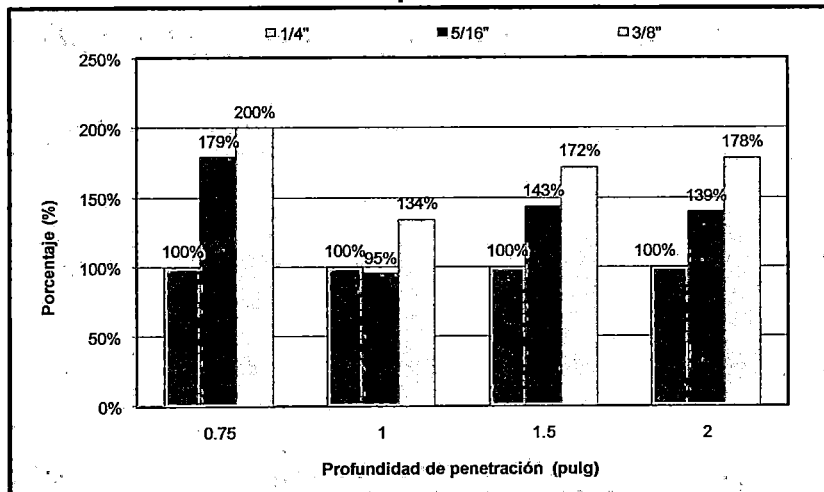


Gráfico 33: Comparativo Porcentual



De acuerdo a los datos obtenidos se deduce que para un incremento en la profundidad de penetración se origina un incremento porcentual de la carga máxima para cada diámetro del tirafón, es decir en el caso de 0.75 pulgadas de profundidad de penetración si tomamos en 100% la carga máxima para un diámetro de 1/4", el incremento porcentual de la carga máxima será para un diámetro de 5/16" en 79% y para el caso de 3/8" el incremento es del 100%.

A.2 Corte o Cizallamiento Simple Perpendicular al Grano

El cuadro 21 muestra los valores obtenidos de las cargas en el límite de proporcionalidad, carga máxima y carga experimental debido al incremento de las variables diámetro de tirafón, relación E/D y profundidad de penetración.

Cuadro 21: Valores de Cargas obtenidos en el ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano.

Código de Ensayo	Diámetro (pulg)	EI/D	Profundidad Penetración (pulg)	Carga en el Límite Proporcional (kg)	Carga Máxima (kg)	Carga Experimental (kg)
B.1.1	1/4	2	1	129.02	371	61.93
B.1.2	5/16	1.6	2	149.68	687	71.85
D.1.2	5/16	1.6	1	162.83	301	78.16
D.1.3	3/8	1.33	1	175.24	393	84.11
D.2.1	1/4	3	0.75	145.81	232	69.99
D.2.2	5/16	2.4	0.75	130.57	321	62.67
D.2.3	3/8	2	0.75	165.21	422	79.3

El cuadro 22 muestra los valores obtenidos de las deformaciones en el límite de proporcionalidad y deformación máxima debido al incremento de las variables diámetro de tirafón, relación EI/D y profundidad de penetración.

Cuadro 22: Valores de Deformaciones obtenidos en el ensayo de cizallamiento simple perpendicular al grano.

Código de Ensayo	Diámetro (pulg)	EI/D	Profundidad Penetración (pulg)	Deformación en el Límite Proporcional (mm)	Deformación Máxima (mm)
B.1.1	1/4	2	1	4.31	128.6
B.1.2	5/16	1.6	2	5.60	121.0
D.1.2	5/16	1.6	1	2.90	121.2
D.1.3	3/8	1.33	1	2.68	83.2
D.2.1	1/4	3	0.75	1.87	117.6
D.2.2	5/16	2.4	0.75	4.15	127.4
D.2.3	3/8	2	0.75	3.49	116.9

El gráfico 34 representa los valores de cargas: experimental, en el límite de proporcionalidad y máxima para un incremento de la relación EI/D, para el diámetro de tirafón de 1/4".

Debemos acotar con relación al gráfico 34, que si bien es cierto para un valor de EI/D=2.0 se obtiene un valor de carga máxima igual a 371 kg, mayor con respecto a un valor de EI/D=3.0 cuyo valor es de 232 kg. Pareciera un valor equivocado, puesto que se ha observado en anteriores ensayos que a un incremento de EI/D, aumentará también el valor de la carga máxima, sin embargo debe mencionarse que la profundidad de penetración del tirafón ha

influenciado en el resultado, puesto que para el valor de $EI/D=2.0$ la profundidad de penetración es igual a 1mm, mientras que para $EI/D=3.0$ es de 0.75mm.

Gráfico 34: Comparativo entre la relación EI/D vs Carga de Experimental, Carga en Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 1/4"

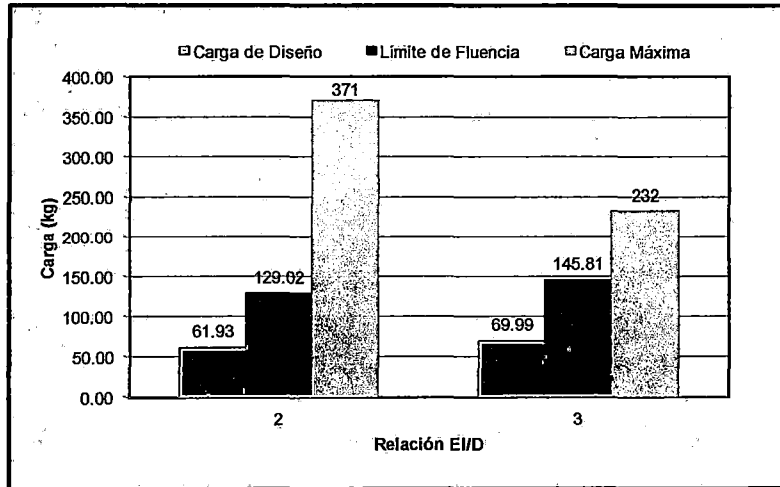
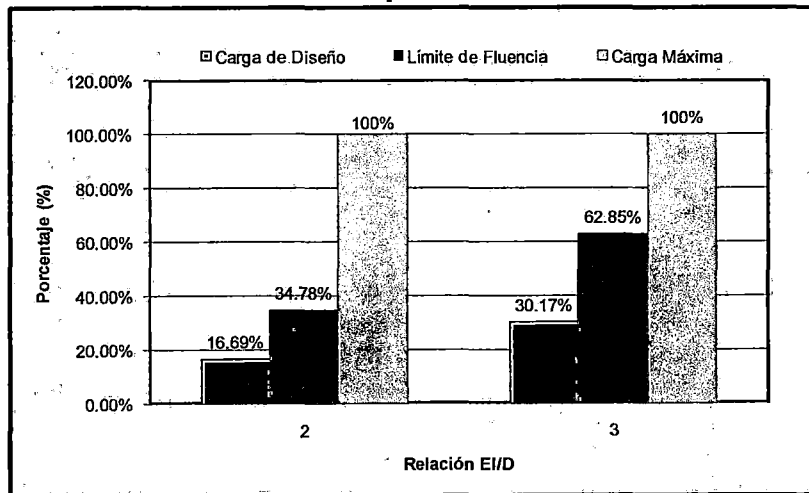


Gráfico 35: Comparación Porcentual



Según los datos tomados, para un $\varnothing=1/4"$, la carga experimental representa el 16.69% y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 34.78% de la carga máxima para una relación EI/D igual a 2, como se muestra en el gráfico 35.

Igualmente en el mismo gráfico se observa que el comportamiento para una relación de EI/D igual a 3 es diferente, observando que la carga experimental

representa el 30.17% y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 62.85% de la carga máxima.

El gráfico 36 representa los valores de cargas: experimental, en el límite de proporcionalidad y máxima para un incremento de la relación E/D, para el diámetro de tirafón de 5/16".

Gráfico 36: Comparativo entre la relación E/D vs Carga Experimental, Carga en Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 5/16"

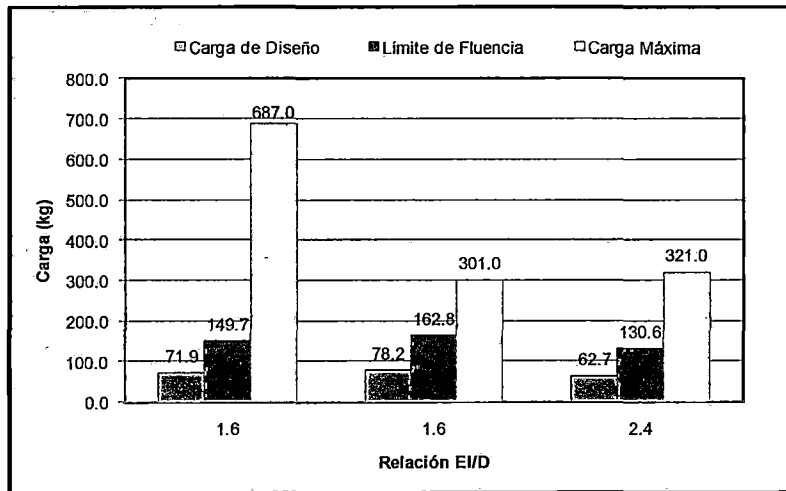
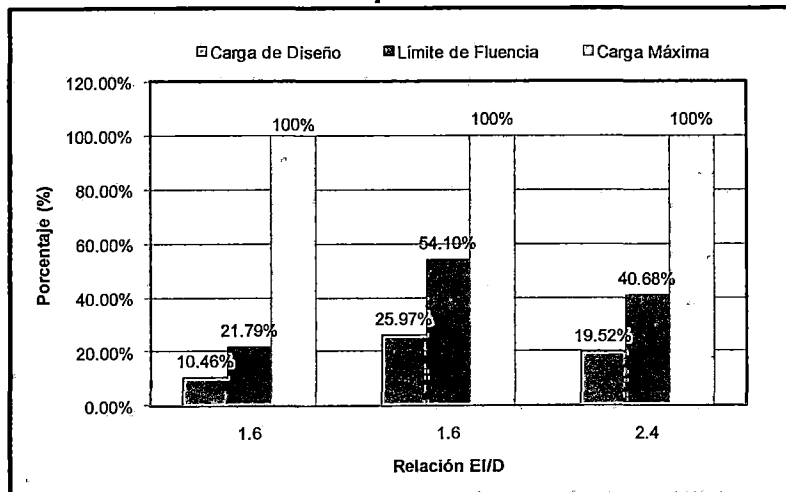


Gráfico 37: Comparación Porcentual



A continuación analizaremos la comparación porcentual que se presenta en el gráfico 37, realizado a partir de los valores mostrados en el gráfico 36.

Según los datos tomados, para un $\varnothing=5/16"$, la carga de diseño representa el 10.46% y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 21.79% de la

carga máxima para una relación EI/D igual a 1.6, pero con una profundidad de penetración igual a 2".

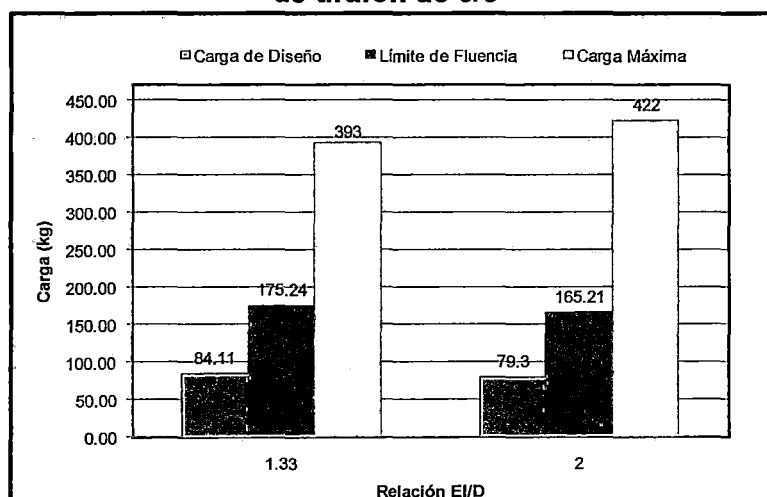
Además para una relación EI/D igual a 1.6, la carga experimental representa el 25.97% y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 54.10% de la carga máxima, pero con una profundidad de penetración igual a 1".

Como se puede visualizar en el gráfico 37, si bien es cierto que para una relación EI/D igual a 1.6, se tienen valores diferentes de carga experimental, carga en el límite de proporcionalidad y carga máxima, esto debido a la variación en la profundidad de penetración que tienen ambos ensayos.

Además el comportamiento para una relación de EI/D igual a 2.4 es diferente, observando que la carga experimental representa el 19.52% y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 40.68% de la carga máxima.

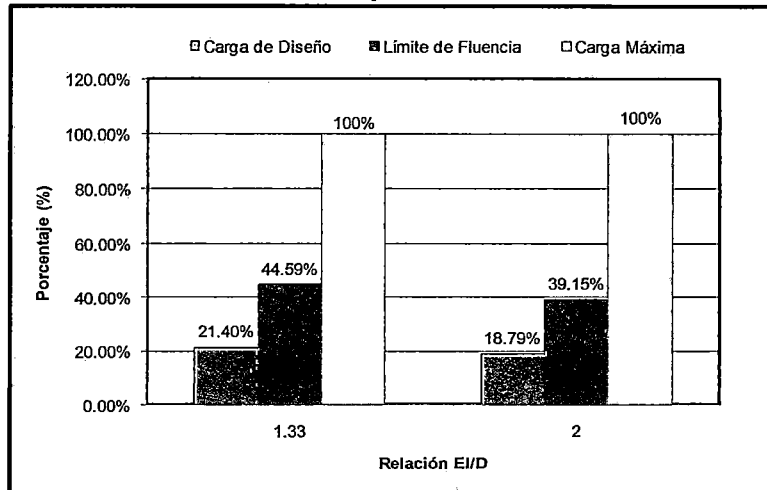
El gráfico 38 representa los valores de cargas: experimental, en el límite de proporcionalidad y máxima para un incremento de la relación EI/D , para el diámetro de tirafón de 3/8".

Gráfico 38: Comparativo entre la relación EI/D vs Carga Experimental, Carga en Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para un diámetro de tirafón de 3/8"



A continuación analizaremos la comparación porcentual que se presenta en el gráfico 39, realizado a partir de los valores del gráfico 38.

Gráfico 39: Comparativo Porcentual



Según los datos tomados, para un $\varnothing=3/8"$, la carga experimental representa el 21.40% y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 44.59% de la carga máxima para una relación EI/D igual a 1.33, pero con una profundidad de penetración igual a 1".

Además para una relación EI/D igual a 2, la carga experimental representa el 18.79% y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 39.15% de la carga máxima, pero con una profundidad de penetración igual a 0.75".

Como se puede visualizar en el gráfico 39, a un incremento de la relación EI/D, se obtienen decrementos en los valores de la carga experimental, carga en el límite proporcional y carga máxima, esto debido a las diferentes profundidades de penetración de los tirafones.

En el gráfico 40, para un diámetro de tirafón de 1/4" se muestra una comparación entre los valores de las deformaciones en el límite proporcional y deformación máxima, para diferentes valores de la profundidad de penetración.

Según los datos tomados del gráfico 40, para un incremento de la profundidad de penetración, la deformación en el límite proporcional es 1.59% para una profundidad de 0.75" y 3.35% para una profundidad de 1" de la deformación máxima según se muestra en el gráfico 41.

Gráfico 40: Comparación entre la Profundidad de penetración vs Deformación en el Límite Proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 1/4"

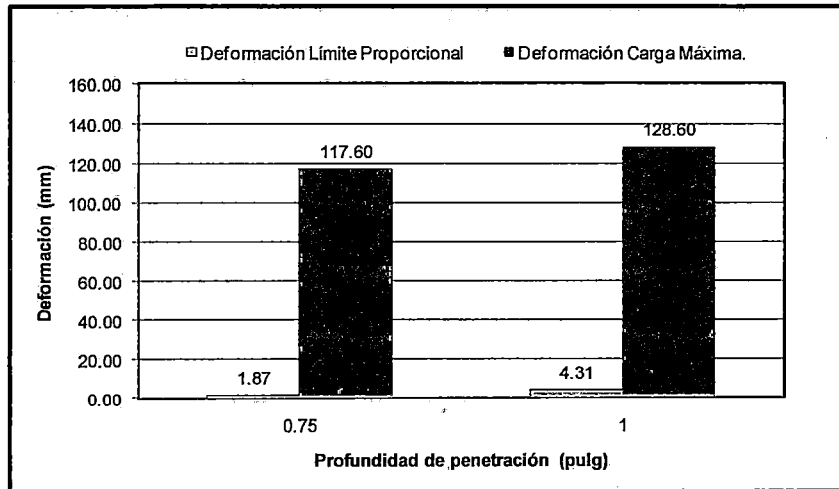
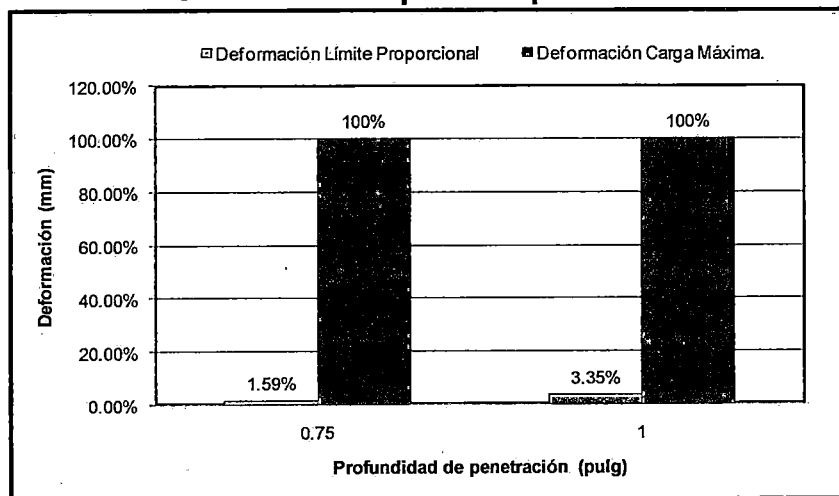


Gráfico 41: Comparación porcentual



En el gráfico 42, para un diámetro de tirafón de 5/16" se muestra una comparación entre los valores de las deformaciones en el límite proporcional y deformación máxima, para diferentes valores de la profundidad de penetración.

Según los datos tomados del gráfico 42, para un incremento de la profundidad de penetración, la deformación en el límite proporcional es 3.26% para una profundidad de 0.75", 2.39% para una profundidad de 1" y 4.63% para una profundidad de 2" de la deformación máxima según se muestra en el gráfico 43.

Gráfico 42: Comparación entre la Profundidad de penetración vs Deformación en el Límite proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 5/16"

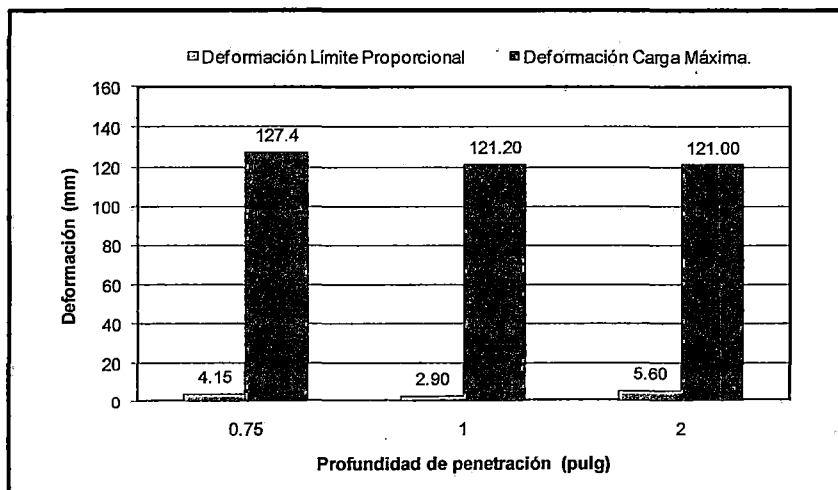
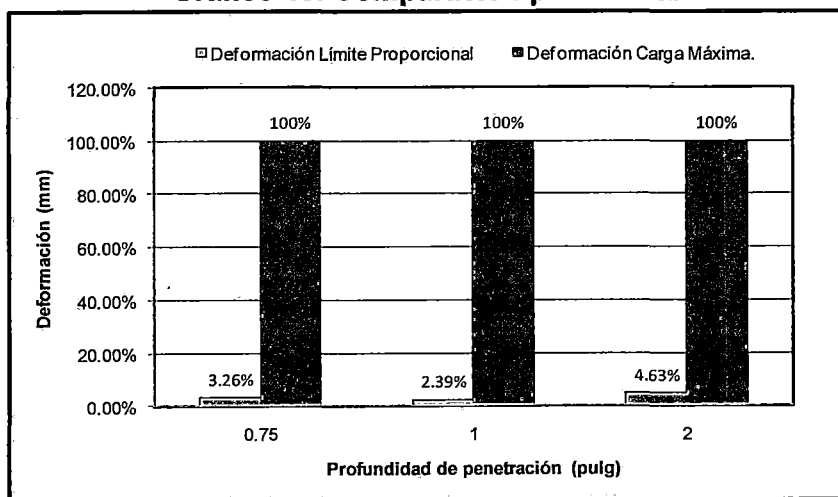


Gráfico 43: Comparación porcentual



En el gráfico 44, para un diámetro de tirafón de 3/8" se muestra una comparación entre los valores de las deformaciones en el límite proporcional y deformación máxima, para diferentes valores de la profundidad de penetración.

Según los datos tomados del gráfico 44, para un incremento de la profundidad de penetración, la deformación en el límite proporcional es 2.98% para una profundidad de 0.75" y 3.23% para una profundidad de 1" de la deformación máxima según se muestra en el gráfico 45.

Gráfico 44: Comparación entre la Profundidad de penetración vs Deformación en el Límite proporcional y Deformación Máxima para un diámetro de tirafón de 3/8"

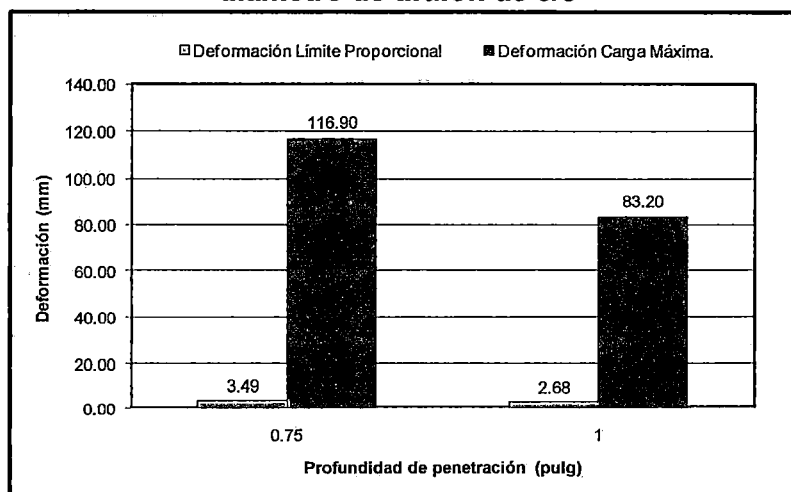
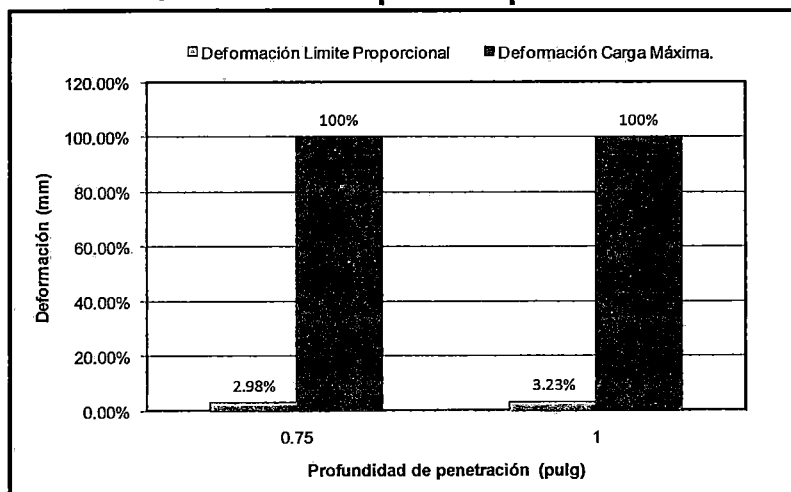


Gráfico 45: Comparación porcentual



En el gráfico 46 se muestra una comparación entre los valores de las cargas: experimental, en el límite proporcional y máxima para diferentes valores del diámetro del tirafón considerando una misma profundidad de penetración de 0.75".

A continuación analizaremos la comparación porcentual que se presenta en el gráfico 47, realizado a partir de los valores del gráfico 46.

Según los datos respectivos, para una profundidad de penetración de 0.75", la carga experimental representa el 30.17% y la carga en el límite de

proporcionalidad representa el 62.85% de la carga máxima para un diámetro de tirafón igual a 1/4".

Además, como se muestra en el gráfico 47, se observa que el incremento porcentual es mayor para un diámetro de tirafón de 1/4" con relación a los tirafones de diámetros 5/16" y 3/8".

Gráfico 46: Comparativo entre la profundidad de penetración vs Carga Experimental, Carga en el Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para una Profundidad de penetración de 0.75"

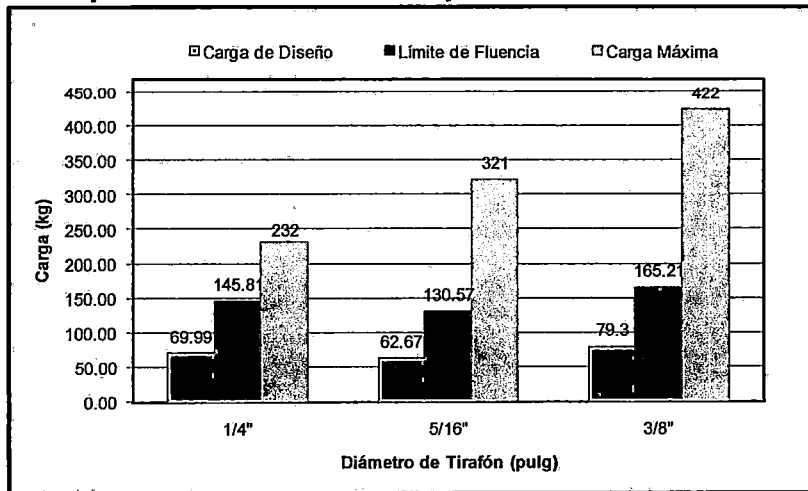
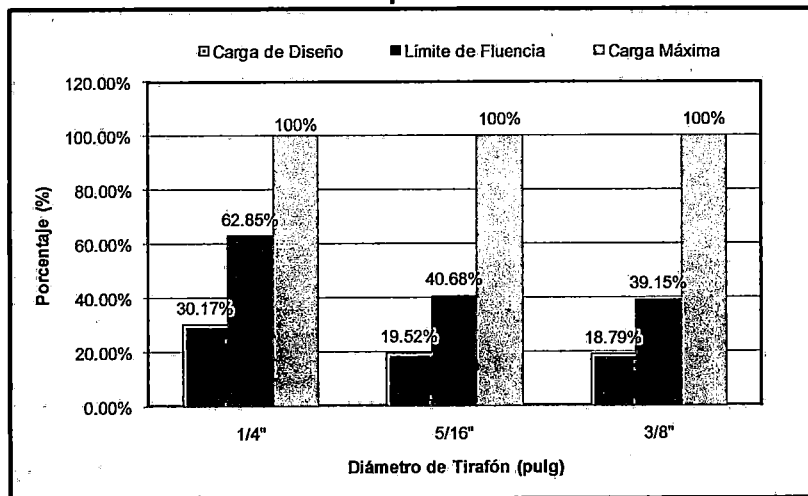


Gráfico 47: Comparativo Porcentual



En el gráfico 48 se muestra una comparación entre los valores de las cargas: experimental, en el límite proporcional y máxima para diferentes valores del diámetro del tirafón para una misma profundidad de penetración de 1".

A continuación analizaremos la comparación porcentual que se presenta en el gráfico 49, realizado a partir de los valores del gráfico 48.

Según los datos tomados, para una profundidad de penetración de 1", la carga experimental representa el 16.69% y la carga en el límite de proporcionalidad representa el 34.78% de la carga máxima para un diámetro de tirafón igual a 1/4".

Además, como se muestra en el gráfico 49, se observa que el incremento porcentual es mayor para un tirafón de diámetro de 1/4" con relación a los tirafones de diámetro 5/16" y 3/8".

Gráfico 48: Comparativo entre el Diámetro del tirafón vs Carga Experimental, Carga en Límite de Proporcionalidad y la Carga Máxima para una Profundidad de penetración de 1"

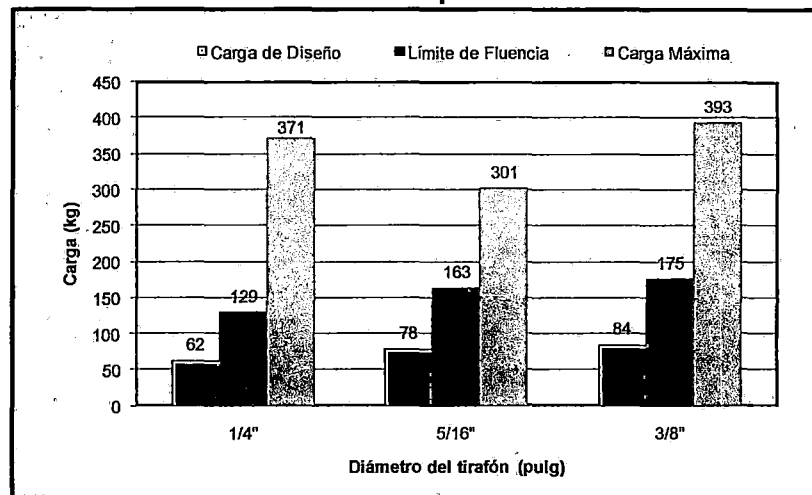
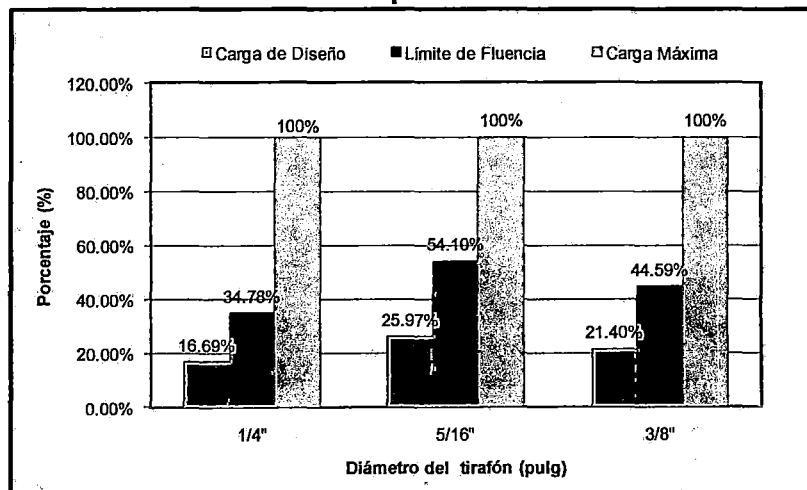


Gráfico 49: Comparativo Porcentual



A.3 Corte o Cizallamiento Doble Paralelo al Grano

En la presente tesis sólo se ensayó una probeta similar a la tesis de Jany Hurtado (8), debido a que se deseaba realizar una comparación de valores con dicha especie maderera estudiada en la respectiva tesis.

El cuadro 23 muestra los resultados de dicho ensayo aplicada a una única probeta.

Cuadro 23: Resultados del ensayo de corte doble paralelo al grano

D=1/4"								
Muestra	Longitud de Tira-fón (pulg)	Espesor Lateral El (pulg)	E/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga Experimental	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
C.1.1	1 1/2	1/2	2.00	299.94	144	812	1.67	114.60

A.4 Corte o Cizallamiento Doble Perpendicular al Grano

Similar al anterior sólo se ensayó una probeta con la finalidad de hacer una comparación de valores calculadas en la respectiva tesis.

El cuadro 24 muestra los resultados de dicho ensayo aplicada a una única probeta.

Cuadro 24: Resultados del ensayo de corte doble perpendicular al grano

D=1/4"								
Muestra	Longitud de Tira-fón (pulg)	Espesor Lateral El (pulg)	E/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga Experimental	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
D.1.1	1 1/2	1/2	2.00	368.58	177	778	2.67	107.00

5.3 TABLA DE RESUMEN FINAL DE DATOS OBTENIDOS EN EL LABORATORIO

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

Uniones Estructurales con tirafones en madera Quinilla Colorada

Autor: Claudia Paredes Palomino (19)

Uniones Estructurales con tirafones en madera Capirona

Autor: Jany Hurtado Ángel (8)

Uniones Estructurales con tirafones en madera Cachimbo

Autor: Germán Menacho (17)

Uniones Estructurales con tirafones en madera Azúcar Huayo

Autor: Álvaro Pérez Chapoñan (20)

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

En general todos los valores hallados experimentalmente han sido redondeados al entero superior para determinar los valores de diseño.

Extracción Directa

Los valores hallados experimentalmente y que se presentaron en el cuadro 18, han sido redondeados al entero superior para determinar los valores de diseño de extracción directa, en el cuadro 25 se presentan dichos valores de diseño.

Cuadro 25: Tabla de valores de Carga de Diseño del ensayo de Extracción Directa

Diámetro del tirafón		Carga de Extracción (kg/cm)
pulg	mm	
1/4	6.35	30
5/16	7.94	36
3/8	9.53	43

El cuadro 26 muestra los valores hallados de carga de extracción directa a la unión tirafón-madera Tornillo, y los valores de carga a extracción directa hallados en los estudios de tesis realizados a la unión tirafón-madera Quinilla y a la unión tirafón-Capirona.

Cuadro 26: Valores de carga de extracción de diseño para varias especies madereras estudiadas

Quinilla			Capirona			Tornillo		
Diámetro del tirafón		Carga de Extracción (kg/cm)	Diámetro del tirafón		Carga de Extracción (kg/cm)	Diámetro del tirafón		Carga de Extracción (kg/cm)
pulg	mm		pulg	mm		pulg	mm	
1/4	6.35	67.61	1/4	6.35	46.06	1/4	6.35	30
5/16	7.94	73.66	3/8	9.53	67.61	5/16	7.94	36
3/8	9.53	76.54	1/2	12.70	61.13	3/8	9.53	43

El gráfico 50 ha sido elaborado en base a los datos del cuadro 26, en dicho gráfico se puede apreciar que la línea de tendencia resultante para la madera tornillo se presenta más uniforme con relación a las otras especies, además se observa que la madera Quinilla presenta los mayores valores de carga de extracción, seguido por la Capirona y por último el Tornillo que presenta los valores más bajos.

En el gráfico 51 se observa la variación porcentual de la carga de extracción para diferentes especies madereras a utilizar, para cada diámetro de tirafón respectivo. Por ejemplo, si se tiene un tirafón de 1/4", podemos notar que si utilizamos madera tornillo como base, al cambiar la especie maderera por Capirona el incremento en la carga de extracción será en 54%, y si utilizamos Quinilla el incremento en la carga de extracción será de 125%.

Los gráficos 53 y 54 nos ayudarán a elegir la especie maderera de acuerdo a nuestra solicitud de cargas de servicio que debemos satisfacer.

Gráfico 50: Comparativo de cargas de extracción con otras especies madereras

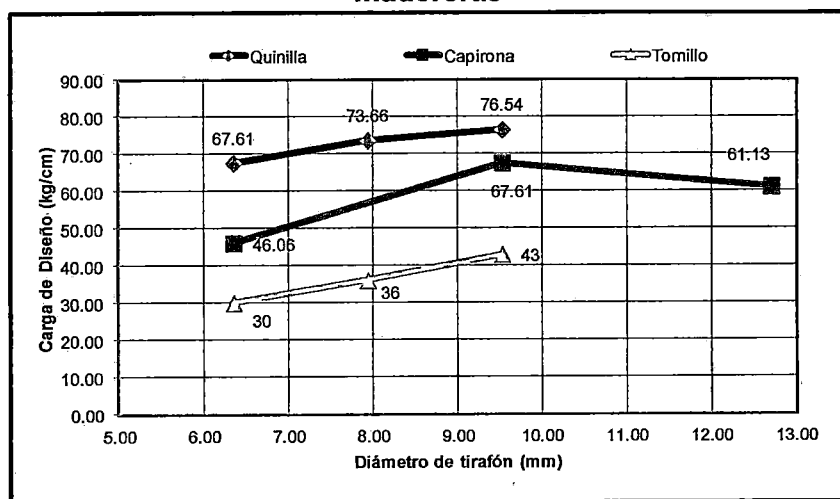
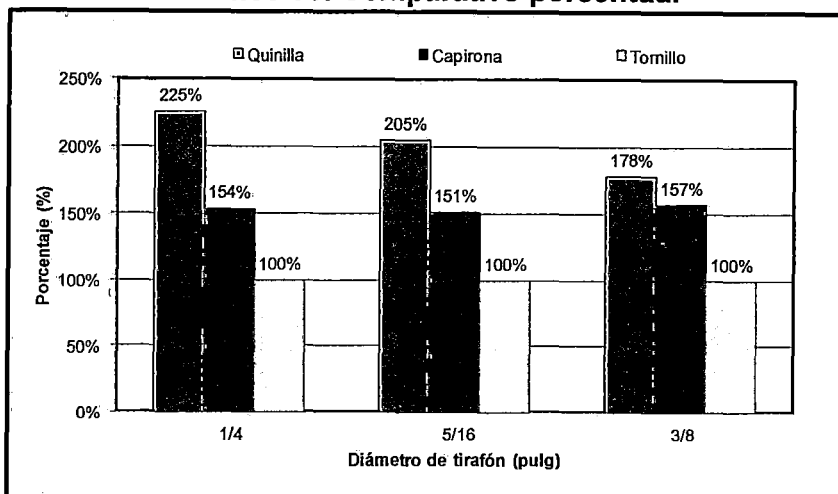


Gráfico 51: Comparativo porcentual



Corte o Cizallamiento Simple Paralelo a la fibra

Los valores de cargas y deformaciones obtenidos de los ensayos de laboratorio del presente estudio se muestran en los cuadros 27, 28 y 29.

Cuadro 27: Tabla de valores del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø1/4"

D=1/4"								
Muestra	Longitud de Tirafón (pulg)	Espesor Lateral EI (pulg)	EI/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga Diseño	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
A.1.1	1 1/2	1/2	2.00	49.49	24	189	2.84	58.80
A.2.1	1 1/2	3/4	3.00	82.66	40	383	3.07	80.00
A.3.1	2 1/2	1	4.00	89.34	43	378	6.28	96.00
A.4.1	3 1/2	1 1/2	6.00	136.57	66	544	5.68	78.80

Cuadro 28: Tabla de valores del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø5/16"

D=5/16"								
Muestra	Longitud de Tirafón (pulg)	Espesor Lateral EI (pulg)	EI/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga Diseño	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
A.1.2	1 1/2	1/2	1.60	89.13	43	338	3.88	60.20
A.2.2	1 1/2	3/4	2.40	123.83	59	363	2.79	64.60
A.3.2	2 1/2	1	3.20	130.31	63	542	8.26	123.00
A.4.2	3 1/2	1 1/2	4.80	142.25	68	758	9.27	129.80

Cuadro 29: Tabla de valores del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø3/8"

D=3/8"								
Muestra	Longitud de Tirañón (pulg)	Espesor Lateral EI (pulg)	EI/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga Diseño	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
A.1.3	1 1/2	1/2	1.33	139.82	67	378	2.49	46.60
A.2.3	1 1/2	3/4	2.00	153.12	73	514	4.45	65.90
A.3.3	2 1/2	1	2.67	166.51	80	650	6.32	125.00
A.4.3	3 1/2	1 1/2	4.00	249.73	120	970	5.12	130.40

Seguidamente realizaremos unos comentarios sobre los resultados de las cargas de diseño realizados en la presente tesis y que se muestran en el cuadro 30.

Dichos valores serán comparados con las cargas de diseño obtenidos en otros estudios que ya se mencionaron anteriormente y se muestran del cuadro 31 al 34.

Cuadro 30: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirañón y madera tornillo

Diámetro Tirañón (pulg)	Longitud de Tirañón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)
1/4	1 1/2	1/2	2.00	24.00
	1 1/2	3/4	3.00	40.00
	2 1/2	1	4.00	43.00
	3 1/2	1 1/2	6.00	66.00
5/16	1 1/2	1/2	1.60	43.00
	1 1/2	3/4	2.40	59.00
	2 1/2	1	3.20	63.00
	3 1/2	1 1/2	4.80	68.00
3/8	1 1/2	1/2	1.33	67.00
	1 1/2	3/4	2.00	73.00
	2 1/2	1	2.67	80.00
	3 1/2	1 1/2	4.00	120.00

Cuadro 31: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera Capirona

Diámetro Tirafón (pulg)	Longitud de Tirafón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)
1/4	1 1/2	1/2	2.00	102.24
	1 1/2	3/4	3.00	149.78
	2 1/2	1	4.00	163.68
	3 1/2	1 1/2	6.00	160.99
3/8	1 1/2	1/2	1.33	140.64
	1 1/2	3/4	2.00	205.44
	2 1/2	1	2.67	256.32
	3 1/2	1 1/2	4.00	281.28
1/2	1 1/2	1/2	1.00	132.48
	1 1/2	3/4	1.50	188.18
	2 1/2	1	2.00	228.00
	3 1/2	1 1/2	3.00	346.08

Cuadro 32: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera Quinilla

Diámetro Tirafón (pulg)	Longitud de Tirafón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)
1/4	1 1/2	1/2	2.00	110.4
	2	3/4	3.00	115.2
	2	1	4.00	121.92
	2 1/2	1 1/2	6.00	147.36
5/16	1 1/2	1/2	1.60	128.35
	2	3/4	2.40	133.92
	2	1	3.20	170.89
	2 1/2	1 1/2	4.80	189.90
3/8	1 1/2	1/2	1.33	149.28
	2	3/4	2.00	139.68
	2	1	2.67	183.38
	2 1/2	1 1/2	4.00	192.98

Cuadro 33: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera Cachimbo

Diámetro Tirafón (pulg)	Longitud de Tirafón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)
1/4	2.50	2.00	2.00	124.00
	3.00	2.00	2.00	128.00
	4.00	2.00	2.00	132.00
	2.50	3.00	3.00	138.00
	3.00	3.00	3.00	143.00
	4.00	3.00	3.00	150.00
	4.00	4.00	4.00	150.00
	4.00	5.00	5.00	100.00
5/16	4.00	2.00	2.00	150.00
	4.00	3.00	3.00	158.00
	4.00	4.00	4.00	169.00
3/8	4.00	2.00	2.00	171.00
	4.00	3.00	3.00	200.00

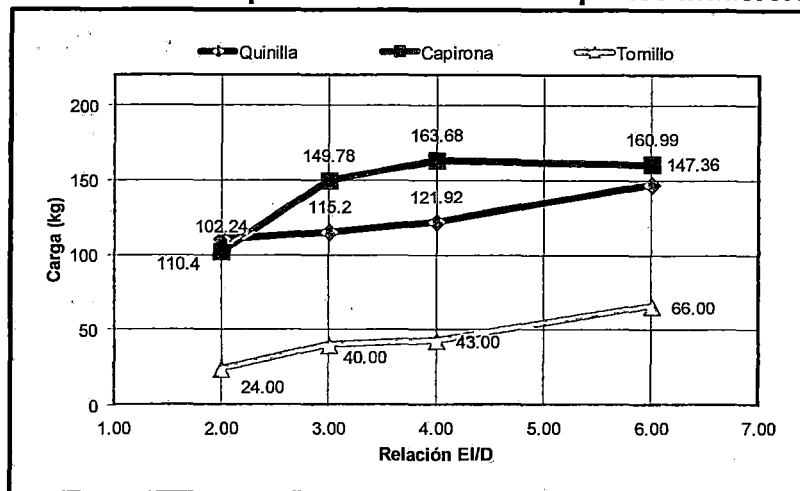
Cuadro 34: Valores de Carga de Diseño de la unión estructural tirafón y madera Azúcar Huayo

Diámetro Tirafón (pulg)	Longitud de Tirafón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)
1/4	2.50	2.00	2.00	130.00
	3.00	2.00	2.00	189.00
	4.00		2.00	244.00
	2.50	3.00	3.00	128.00
	3.00	3.00	3.00	144.00
	4.00	3.00	3.00	171.00
	4.00	4.00	4.00	182.00
	4.00	5.00	5.00	163.00
5/16	4.00	2.00	2.00	381.00
	4.00	3.00	3.00	356.00
	4.00	4.00	4.00	392.00
3/8	4.00	2.00	2.00	553.00
	4.00	3.00	3.00	440.00

De los cuadros anteriores (31-34), se puede notar la diferencia en los valores de las variables utilizadas (EI/D, longitud de tirafón y EI/D), esto ha impedido realizar una comparación con todas las especies madereras antes mencionadas, pero si se puede comparar los valores obtenidos en la presente tesis con los hallados para las especies madereras Capirona y Quinilla, dicha comparación se muestra en el gráfico 52.

Como se aprecia la línea de tendencia de la función que permite calcular la carga de diseño para la madera tornillo es uniforme y creciente, y está por debajo de las otras, lo que significa que tiene los valores más bajos de carga de diseño, seguido por la Quinilla y encima de todos la Capirona.

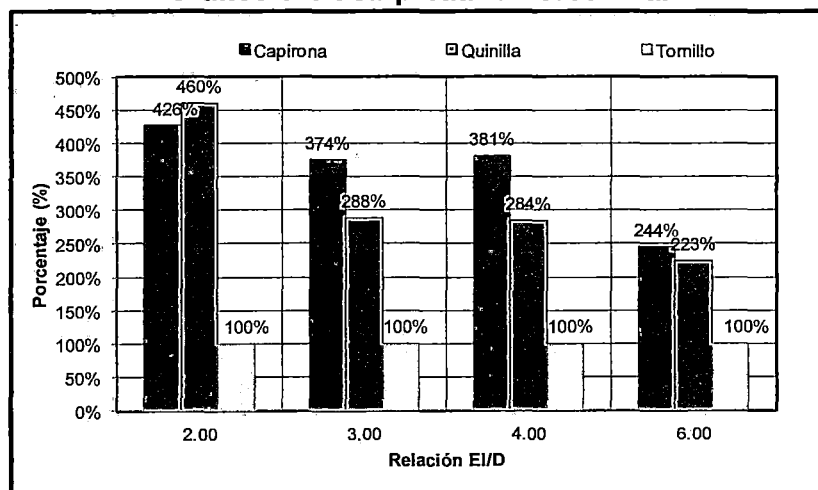
Gráfico 52: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø1/4" con otras especies madereras



El gráfico 53 muestra la variación porcentual de la carga de diseño para diferentes especies madereras a utilizar, para el diámetro de tirafón de 1/4" y para una variación de la relación E/D.

Se puede apreciar que para una relación E/D igual a 3, si utilizamos madera Tornillo como base, al cambiar la especie maderera por Capirona el incremento en la carga de diseño será en 274%, y si utilizamos Quinilla el incremento en la carga de diseño será de 188%.

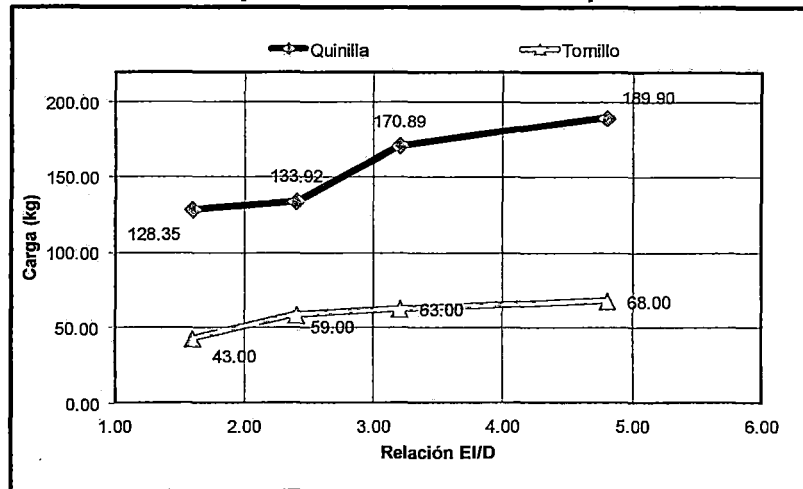
Gráfico 53: Comparativo Porcentual



Ahora realizaremos un comparativo con la especie maderera Quinilla, debido a que en el estudio de la unión de tirafón con la madera Capirona no se utilizó tirafón de diámetro 5/16".

El gráfico 54 muestra los valores de carga de diseño de la unión utilizando madera Tornillo y siempre son menores si se utiliza la madera Quinilla.

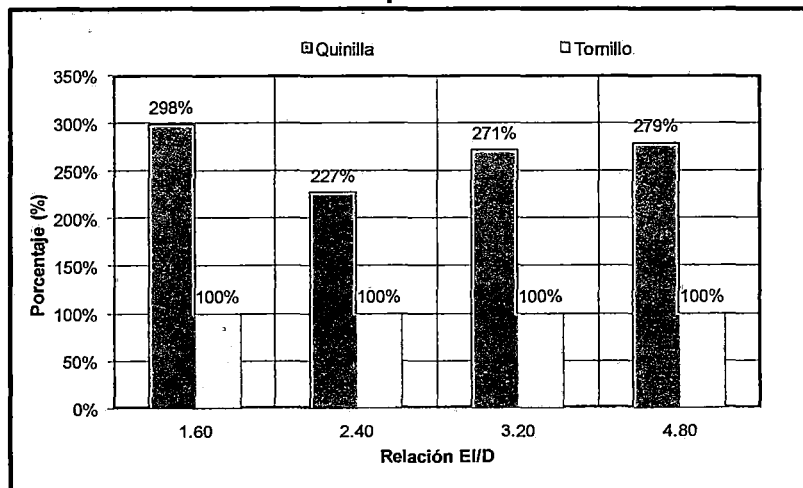
Gráfico 54: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra para Ø5/16" con otras especies madereras



El gráfico 55 muestra la variación porcentual de la carga de diseño para estas dos especies madereras ya mencionadas, el diámetro de tirafón es de 5/16" y para una variación de la relación E/D.

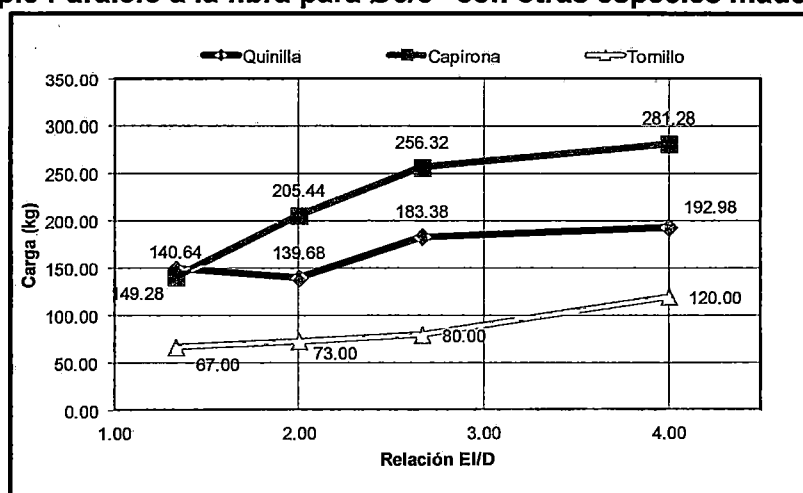
Por ejemplo, se puede apreciar que para una relación E/D igual a 1.6, si utilizamos madera Tornillo como base, al cambiar la especie maderera por Quinilla el incremento en la carga de diseño será de 198%.

Gráfico 55: Comparativo Porcentual



Por último analizaremos el caso del tirafón de diámetro 3/8", en el gráfico 56 se muestran los valores de la carga de diseño para las especies madereras ya mencionadas. Como se aprecia la línea de tendencia de la función que permite calcular la carga de diseño de la madera tornillo es uniforme y creciente, además está por debajo de las otras, lo que significa que tiene los valores más bajos de carga de diseño, seguido por la Quinilla y encima de todos la Capirona.

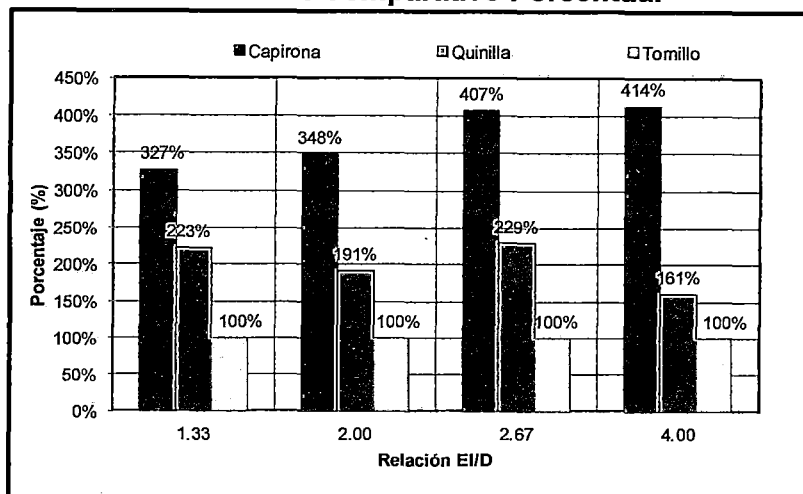
Gráfico 56: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Cizallamiento Simple Paralelo a la fibra para Ø3/8" con otras especies madereras



El gráfico 57 muestra la variación porcentual de la carga de diseño para diferentes especies madereras, el diámetro de tirafón es de 3/8" y para una variación de la relación EI/D.

Por ejemplo, se puede apreciar que para una relación EI/D igual a 1.33, si utilizamos madera Tornillo como base, al cambiar la especie maderera por Quinilla el incremento en la carga de diseño será en 123%, y si utilizamos Capirona el incremento en la carga de diseño será de 227%.

Gráfico 57: Comparativo Porcentual



Corte o Cizallamiento Simple Perpendicular a la fibra

Los valores de cargas y deformaciones obtenidos de los ensayos de laboratorio se muestran en los cuadros 35, 36 y 37.

Cuadro 35: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Simple Perpendicular a la fibra para Ø1/4"

D=1/4"								
Muestra	Longitud de Tira (pulg)	Espesor Lateral EI (pulg)	E/I/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga de Diseño	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
B.1.1	1 1/2	1/2	2.00	129.02	62	371	4.31	128.60
D.2.1	1 1/2	3/4	3.00	145.81	70	232	1.87	117.60

Cuadro 36: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Simple Perpendicular a la fibra para Ø5/16"

D=5/16"								
Muestra	Longitud de Tira (pulg)	Espesor Lateral EI (pulg)	E/I/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga de Diseño	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
B.1.2	1 1/2	1/2	1.60	149.68	72	687	5.60	121.00
D.1.2	1 1/2	1/2	1.60	162.83	78	301	2.9	121.20
D.2.2	1 1/2	3/4	2.40	130.572	63	321	4.15	127.40

Cuadro 37: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Simple Perpendicular a la fibra para Ø3/8"

D=3/8"								
Muestra	Longitud de Tira-fón (pulg)	Espesor Lateral EI (pulg)	E/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga de Diseño	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
D.1.3	1 1/2	1/2	1.33	175.24	84	393	2.68	83.20
D.2.3	1 1/2	3/4	2.00	165.21	79	422	3.486	116.90

Dichos valores serán comparados con las cargas de diseño obtenidos en otros estudios que ya se mencionaron anteriormente y se muestran del cuadro 38 al 40.

Cuadro 38: Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Perpendicular a la fibra a la unión tira-fón-madera Tornillo

Diámetro Tira-fón (pulg)		1/4		5/16		3/8	
Longitud de Tira-fón (pulg)	EI (pulg)	E/D	Carga de Diseño (kg)	E/D	Carga de Diseño (kg)	E/D	Carga de Diseño (kg)
1 1/2	1/2	2.00	62.00	1.60	72.00	1.33	84.00
1 1/2	1/2	2.00	70.00	1.60	78.00	2.00	79.00
2 1/2	1			2.40	63.00		

Cuadro 39: Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Perpendicular a la fibra a la unión tira-fón-madera Capirona

Diámetro Tira-fón (pulg)		1/4		3/8		1/2	
Longitud de Tira-fón	EI (pulg)	E/D	Carga de Diseño (kg)	E/D	Carga de Diseño (kg)	E/D	Carga de Diseño (kg)
1 1/2	1/2	2.00	121.44	1.33	144.48	1.00	160.00
1 1/2	3/4	3.00	164.64	2.00	202.08	1.50	222.24

Cuadro 40: Carga de Diseño del ensayo de Corte Simple Perpendicular a la fibra a la unión tira-fón-madera Quinilla

Diámetro Tira-fón (pulg)		1/4		5/16		3/8	
Longitud de Tira-fón	EI (pulg)	E/D	Carga de Diseño (kg)	E/D	Carga de Diseño (kg)	E/D	Carga de Diseño (kg)
1 1/2	3/4	3.00	93.60	2.40	95.80	2.00	97.68

Debido a la poca cantidad de probetas ensayadas y a los diferentes valores de las variables utilizadas para cada ensayo, no se ha podido realizar una comparación entre las especies madereras mencionadas, ya que para que esto ocurra al menos una variable (Longitud de tira-fón, EI y E/D), debe permanecer constante en todas ellas.

Sin embargo de las tablas presentadas, se aprecia que la especie maderera Capirona presenta mayores valores de carga de diseño, seguido de la Quinilla y por último la madera Tornillo.

Corte o Cizallamiento Doble Paralelo a la fibra

Los valores de cargas y deformaciones obtenidos de los ensayos de laboratorio se muestran en el cuadro 41, como se aprecia sólo se realizó una probeta para este ensayo y su resultado se compara con las cargas de diseño obtenidas en otros estudios como se muestra en el cuadro 42.

Cuadro 41: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Doble Paralelo a la fibra para Ø1/4"

D=1/4"								
Muestra	Longitud de Tira-fón (pulg)	Espesor Lateral EI (pulg)	EI/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga de Diseño	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
C.1.1	1 1/2	1/2	2.00	299.94	144	812	1.67	114.60

Además se puede apreciar en el cuadro 42 que la variación de carga de diseño de la unión del tira-fón con diferentes especies madereras, es decir si elegimos realizar la unión con madera Tornillo tendríamos un valor de carga de diseño de 144 kg, pero si realizamos la unión con madera Capirona la carga de diseño es 224.16 kg que representa un 56% de incremento respecto al Tornillo.

Cuadro 42: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Corte Doble Paralelo a la fibra con otras especies madereras

Capirona				Tornillo			
Longitud de Tira-fón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)	Longitud de Tira-fón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)
2	1/2	2.00	224.16	1 1/2	1/2	2.00	144.00

Corte o Cizallamiento Doble Perpendicular a la fibra

Los valores de cargas y deformaciones obtenidos de los ensayos de laboratorio se muestran en el cuadro 43, como se aprecia sólo se realizó una probeta para este ensayo y su resultado se compara con las cargas de diseño obtenidas en otros estudios como se muestra en el cuadro 44.

Cuadro 43: Tabla de valores del ensayo de Cizallamiento Doble Perpendicular a la fibra para Ø1/4"

D=1/4"								
Muestra	Longitud de Tira-fón (pulg)	Espesor Lateral EI (pulg)	EI/D	Cargas (kg)			Deformaciones (mm)	
				Límite de Proporcionalidad	Carga de Diseño	Máxima	Límite de Proporcionalidad	Máxima
D.1.1	1 1/2	1/2	2.00	368.58	177	778	2.67	107.00

En el cuadro 44 se observa diferentes valores de carga de diseño de la unión del tira-fón con varias especies madereras, es decir si elegimos realizar la unión con madera Tornillo tendríamos un valor de carga de diseño de 177 kg, pero si realizamos la unión con madera Capirona la carga de diseño será 174.72 kg, casi similar al obtenido con la madera Tornillo, ya que la variación porcentual de 1.28% menor.

Cuadro 44: Comparativo de Carga de Diseño del ensayo de Corte Doble Perpendicular a la fibra con otras especies madereras

Capirona				Tornillo			
Longitud de Tira-fón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)	Longitud de Tira-fón (pulg)	EI (pulg)	EI/D	Carga de Diseño (kg)
2	1/2	2.00	174.72	1 1/2	1/2	2.00	177.00

CAPITULO VI: DISEÑO ESTRUCTURAL

El mayor problema en el diseño de las estructuras de madera es la solución de aquellos puntos en que convergen dos o más piezas (nudos), de modo que se puedan transmitir adecuadamente sus esfuerzos. Estas uniones deberán ser lo suficientemente rígidas como para que la deformación total de la estructura no exceda ciertos valores estimados como admisibles. Es así, como a los elementos que se usan para materializar las uniones se los condiciona tanto en cuanto a su capacidad de transmisión de carga como al monto del corrimiento que experimentan al quedar sometidos a carga. Tradicionalmente se distinguen dos comportamientos opuestos: uno totalmente rígido representado por las colas (pegamento) y otro sumamente flexible presentando grandes deformaciones y que corresponde al caso de los pernos. En un plano, intermedio se, sitúan los clavos. Cada medio de unión presentará ventajas y desventajas adecuándose cada uno a campos específicos.

6.1 RECOMENDACIONES PARA UNIONES CON TIRAFONES EN MADERA TORNILLO

6.1.1 Uniones sometidos a Extracción

En lo posible el diseño debe evitar que los tirafones queden sometidos a fuerzas de extracción.

La fuerza de extracción que puede ser resistida por un tirafón depende de:

- ✓ Grupo estructural (A, B, C) al que pertenece la madera utilizada, y su contenido de humedad.
- ✓ Longitud y diámetro de los tirafones.
- ✓ Ubicación de los tirafones en relación a los elementos de madera.
- ✓ Penetración de los tirafones en la madera que contiene la punta.

A continuación se citan los procedimientos para realizar un correcto diseño estructural de tirafones en madera tornillo.

1. Establecer bases de cálculo
 - a. Grupo de madera utilizado.

- b. Cargas actuantes en la unión y su orientación con respecto a la dirección de los tirafones.
2. Seleccionar la longitud y el diámetro de los tirafones en función de la carga de servicio necesario. Dicha selección debe tener como referencia el cuadro 45 que indica la resistencia a la carga de extracción por centímetro de penetración del tirafón.

Cuadro 45: Valores de Carga de Extracción

Diámetro del tirafón		Carga de Extracción (kg/cm)
pulg	mm	
1/4	6.35	30
5/16	7.94	36
3/8	9.53	43

3. Determinar la longitud de penetración: "a", en el elemento que contiene la zona roscada del tirafón, y calcular la carga admisible para un tirafón perpendicular al grano usando el cuadro 45.
4. Determinar el número de tirafones y su ubicación de acuerdo a la solicitud de las cargas de diseño.

6.1.2 Uniones sometidas a Corte o Cizallamiento

El procedimiento para diseñar éste tipo de uniones se puede esquematizar de la siguiente manera:

1. Establecer bases de cálculo
 - a. Grupo de madera utilizado.
 - b. Cargas actuantes en la unión y su orientación con respecto a las piezas de madera.
 - c. Definir la dirección de la carga con respecto a la dirección del grano de la madera.
2. La elección de la longitud y diámetro del tirafón estará en función de la carga de servicio que será necesario.
 - a. Tirafón a simple cizallamiento paralelo al grano usar cuadro 27, 28 y 29.

- b. Tirafón a simple cizallamiento perpendicular al grano usar cuadro 35, 36 y 37.
 - c. Tirafón a doble cizallamiento paralelo al grano usar cuadro 41.
 - d. Tirafón a doble cizallamiento perpendicular al grano usar cuadro 43.
3. Los valores que se indican en estos cuadros fueron hallados con madera seca, tener presente esta condición de la madera.
4. Determinar el número de tirafones y su ubicación.

CONCLUSIONES

- ✓ De acuerdo a los resultados obtenidos del ensayo de extracción directa, se ha podido obtener la función, $y = 6.545x + 22.96$ con $R^2 = 1$, en donde el cálculo del valor de la carga de diseño “y” expresado por centímetro de penetración (kg/cm), está en función del diámetro del tirafón “x”, expresado en pulgadas.
- ✓ En el ensayo de extracción directa notamos que las probetas han fallado 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.
- ✓ Se observó que a mayor diámetro del tirafón y mayor profundidad de penetración de la misma, se requiere de un mayor esfuerzo de extracción.
- ✓ En el cuadro 46 se relaciona el diámetro del tirafón y diferentes especies madereras estudiadas anteriormente, para obtener un valor determinado de la carga de extracción (kg/cm), además se muestra la variación porcentual de la misma.

Cuadro 46: Valores de carga de extracción y variación porcentual para varios tipos de maderas

Especie maderera Diámetro (pulgada)	QUINILLA		CAPIRONA		TORNILLO	
	Carga Extracción Directa (kg/cm)	Porcentaje	Carga Extracción Directa (kg/cm)	Porcentaje	Carga Extracción Directa (kg/cm)	Porcentaje
1/4	68	233%	46	159%	29	100%
5/16	74	205%	55	151%	36	100%
3/8	77	182%	68	161%	42	100%

- ✓ Se ha observado que un aumento de la relación E/I/D, aumenta la carga de diseño sometida a cizallamiento simple paralelo al grano de la madera para cada diámetro de tirafón, según el siguiente cuadro:

Cuadro 47: Valor de la Carga de Diseño en función del diámetro del tirafón y de E/D.

Diámetro (pulgadas)	1/4	5/16	3/8
(E/D)	Carga (kg)		
2	24	59	74
3	40	63	89
4	43	68	120

- ✓ La deformación en el límite proporcional es aproximadamente menor del 10% de la deformación obtenida con la carga máxima, este valor indica que el comportamiento de la unión sometido a un esfuerzo cortante es dúctil, debido a su capacidad para sufrir una deformación plástica.
- ✓ Los resultados obtenidos en los ensayos y que se presentan en el cuadro 48 han determinado que un aumento en la profundidad de penetración origina un incremento en la carga de diseño.
- ✓ Se debe considerar además, que la variación de la relación E/D origina cambios en los valores de la carga de diseño.

Cuadro 48: Valor de la Carga de Diseño y variación porcentual en función del diámetro del tirafón y de la profundidad de penetración.

Diámetro (pulgada)	1/4		5/16		3/8	
	Carga Extracción Directa (kg/cm)	Porcentaje	Carga Extracción Directa (kg/cm)	Porcentaje	Carga Extracción Directa (kg/cm)	Porcentaje
0.75	40.00	100%	59.00	148%	74.00	185%
1	24.00	100%	43.00	179%	67.00	279%
1.5	43.00	100%	63.00	147%	80.00	186%
2	66.00	100%	68.00	103%	120.00	182%

- ✓ En el cuadro 49 se relaciona el diámetro del tirafón y la profundidad de penetración, para obtener un valor determinado de la carga de diseño (kg) a cizallamiento perpendicular a la fibra de la madera.

Cuadro 49: Valor de la Carga de Diseño en función del diámetro del tirafón y de la profundidad de penetración.

Diámetro Tirafón (pulg)	Profundidad de penetración (pulg)	Carga de Diseño (kg)
1/4	3/4	70.00
	1	62.00
5/16	3/4	63.00
	1	78.00
3/8	3/4	79.00
	1	84.00

- ✓ El valor obtenido para la carga de diseño sometido a cizallamiento simple perpendicular a la fibra fue de 62 kg mayor que la obtenida a cizallamiento simple paralelo a la fibra que fue de 24 kg, para un $\varnothing=1/4$, con valores similares de longitud de tirafón y EI/D para ambos casos, por lo tanto la resistencia al cizallamiento perpendicular a la fibra es mayor que la paralela a la fibra.
- ✓ De los valores obtenidos al realizar el ensayo de cizallamiento doble paralelo a la fibra para un $\varnothing=1/4$ se obtuvo un valor de 144 kg, en comparación con el ensayo simple paralelo a la fibra cuyo valor fue 24 kg, con valores similares de longitud de tirafón y EI/D para ambos casos, por lo tanto la carga de cizallamiento doble es 6 veces mayor que la carga a cizallamiento simple paralelo a la fibra.
- ✓ Al realizar el ensayo de cizallamiento doble perpendicular a la fibra para un $\varnothing=1/4$ se obtuvo un valor de 177 kg, en comparación con el ensayo simple perpendicular a la fibra cuyo valor fue 62 kg, con valores similares de longitud de tirafón y EI/D para ambos casos, por lo tanto la carga de cizallamiento doble es 2.85 veces mayor que la carga a cizallamiento simple perpendicular a la fibra.
- ✓ El valor obtenido para la carga de diseño sometido a cizallamiento doble perpendicular a la fibra fue de 177 kg, mayor que la obtenida a cizallamiento doble paralelo a la fibra que fue de 144 kg, para un $\varnothing=1/4$, con valores similares de longitud de tirafón y EI/D para ambos casos, por lo tanto la carga de cizallamiento doble perpendicular a la fibra es 1.23 veces mayor que la carga a cizallamiento doble paralelo a la fibra.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda seguir investigando sobre aspectos relacionados con la extracción de otros elementos de unión de la madera, para tener un mejor panorama sobre el comportamiento y el conocimiento tecnológico de las especies de mayor valor económico de la región.
- ✓ Debido a los valores de variación observados, es recomendable aumentar el tamaño de la muestra experimental con el objetivo de reducir dicha variación.
- ✓ El estudio realizado se llevó a cabo con madera en condición seca al aire con 13.96% de humedad, sería conveniente realizar también los ensayos en condición húmeda para determinar el factor de corrección de acuerdo al estado de humedad de la madera.
- ✓ Sería muy provechoso desarrollar ensayos a cizallamiento doble con tirafones a ambos lados para que se pueda observar el comportamiento de la estabilidad en ambas piezas laterales. En la presente tesis sólo se utilizó un tirafón en la unión, por tal motivo la pieza lateral de madera que contenía la punta del tirafón presentó un desprendimiento.
- ✓ Se recomienda realizar una buena clasificación visual de la madera a utilizar en los ensayos, para poder 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, en la presente tesis no se registraron fallas por defectos de las probetas.
- ✓ Sería muy conveniente que para obtener comparaciones de resultados con otras especies de madera, se tome como base la tesis realizada, en la selección de las dimensiones de los tirafones y en la preparación de probetas.

- ✓ Se recomienda continuar este tipo de estudios dado la cantidad y diversidad de variables a estudiar, tales como: diferentes especies maderables, número 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.

- ✓ Desarrollar comparaciones más profundas e incluso clasificar las uniones según especies maderables de acuerdo a su resistencia.

- ✓ Difundir los resultados del presente estudio con la finalidad de posibilitar un mejor uso de este tipo de unión.

BIBLIOGRAFIA

1. American Forest & Paper Association, *NDS National Design Specification Commentary*, Washington USA (2005).
2. ASTM (American Society for Testing and Material), *Standard Test Methods for Mechanical Fasteners in Wood ASTM D-1761-88*, USA (1995).
3. Cámara Nacional Forestal (CNF), *Fortalecimiento de la cadena productiva de la madera proveniente de concesiones forestales y otros bosques bajo manejo forestal*, Boletín informativo N°03 Perú (2009.)
4. Campos Mattos Gil Enrique Alfredo; Cano Delgado José Carlos, *Uniones Estructurales con tirafones en madera Humiriastrum Excelsum*, Tesis UNI-FIC, Perú (1986).
5. Condori Rosales Carlos Alberto, *Propiedades Mecánicas de Cedrelinga Cateniformis Duke (Tornillo)*, Tesis UNALM-Facultad de Ingeniería Forestal, Perú (2007).
6. Corporación Chilena de Madera CORMA, *Manual para la Construcción de Viviendas en Madera-Unidad 7: Fijaciones y Uniones*, Chile (2003).
7. Hansen Howard, J, *Diseño moderno de Estructuras de Madera*, John Wiley and Sons, New York USA (1948)
8. Hurtado Ángel Jany, *Uniones Estructurales con tirafones en madera Capirona (calycophyllum spruceanum)*, Tesis UNI-FIC, Perú (2007).
9. INDECOPI, *Maderas: Método de Determinación de Densidad NTP 251.011*, Perú (1980).
10. INDECOPI, *Maderas: Método de Determinación del Contenido de Humedad NTP 251.010*, Perú (1980).
11. Junta del Acuerdo de Cartagena, *Descripción General y Anatómica de 105 maderas del Grupo Andino*, Lima (1981).

12. Junta del Acuerdo de Cartagena, Manual de Diseño para Madera del Grupo Andino, Lima (1984).
13. Kollmann, Franz, Tecnología de la madera y sus aplicaciones, Alemania (1959).
14. La Rosa Musante Manuel R., Uniones Estructurales con tirafones en Madera de Tornillo (*Cedrelinga Catenaeformis Duke*), UNALM-Facultad de Ingeniería Forestal, Perú (1984).
15. López J, *Estudio Silvicultura de la especie Cedrelinga Catenaeformis Duke*, UNALM-Facultad de Ingeniería Forestal, Perú (1970).
16. Loyaga Aliaga Germán. *Mercado Nacional de la madera*, Revista de la Cámara Peruana de la Construcción, Perú (2009).
17. Menacho Germán, Uniones Estructurales con tirafones en madera tropical Cachimbo (*Hymenaea Courbaril*), Tesis UNI-FIC, Perú (2010).
18. Norma Chilena 1198Of 91 Madera, *Construcciones en Madera-Cálculo*, Chile (2004).
19. Paredes Palomino Claudia, *Uniones Estructurales con tirafones en madera Quinilla Colorada (Manilkara Bidentada)*, Tesis UNI-FIC, Perú (2006).
20. Pérez Chapoñan Álvaro, Uniones Estructurales con tirafones en madera tropical Azúcar Huayo (*Hymenaea Courbaril*), Tesis UNI-FIC, Perú (2007).
21. Timber Engineering Company, *Timber desing and construction handbook*, McGraw Hill New York (1956).
22. Villa Zegarra Boris Eduardo, *Propiedades Físico-Mecánicas de la especie Cedrelinga Cateniformis Duke provenientes de plantaciones instaladas en la estación experimental Alexander Von Humboldt*, Tesis-UNALM-Facultad de Ingeniería Forestal, Perú (2009).

ANEXO A: ENSAYOS DESARROLLADOS**Cuadro 50: Determinación de la Densidad Básica**

Muestra	W (inicial) (gr)	W (saturado) (gr)	Volumen (desplazado) (ml)	W (seco) (gr)	Densidad (gr/ml)
1	92	116.5	170	81	0.476
2	92	110.5	169	79.5	0.47
3	86.5	109	168	75.5	0.449
4	91.5	112.5	170	81	0.476
5	93.5	112	169	82	0.485
6	91.5	112	168	80.5	0.479
7	95	115	170	83.5	0.491
8	94.5	117	171	83	0.485
9	88.5	109	170	77.5	0.456
10	98	117	172	86	0.5
11	87.5	101	170	76.5	0.45
12	84.5	100	168	75	0.446
13	92.5	108.5	167	81.5	0.488
14	88.5	103.5	167	77.5	0.464
15	93	107	169	82	0.485
16	92.5	106.5	170	81.5	0.479
17	101.5	115.5	168	87.5	0.521
18	83.5	97	166	73	0.44
19	86.5	100.5	169	76.5	0.453
20	87	101	170	76.5	0.45
Promedio de Densidad (gr/ml)					0.472

Cuadro 51: Determinación del contenido de humedad

Muestra	W (inicial) (gr)	W (seco) (gr)	Humedad (gr/ml)
1	92	81	13.58
2	92	79.5	15.72
3	86.5	75.5	14.57
4	91.5	81	12.96
5	93.5	82	14.02
6	91.5	80.5	13.66
7	95	83.5	13.77
8	94.5	83	13.86
9	88.5	77.5	14.19
10	98	86	13.95
11	87.5	76.5	14.38
12	84.5	75	12.67
13	92.5	81.5	13.5
14	88.5	77.5	14.19
15	93	82	13.41
16	92.5	81.5	13.5
17	101.5	87.5	16
18	83.5	73	14.38
19	86.5	76.5	13.07
20	87	76.5	13.73
Promedio del Contenido de Humedad (%)			13.956

Cuadro 52: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.1.1

N°	Muestra	Tirafón		Profundidad de penetración (mm)	Carga Máxima (kg)	Tiempo de Ensayo (min)	Velocidad de carga (mm/min)
		Largo (pulg)	Diámetro (pulg)				
1	E 1 1 1	2 1/2	1/4	25.00	400.00	2.00	1.80
2	E 1 1 2	2 1/2	1/4	25.00	390.00	1.50	1.80
3	E 1 1 3	2 1/2	1/4	25.00	410.00	1.45	1.80
4	E 1 1 4	2 1/2	1/4	25.00	380.00	2.10	1.80
5	E 1 1 5	2 1/2	1/4	25.00	340.00	2.15	1.80
6	E 1 1 6	2 1/2	1/4	25.00	350.00	1.90	1.80
7	E 1 1 7	2 1/2	1/4	25.00	380.00	2.00	1.80
8	E 1 1 8	2 1/2	1/4	25.00	410.00	2.05	1.80
9	E 1 1 9	2 1/2	1/4	25.00	340.00	1.85	1.80
10	E 1 1 10	2 1/2	1/4	25.00	380.00	1.90	1.80
Promedio					378.00	1.89	1.80

Cuadro 53: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.1.2

N°	Muestra	Tirafón		Profundidad de penetración (mm)	Carga Máxima (kg)	Tiempo de Ensayo (min)	Velocidad de carga (mm/min)
		Largo (pulg)	Diámetro (pulg)				
1	E 1 2 1	2 1/2	5/16	25.00	400.00	2.60	1.80
2	E 1 2 2	2 1/2	5/16	25.00	500.00	3.00	1.80
3	E 1 2 3	2 1/2	5/16	25.00	470.00	3.10	1.80
4	E 1 2 4	2 1/2	5/16	25.00	450.00	2.85	1.80
5	E 1 2 5	2 1/2	5/16	25.00	425.00	2.75	1.80
6	E 1 2 6	2 1/2	5/16	25.00	500.00	3.10	1.80
7	E 1 2 7	2 1/2	5/16	25.00	410.00	3.05	1.80
8	E 1 2 8	2 1/2	5/16	25.00	470.00	3.15	1.80
9	E 1 2 9	2 1/2	5/16	25.00	410.00	3.20	1.80
10	E 1 2 10	2 1/2	5/16	25.00	440.00	3.00	1.80
Promedio					447.50	2.98	1.80

Cuadro 54: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.1.3

N°	Muestra	Tirafón		Profundidad de penetración (mm)	Carga Máxima (kg)	Tiempo de Ensayo (min)	Velocidad de carga (mm/min)
		Largo (pulg)	Diámetro (pulg)				
1	E 1 3 1	2 1/2	3/8	25.00	580.00	3.00	1.80
2	E 1 3 2	2 1/2	3/8	25.00	600.00	2.85	1.80
3	E 1 3 3	2 1/2	3/8	25.00	550.00	3.00	1.80
4	E 1 3 4	2 1/2	3/8	25.00	530.00	1.83	1.80
5	E 1 3 5	2 1/2	3/8	25.00	570.00	2.20	1.80
6	E 1 3 6	2 1/2	3/8	25.00	500.00	2.60	1.80
7	E 1 3 7	2 1/2	3/8	25.00	505.00	3.10	1.80
8	E 1 3 8	2 1/2	3/8	25.00	500.00	2.85	1.80
9	E 1 3 9	2 1/2	3/8	25.00	430.00	3.10	1.80
10	E 1 3 10	2 1/2	3/8	25.00	520.00	1.95	1.80
Promedio					528.50	2.65	1.80

Cuadro 55: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.2.1

N°	Muestra	Tirafón		Profundidad de penetración (mm)	Carga Máxima (kg)	Tiempo de Ensayo (min)	Velocidad de carga (mm/min)
		Largo (pulg)	Diámetro (pulg)				
1	E 2 1 1	2 1/2	5/16	30.00	510.00	2.00	1.80
2	E 2 1 2	2 1/2	5/16	30.00	600.00	2.10	1.80
3	E 2 1 3	2 1/2	5/16	30.00	545.00	1.95	1.80
4	E 2 1 4	2 1/2	5/16	30.00	550.00	1.80	1.80
5	E 2 1 5	2 1/2	5/16	30.00	550.00	2.00	1.80
6	E 2 1 6	2 1/2	5/16	30.00	580.00	2.05	1.80
7	E 2 1 7	2 1/2	5/16	30.00	530.00	1.95	1.80
8	E 2 1 8	2 1/2	5/16	30.00	570.00	2.00	1.80
9	E 2 1 9	2 1/2	5/16	30.00	475.00	2.15	1.80
10	E 2 1 10	2 1/2	5/16	30.00	525.00	2.10	1.80
Promedio					543.50	2.01	1.80

Cuadro 56: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.2.2

N°	Muestra	Tirafón		Profundidad de penetración (mm)	Carga Máxima (kg)	Tiempo de Ensayo (min)	Velocidad de carga (mm/min)
		Largo (pulg)	Diámetro (pulg)				
1	E 2 2 1	2 1/2	1/4	30.00	480.00	3.00	1.80
2	E 2 2 2	2 1/2	1/4	30.00	490.00	2.42	1.80
3	E 2 2 3	2 1/2	1/4	30.00	440.00	2.35	1.80
4	E 2 2 4	2 1/2	1/4	30.00	360.00	2.85	1.80
5	E 2 2 5	2 1/2	1/4	30.00	450.00	2.75	1.80
6	E 2 2 6	2 1/2	1/4	30.00	430.00	1.90	1.80
7	E 2 2 7	2 1/2	1/4	30.00	430.00	2.30	1.80
8	E 2 2 8	2 1/2	1/4	30.00	400.00	2.60	1.80
9	E 2 2 9	2 1/2	1/4	30.00	410.00	2.80	1.80
10	E 2 2 10	2 1/2	1/4	30.00	430.00	2.50	1.80
Promedio					432.00	2.55	1.80

Cuadro 57: Ensayo de Extracción Directa –Muestra E.2.3

N°	Muestra	Tirafón		Profundidad de penetración (mm)	Carga Máxima (kg)	Tiempo de Ensayo (min)	Velocidad de carga (mm/min)
		Largo (pulg)	Diámetro (pulg)				
1	E 2 3 1	2 1/2	3/8	30.00	680.00	3.63	1.80
2	E 2 3 2	2 1/2	3/8	30.00	700.00	3.40	1.80
3	E 2 3 3	2 1/2	3/8	30.00	630.00	2.05	1.80
4	E 2 3 4	2 1/2	3/8	30.00	670.00	3.35	1.80
5	E 2 3 5	2 1/2	3/8	30.00	670.00	2.95	1.80
6	E 2 3 6	2 1/2	3/8	30.00	670.00	2.80	1.80
7	E 2 3 7	2 1/2	3/8	30.00	590.00	3.50	1.80
8	E 2 3 8	2 1/2	3/8	30.00	600.00	3.10	1.80
9	E 2 3 9	2 1/2	3/8	30.00	620.00	2.20	1.80
10	E 2 3 10	2 1/2	3/8	30.00	610.00	1.83	1.80
Promedio					644.00	2.88	1.80

**Cuadro 58: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra
-Muestra A.1.1 y A.2.1**

Código muestra		A.1.1					A.2.1				
Tirafón (pulg)	Largo	1 1/2					1 1/2				
	Diámetro	1/4					1/4				
Espesor madera (pulg)	Principal	2					2				
	Lateral	1/2					3/4				
Razón E/D		2					3				
Prof. de penetración (pulg)		1					3/4				
Fecha de ensayo		10 de febrero de 2011					18 de febrero de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	170	180	200	170	200	200	200	200	200	200
	210			215		250	250	250	250	250	250
						300	300	300	300	300	300
						350	350	350	350	350	350
						370	410	375	390	370	
Deformación (mm)	3.00	3.50	3.70	2.50	3.50	1.80	1.50	1.60	1.20	1.50	
	6.00	8.00	9.20	5.50	11.00	4.00	3.50	4.00	3.00	4.20	
	12.50	23.00	23.50	11.50	34.00	8.00	5.50	7.00	7.00	9.00	
	40.00	48.00	68.00	40.00	51.00	13.50	9.00	12.50	15.00	15.00	
	62.00			65.00		29.50	20.00	24.00	36.00	26.00	
						49.50	39.00	49.00	53.00	48.00	
						58.00	53.00	68.00	73.00	70.00	
						72.00	74.00	80.00	86.00	88.00	
Tiempo (min)		03:10	03:02	04:30	03:10	02:40	04:35	04:15	03:45	04:15	03:40
Velocidad (mm/min)		1.1	1	1.1	1	0.833	1.12	0.87	0.83	0.83	0.75
Límite de Proporcionalidad (kg)		53.59	45.1	43.91	53.24	51.63	79.84	89.78	81.99	84.13	77.57
Deformación en el L.P (mm)		2.95	3.02	3.28	2.57	2.37	3.33	2.89	3.17	2.6	3.35

**Cuadro 59: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra
-Muestra A.3.1 y A.4.1**

Código muestra		A3.1					A4.1				
Tirafón (pulg)	Largo	2 1/2					3 1/2				
	Diámetro	1/4					1/4				
Espesor madera (pulg)	Principal	2					2				
	Lateral	1					1 1/2				
Razón E/D		4					6				
Prof. de penetración (pulg)		1 1/2					2				
Fecha de ensayo		10 de febrero de 2011					10 de febrero de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	350	350	350	330	350	350	350	350	350	350	350
	390	390	420		360	400	400	400	400	400	400
							450	450	450	450	450
							500	500	500	500	500
							520	550	520	530	530
								620			
Deformación (mm)	5.00	8.00	2.00	2.00	1.80	0.50	1.10	2.50	2.80	3.00	
	8.50	13.00	4.50	4.00	4.70	0.70	3.50	5.50	5.00	5.30	
	17.00	21.00	17.00	8.70	9.50	1.20	5.80	11.00	8.50	8.00	
	29.00	35.00	22.00	16.50	20.00	5.50	9.50	19.00	14.00	12.50	
	43.00	47.00	32.00	30.00	35.00	12.00	15.50	30.50	24.00	24.50	
	53.00	57.00	45.50	47.00	52.00	22.00	24.00	40.00	34.00	36.50	
	75.00	74.00	60.00	70.00	81.00	32.50	33.50	49.00	42.50	47.00	
	110.00	94.00	105.00		101.00	42.00	43.00	58.00	51.50	57.00	
							53.00	51.50	67.00	59.00	64.50
							60.00	57.50	76.00	66.00	71.00
							67.00	70.00	89.00	70.00	88.00
								80.00			
Tiempo (min)		05:35	06:10	05:40	05:50	06:30	04:35	07:10	07:10	07:10	08:30
Velocidad (mm/min)		1.35	1.50	1.00	1.20	1.40	1.35	1.12	1.00	1.10	1.35
Límite de Proporcionalidad (kg)		82.02	75.31	83.12	115.37	90.9	167.92	124.75	107.65	145.81	136.7
Deformación en el L.P. (mm)		7.15	9.97	4.47	5.33	4.5	1.56	4.59	6.3	8.42	7.51

**Cuadro 60: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra
-Muestra A.1.2 y A.2.2**

Código muestra		A.1.2					A.2.2				
Tirafón (pulg)	Largo	1 1/2					1 1/2				
	Diámetro	5/16					5/16				
Espesor madera (pulg)	Principal	2					2				
	Lateral	1/2					3/4				
Razón E/D		1.60					2.40				
Prof. de penetración (pulg)		1					3/4				
Fecha de ensayo		10 de febrero de 2011					23 de marzo de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	350	340	330	310	350	350	350	350	350	340	340
	360						400	360	355		
							420				
Deformación (mm)	2.00	1.50	2.20	2.50	2.00	0.70	1.00	0.70	0.50	0.70	
	4.80	3.00	5.50	4.80	3.50	2.00	1.80	1.30	1.50	1.70	
	8.00	5.50	9.50	8.00	6.50	5.70	3.30	2.50	3.50	4.00	
	12.50	9.00	17.50	13.50	10.00	7.00	5.70	4.50	6.50	7.50	
	18.00	14.50	29.00	20.00	14.00	8.20	9.00	8.00	11.50	13.00	
	31.00	22.50	45.00	39.00	21.50	10.00	16.00	16.50	28.00	27.00	
	58.00	52.00	65.00	58.00	58.00	12.50	46.00	56.00	68.00	68.00	
	68.00						18.00	62.00	65.00		
							60.00				
Tiempo (min)		04:30	03:50	05:00	05:20	03:40	03:10	03:30	02:45	03:10	03:00
Velocidad (mm/min)		1.33	0.92	1.17	1.83	1.25	0.92	0.83	0.88	0.92	1.25
Limite de Proporcionalidad (kg)		96.78	99.19	74.91	77.79	97	123	140	133.8	123.7	98.7
Deformación en el L.P (mm)		4.6	3.45	3.83	3.64	3.86	3.47	3.13	2.55	2.65	2.15

**Cuadro 61: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra
–Muestra A.3.2 y A.4.2**

Código muestra		A.3.2					A.4.2				
Tirafón (pulg)	Largo	2 1/2					3 1/2				
	Diámetro	5/16					5/16				
Espesor madera (pulg)	Principal	2					2				
	Lateral	1					1 1/2				
Razón E/D		3.20					4.80				
Prof. de penetración (pulg)		1 1/2					2				
Fecha de ensayo		10 de febrero de 2011					10 de febrero de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	540	550	550	525	525	550	550	550	520	530	530
		560	560			600	600	600	600	600	600
						650	650	650	650	650	650
						700	700	690	700	700	700
						750	750			750	750
					800	760			800	800	
					820				820	820	
Deformación (mm)	4.00	3.50	7.00	3.50	2.80	4.50	2.00	1.80	5.00	4.50	
	6.00	5.20	10.00	5.50	5.00	8.50	3.50	4.00	8.00	7.50	
	9.00	7.50	12.50	7.70	8.00	14.00	5.00	7.00	12.00	11.00	
	14.00	11.50	15.50	11.50	12.50	20.00	8.00	12.00	18.00	15.00	
	30.00	21.50	20.50	19.50	21.00	35.00	16.00	28.00	35.00	35.00	
	37.00	32.00	27.50	36.00	35.00	53.00	24.50	51.00	52.00	51.00	
	52.00	47.50	50.00	53.00	47.50	60.00	32.00	61.00	62.00	63.50	
	65.00	61.00	71.00	69.00	64.00	68.50	42.00	67.00	72.00	72.00	
	79.00	73.00	89.00	86.00	80.00	73.00	50.00	73.00	81.00	79.00	
	88.00	81.00	98.00	105.00	91.00	78.00	54.00	76.00	85.00	82.00	
	120.00	110.00	120.00	120.00	115.00	86.00	63.00	82.00	95.00	88.50	
		128.00	132.00			93.00	71.00	89.50	110.00	94.00	
						100.00	78.50	99.00	124.00	101.00	
						110.00	92.00	120.00	134.00	107.00	
						120.00	112.00			118.00	
					130.00	125.00			124.00		
					135.00				135.00		
Tiempo (min)		07:10	08:45	07:45	06:10	05:50	05:35	05:30	06:20	06:35	07:10
Velocidad (mm/min)		1.75	2.33	1.33	1.50	1.17	1.63	1.58	1.50	0.75	0.87
Límite de Proporcionalidad (kg)		133.5	137.06	132.92	137.07	110.98	140.3	144.52	140.01	137.55	148.87
Deformación en el L.P (mm)		8.49	7.43	11.3	8.01	6.08	12	6.1	6.41	10.89	10.95

**Cuadro 62: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra
-Muestra A.1.3 y A.2.3**

Código muestra		A.1.3					A.2.3				
Tirafón (pulg)	Largo	1 1/2					1 1/2				
	Diámetro	3/8					3/8				
Espesor madera (pulg)	Principal	2					2				
	Lateral	1/2					3/4				
Razón E/D		1.33					2.00				
Prof. de penetración (pulg)		1					3/4				
Fecha de ensayo		23 de marzo de 2011					23 de marzo de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)		50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
		150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
		200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
		250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
		300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
		350	350	350	350	340	350	350	350	350	350
			400	400	400		400	400	400	400	400
							450	450	450	450	450
								520	500	500	500
									540	530	530
	Deformación (mm)		0.50	0.60	0.70	1.00	0.40	0.70	0.60	1.20	1.50
		1.20	1.20	2.00	2.00	0.80	1.50	1.40	3.00	3.20	3.50
		3.20	2.80	4.00	3.00	2.00	3.80	2.50	5.00	5.00	5.20
		5.80	5.40	6.20	4.50	4.00	7.00	4.60	7.00	7.00	7.30
		9.00	8.50	9.00	7.00	7.00	12.00	8.00	11.50	13.00	11.50
		13.50	13.00	13.00	11.00	18.50	17.00	13.00	17.00	21.00	17.00
		40.00	28.00	20.00	17.00	41.00	25.00	21.00	21.00	29.00	21.50
			52.00	50.00	50.00		31.00	28.00	27.00	40.00	28.00
							52.00	45.00	37.00	53.00	42.50
								61.00	45.00	65.00	66.00
									63.50	75.00	78.00
Tiempo (min)		02:45	03:40	02:40	02:45	04:00	03:00	04:15	04:10	04:15	04:30
Velocidad (mm/min)		1.10	1.17	0.83	1.25	1.67	0.83	1.25	1.00	0.83	1.00
Límite de Proporcionalidad (kg)		125.7	135.5	133.3	165.8	138.9	121.4	146	169	162.2	167
Deformación en el L.P (mm)		1.93	2.28	3.14	3.54	1.54	2.34	2.56	5.75	5.54	6.04

**Cuadro 63: Datos obtenidos del Ensayo de Corte Simple Paralelo a la fibra
-Muestra A.3.3 y A.4.3**

Código muestra		A.3.3					A.4.3				
Tirafón (pulg)	Largo	2 1/2					3 1/2				
	Diámetro	3/8					3/8				
Espesor madera (pulg)	Principal	2					2				
	Lateral	1					1 1/2				
Razón E/D		2.67					4.00				
Prof. de penetración (pulg)		1 1/2					2				
Fecha de ensayo		11 de febrero de 2011					11 de febrero de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450	450
	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550	550
	600	600	600	600	590	590	600	600	600	600	600
	650	650	630	640			650	650	650	650	650
	700	690					700	700	700	700	700
							750	750	750	750	750
							800	800	800	800	800
							850	850	850	850	850
							900	900	890	900	900
							950	950		950	950
								1,000			1,000
										1,060	
Deformación (mm)	1.60	2.50	1.70	2.20	1.50	0.40	0.30	0.50	0.50	0.30	
	2.70	6.00	2.30	4.00	5.20	0.80	0.50	1.20	1.30	0.50	
	3.80	7.50	3.00	6.00	9.50	1.30	1.30	3.50	2.20	0.70	
	5.00	9.00	4.10	9.00	15.00	2.00	2.80	5.00	3.00	1.00	
	7.00	10.50	6.00	12.50	21.00	3.20	4.70	8.00	4.30	1.60	
	9.50	13.00	8.50	17.50	28.00	5.00	7.00	12.00	5.70	3.50	
	14.00	16.50	12.00	22.00	35.50	6.70	9.50	15.00	7.50	5.00	
	22.00	25.00	20.00	31.00	45.00	9.50	11.50	18.00	10.00	6.80	
	32.50	37.00	35.50	43.00	57.00	13.00	15.50	23.00	14.30	9.00	
	45.00	49.00	49.00	54.00	67.00	15.70	20.00	27.00	18.00	11.00	
	67.00	71.00	75.00	73.00	89.00	22.00	29.00	32.00	25.00	13.00	
	86.00	89.00	94.00	97.00	125.00	27.00	42.00	41.00	38.00	17.00	
	102.00	108.00	120.00	130.00		32.50	55.00	50.00	48.00	21.00	
	120.00	130.00				39.50	69.00	60.00	57.00	25.00	
						47.00	83.00	73.00	68.00	32.00	
						55.00	95.00	89.00	76.00	37.00	
						70.00	115.00	110.00	93.00	47.00	
						89.00	130.00	120.00	107.00	55.00	
						105.00	150.00		140.00	66.00	
							175.00			78.00	
									112.00		
Tiempo (min)		08:15	08:40	08:10	08:10	08:10	04:22	08:20	05:40	04:50	04:00
Velocidad (mm/min)		1.33	1.17	1.42	1.13	1.17	1.05	1.20	0.88	1.05	1.00
Límite de Proporcionalidad (kg)		199.38	164.54	191.2	155.33	122.12	229.33	255.55	241	260.42	262.37
Deformación en el L.P (mm)		5.72	7.19	4.73	6.69	7.26	3.34	5.86	8.01	5.3	3.1

Cuadro 64: Datos obtenidos del ensayo de corte simple perpendicular a la fibra-Muestras B.1.1 y B1.2

Código muestra		B.1.1					B.1.2				
Tirafón (pulg)	Largo	1 1/2					2 1/2				
	Diámetro	1/4					5/16				
Espesor madera (pulg)	Principal	2					3				
	Lateral	1/2					1/2				
Razón E/D		2					1.60				
Prof. de penetración (pulg)		1					2				
Fecha de ensayo		10 de febrero de 2011					10 de febrero de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	350	340	350	350	310	350	350	350	350	350	350
	380		400	375		400	400	400	400	400	400
			450			450	450	450	450	450	450
						500	500	500	500	500	500
						550	550	550	550	550	580
						600	600	600	600	600	
						605	650	650	650	650	
							700	700	670		
							750	750			
								800			
								830			
Deformación (mm)	0.50	0.20	0.70	0.30	0.40	0.90	0.60	1.00	0.40	0.50	
	3.50	1.20	4.70	3.80	1.00	2.00	1.20	2.80	3.00	4.00	
	7.70	6.20	8.50	9.00	4.80	4.00	3.80	5.00	7.00	9.00	
	14.50	16.00	16.00	18.00	12.00	7.50	6.80	7.00	11.20	18.00	
	27.00	38.00	29.00	33.00	37.00	11.50	10.50	11.00	17.50	30.00	
	54.00	86.00	48.00	62.00	80.00	17.00	15.50	15.00	28.00	55.00	
	88.00	140.00	73.00	90.00	120.00	25.00	23.00	19.50	36.00	72.00	
	123.00		100.00	130.00		35.00	31.00	28.00	51.00	89.50	
			130.00			43.00	39.00	37.00	64.00	106.00	
						55.00	52.00	49.00	84.00	130.00	
						67.00	58.50	57.00	96.00	150.00	
						81.00	69.00	65.00	115.00		
						110.00	78.00	74.00	120.00		
							88.00	81.00	130.00		
							95.00	90.00			
								102.00			
								120.00			
Tiempo (min)	06:30	04:20	05:00	05:10	04:10	04:20	06:10	06:20	05:30	04:50	
Velocidad (mm/min)	1.92	1.00	1.08	1.17	1.17	1.25	1.08	1.58	1.08	1.17	
Límite de Proporcionalidad (kg)	122	143.84	116.25	124	139	148.96	159.53	166.55	140.9	132.46	
Deformación en el L.P (mm)	4.68	2.12	6.13	6.54	2.1	4.42	4.6	5.95	6.03	7.02	

Cuadro 65: Datos obtenidos del ensayo de corte simple perpendicular a la fibra-Muestra D.1.2

Código muestra		D.1.2				
Tirafón (pulg)	Largo	1 1/2				
	Diámetro	5/16				
Espesor madera (pulg)	Principal	1				
	Lateral	1/2				
Razón E/D		1.60				
Prof. de penetración (pulg)		1				
Fecha de ensayo		10 de febrero de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5
Carga (kg)		50	50	50	50	50
		100	100	100	100	100
		150	150	150	150	150
		200	200	200	200	200
		250	250	250	250	250
		290	300	290	285	290
			350			
Deformación (mm)		0.40	0.20	0.50	0.40	0.30
		1.00	0.50	0.70	1.20	2.00
		1.50	4.50	1.40	3.00	7.20
		5.80	6.80	3.80	6.00	16.00
		12.00	18.00	12.00	18.00	33.00
		120.00	48.00	121.00	120.00	115.00
			130.00			
Tiempo (min)		05:20	06:00	06:00	04:30	04:30
Velocidad (mm/min)		1.42	1.83	2.25	1.25	1.25
Límite de Proporcionalidad (kg)		179.64	171.2	192.2	142.03	129.08
Deformación en el L.P (mm)		2.11	4.7	2.23	2.43	3.03

Cuadro 66: Datos obtenidos del ensayo de corte simple perpendicular a la fibra-Muestras D.1.3 y D.2.1

Código muestra		D.1.3					D.2.1				
Tirafón (pulg)	Largo	1 1/2					1 1/2				
	Diámetro	3/8					1/4				
Espesor madera (pulg)	Principal	1					1 1/2				
	Lateral	1/2					3/4				
Razón E/I/D		1.33					3.00				
Prof. de penetración (pulg)		1					3/4				
Fecha de ensayo		28 de abril de 2011					28 de abril de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	250	250	250	250	250	250	240	240	240	220	220
	300	300	300	300	300	300					
	315	350	380	350	350	350					
		400		390	400	400					
		430			450	450					
Deformación (mm)	0.50	0.40	0.40	0.30	0.30	0.30	0.50	0.30	0.50	0.30	
	3.00	0.70	1.10	1.00	0.60	0.80	0.90	1.10	1.20	1.20	
	12.00	1.00	1.50	2.80	1.30	6.50	30.00	4.50	2.50	6.00	
	20.00	2.50	5.00	5.30	3.00	10.00	7.20	19.00	15.00	66.00	
	33.00	5.00	15.50	9.70	5.80	115.00	112.00	130.00	101.00	130.00	
	51.00	10.00	39.00	17.50	10.00						
	72.00	25.00	83.00	50.00	28.00						
		50.00		88.00	60.00						
		83.00			90.00						
Tiempo (min)	06:20	07:10	06:20	04:50	06:50	05:00	03:50	03:10	03:20	03:45	
Velocidad (mm/min)	2.00	2.92	2.00	1.92	2.50	1.00	1.08	1.17	1.08	1.17	
Límite de Proporcionalidad (kg)	119.82	187.18	219	162.13	188.06	98.37	207.89	140.63	146.86	135.3	
Deformación en el L.P (mm)	4.03	1.82	2.67	2.79	2.11	1.14	2.39	1.78	2.28	1.76	

Cuadro 67: Datos obtenidos del ensayo de corte simple perpendicular a la fibra-Muestras D.2.2 y D.2.3

Código muestra		D.2.2					D.2.3				
Tirafón (pulg)	Largo	1 1/2					1 1/2				
	Diámetro	5/16					3/8				
Espesor madera (pulg)	Principal	1 1/2					1 1/2				
	Lateral	3/4					3/4				
Razón E/D		2.40					2.00				
Prof. de penetración (pulg)		3/4					3/4				
Fecha de ensayo		28 de abril de 2011					28 de abril de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Carga (kg)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300
	310	320	325	330	320	350	350	350	350	350	350
							400	360	400	400	400
							450		435	430	435
Deformación (mm)	1.10	0.70	0.70	0.70	0.60	0.50	0.40	0.40	0.50	0.70	
	5.10	2.80	2.00	1.20	3.50	0.70	1.00	1.10	2.00	1.70	
	15.50	6.60	6.70	3.00	7.70	2.50	2.60	3.00	4.20	3.00	
	29.00	13.00	14.00	6.50	17.00	6.00	6.00	5.80	8.00	6.00	
	57.00	25.50	30.00	20.50	30.00	11.50	12.00	11.00	15.00	11.50	
	110.00	85.00	80.00	67.00	64.00	21.20	23.00	17.00	28.00	24.00	
	120.00	132.00	130.00	130.00	125.00	34.00	51.00	26.00	58.00	51.00	
							51.00	105.00	80.00	115.00	94.00
							107.00		128.00	121.00	123.50
Tiempo (min)		06:40	06:00	04:20	05:00	04:20	08:30	07:20	06:50	06:30	06:20
Velocidad (mm/min)		1.17	1.33	1.17	1.67	1.00	3.00	2.25	2.00	1.92	1.67
Límite de Proporcionalidad (kg)		115.55	113.87	125.25	172.78	125.41	171	167.18	160.08	159.47	168.3
Deformación en el L.P (mm)		6.18	3.25	2.9	3.54	4.88	3.33	2.86	2.94	4.46	3.84

**Cuadro 68: Datos obtenidos del ensayo de corte doble paralelo a la fibra-
Muestra C.1.1**

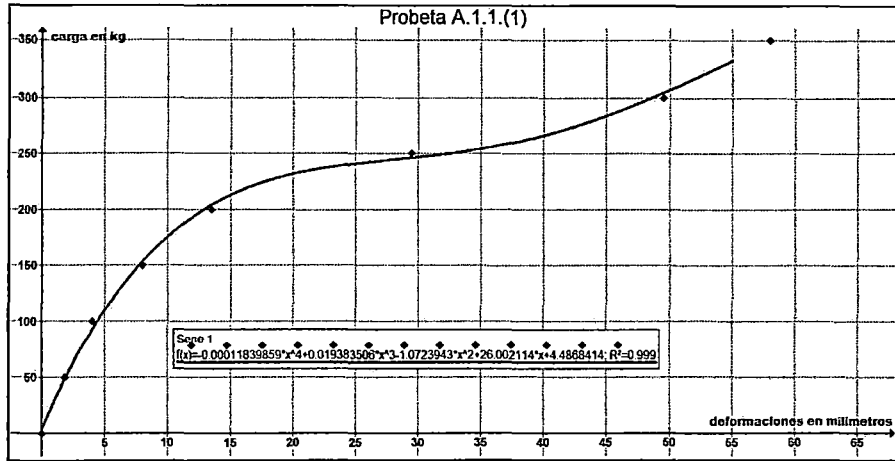
Código muestra		C.1.1				
Tirafón (pulg)	Largo	2				
	Diámetro	1/4				
Espesor madera (pulg)	Principal	1				
	Lateral	1/2				
Razón E1/D		2				
Prof. de penetración (pulg)		1 1/2				
Fecha de ensayo		28 de abril de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5
Carga (kg)		50	50	50	50	50
		100	100	100	100	100
		150	150	150	150	150
		200	200	200	200	200
		250	250	250	250	250
		300	300	300	300	300
		350	350	350	350	350
		400	400	400	400	400
		450	450	450	450	450
		500	500	500	500	500
		550	550	550	550	550
		600	600	600	600	600
		650	650	650	650	650
		700	700	700	700	700
		750	750	750	750	750
		790	800	800	800	800
			820	820	810	820
Deformación (mm)		0.10	0.20	0.10	0.10	0.10
		0.30	0.40	0.50	0.30	0.20
		0.50	0.60	1.00	0.40	0.50
		0.60	0.80	1.40	0.60	0.70
		0.80	1.10	2.00	0.80	2.00
		1.60	1.80	2.40	1.00	4.50
		2.80	2.50	3.30	1.20	8.00
		4.50	4.00	4.40	1.50	10.00
		6.00	4.80	5.70	2.50	13.00
		10.00	7.00	8.80	4.00	16.00
		15.00	9.50	13.00	7.00	20.00
		24.00	13.00	21.00	11.00	37.00
		35.00	20.00	35.50	22.00	45.00
		48.00	30.00	47.00	35.00	64.00
		65.00	60.00	59.00	49.00	77.00
		120.00	77.00	92.00	66.00	98.00
			101.00	122.00	110.00	120.00
Tiempo (min)		05:00	03:40	03:50	04:30	04:40
Velocidad (mm/min)		1.1	1.25	1.1	1.5833	1.25
Límite de Proporcionalidad (kg)		318.25	281.09	283.02	374.2	243.15
Deformación en el L.P (mm)		1.65	1.6	2.34	1.49	1.25

Cuadro 69: Datos obtenidos del ensayo de corte doble perpendicular a la fibra-Muestra D.1.1

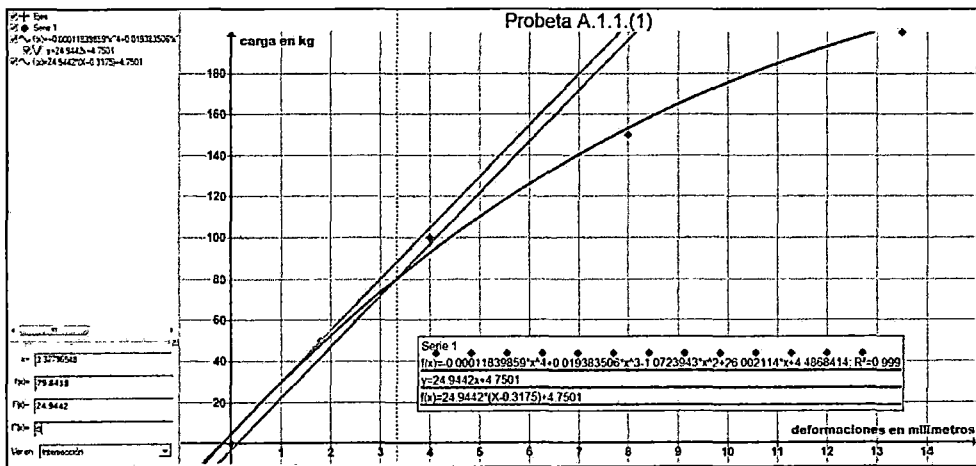
Código muestra		D.1.1				
Tirafón (pulg)	Largo	3				
	Diámetro	5/16				
Espesor madera (pulg)	Principal	1 1/2				
	Lateral	3/4				
Razón EVD		2.40				
Prof. de penetración (pulg)		2 1/4				
Fecha de ensayo		28 de abril de 2011				
Muestra		1	2	3	4	5
Carga (kg)		50	50	50	50	50
		100	100	100	100	100
		150	150	150	150	150
		200	200	200	200	200
		250	250	250	250	250
		300	300	300	300	300
		350	350	350	350	350
		400	400	400	400	400
		450	450	450	450	450
		500	500	500	500	500
		550	550	550	550	550
		600	600	600	600	600
		650	650	650	650	650
		700	700	700	700	700
		750	750	750	710	750
		770	800	780		800
			820			810
Deformación (mm)		0.20	0.10	0.20	0.10	0.10
		0.30	0.50	0.30	0.20	0.40
		0.50	1.00	0.50	0.50	0.60
		1.00	2.20	0.70	0.60	0.90
		1.40	3.20	0.90	0.80	1.20
		2.00	3.80	1.50	1.00	1.70
		2.30	4.60	2.50	1.20	2.20
		2.60	5.70	4.00	1.50	3.00
		3.00	7.00	4.80	2.00	3.80
		3.30	10.00	6.50	2.50	5.20
		5.00	16.00	9.50	7.00	7.80
		10.00	25.00	16.00	18.00	14.00
		23.00	40.00	27.00	40.00	32.00
		35.00	60.00	39.50	79.00	47.00
		52.00	80.00	56.00	102.00	78.00
		70.00	110.00	105.00		110.00
			130.00			128.00
Tiempo (min)		05:00	06:10	06:05	06:15	05:30
Velocidad (mm/min)		2	2	1.67	2.08	1.75
Límite de Proporcionalidad (kg)		450	345.01	319.34	436.1	292.45
Deformación en el L.P (mm)		3.13	4.63	1.91	1.82	1.86

ANEXO B: GRÁFICOS DE ENSAYO DE CORTE O CIZALLAMIENTO

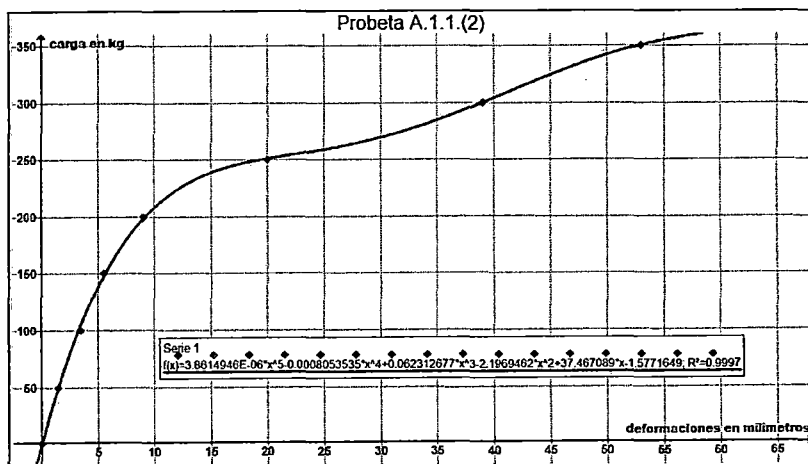
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



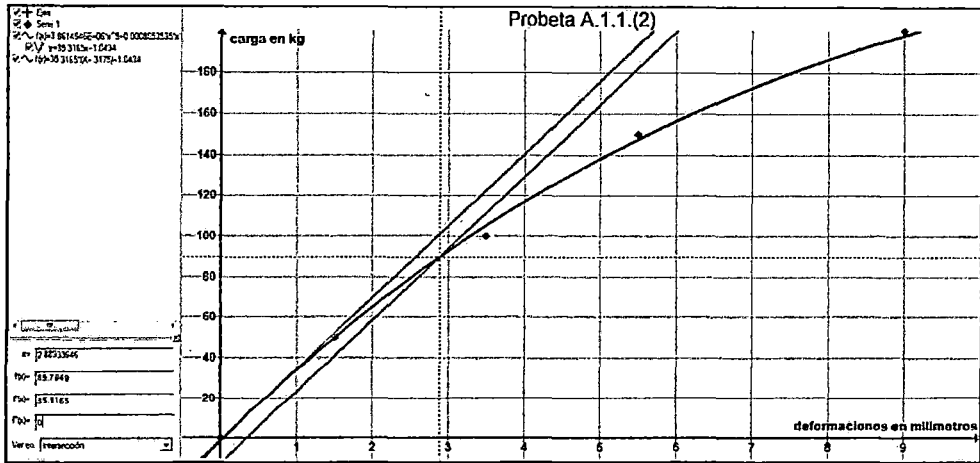
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



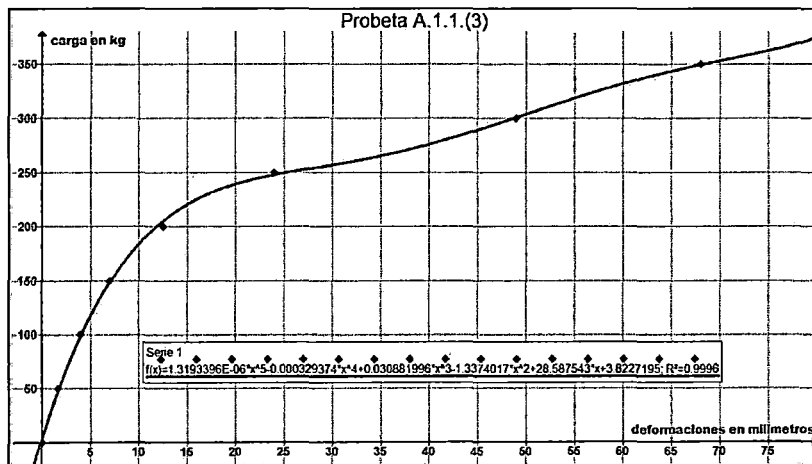
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



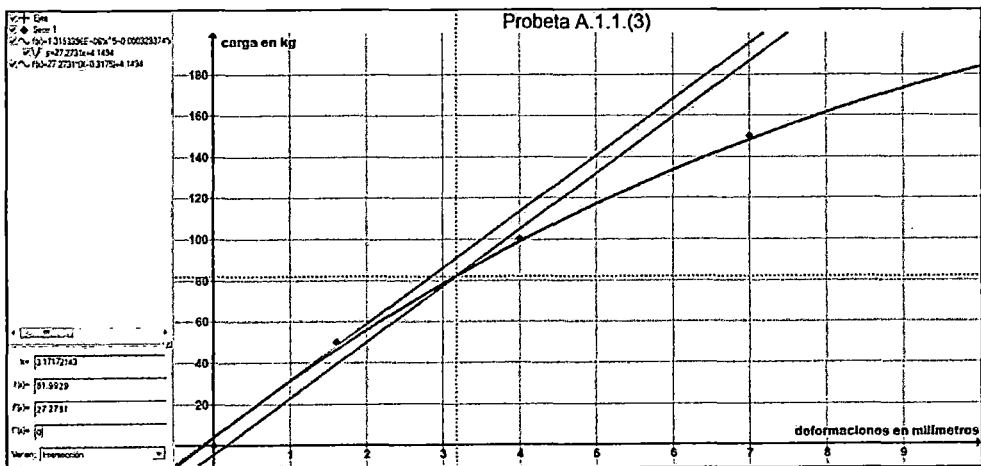
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



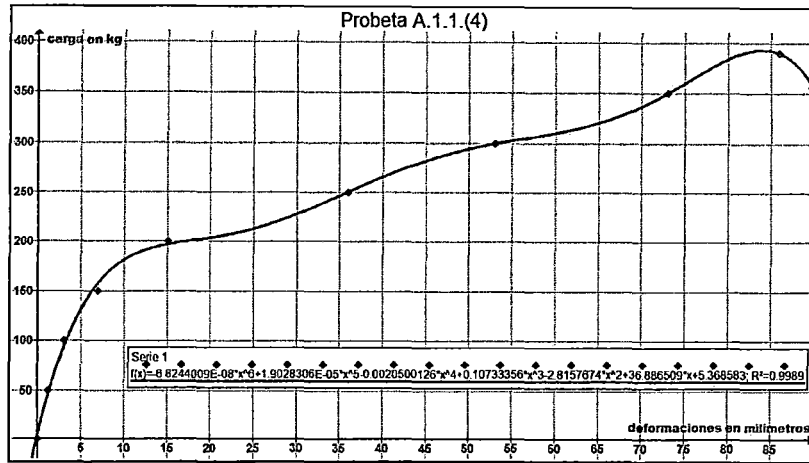
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



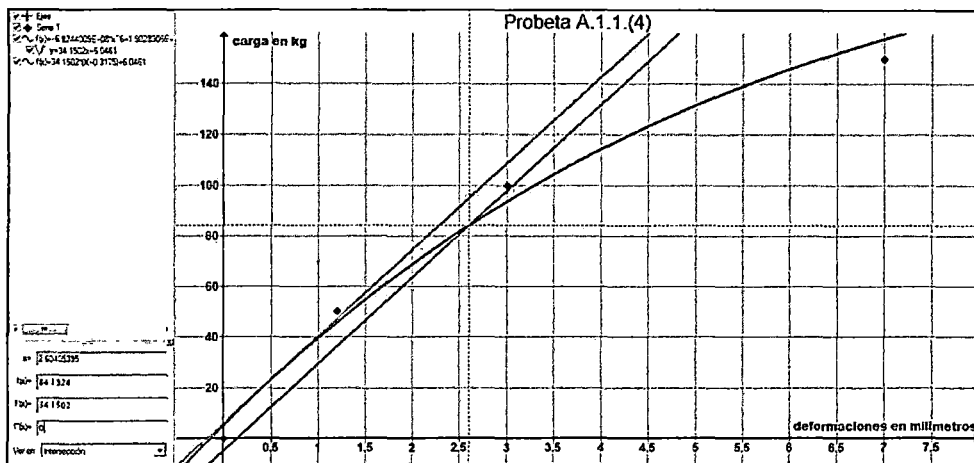
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



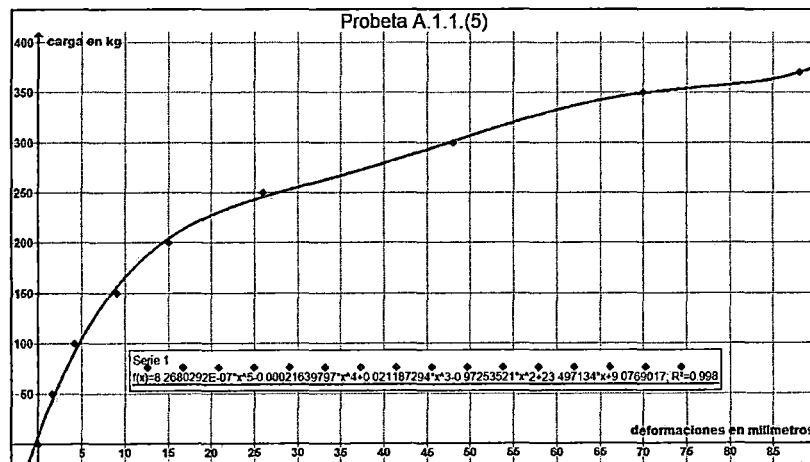
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



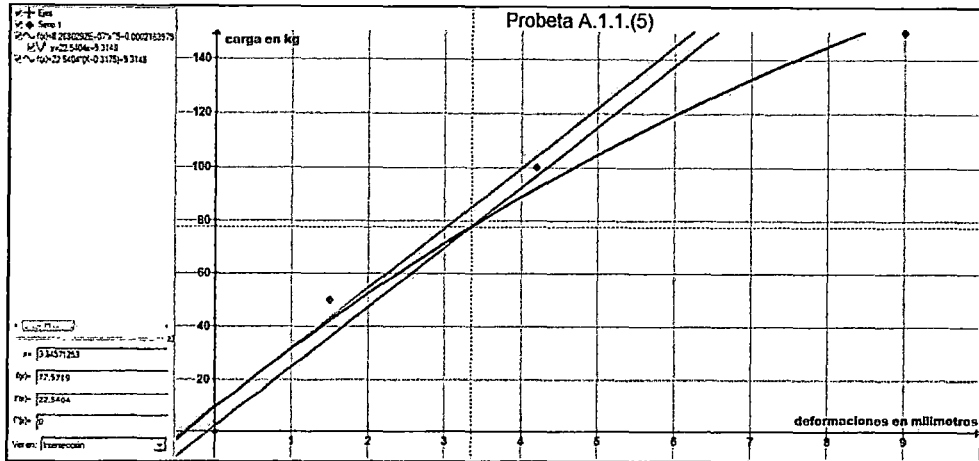
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



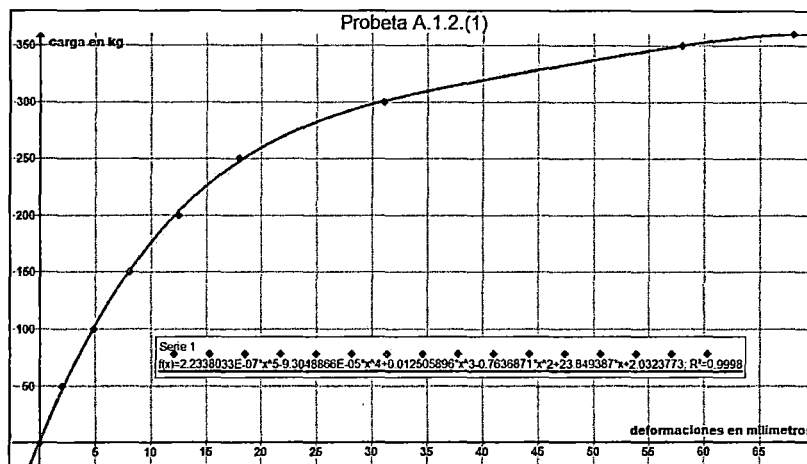
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



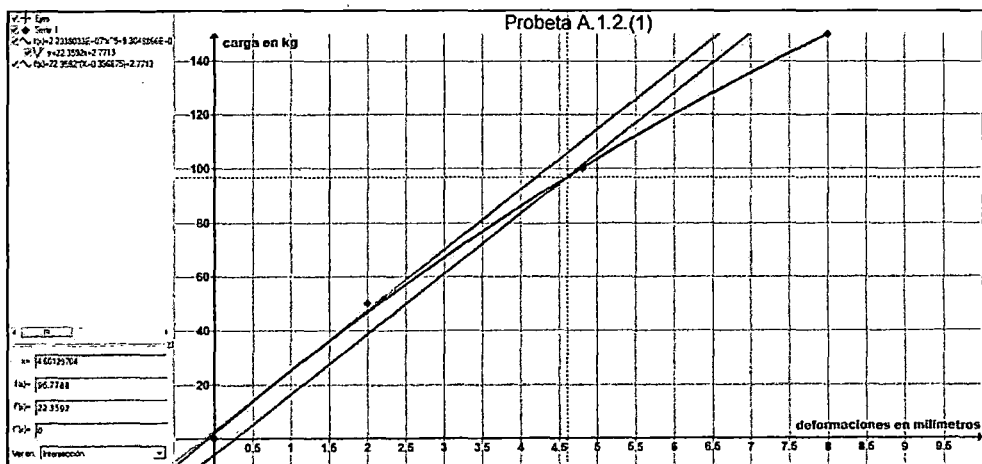
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



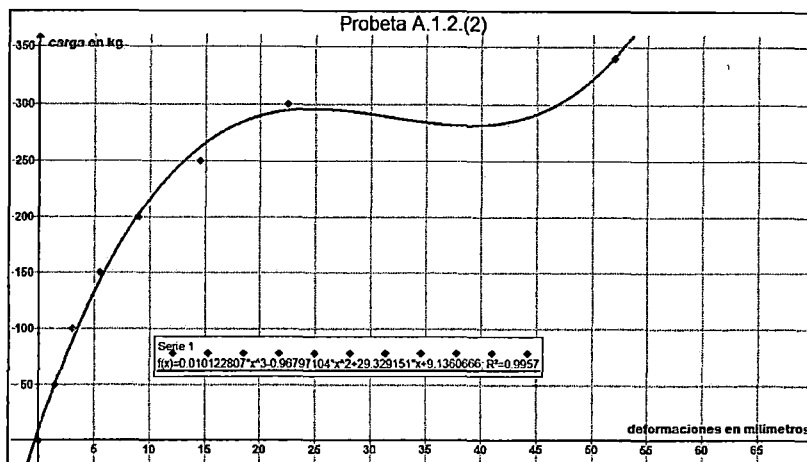
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



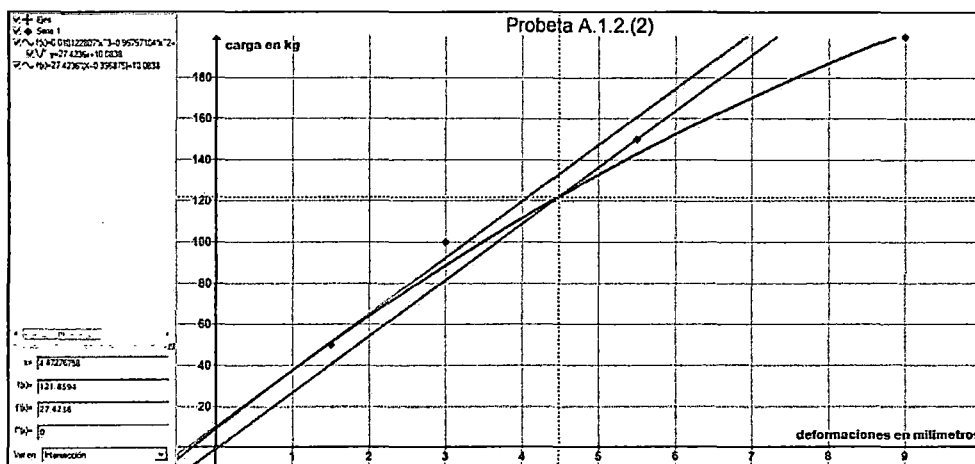
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



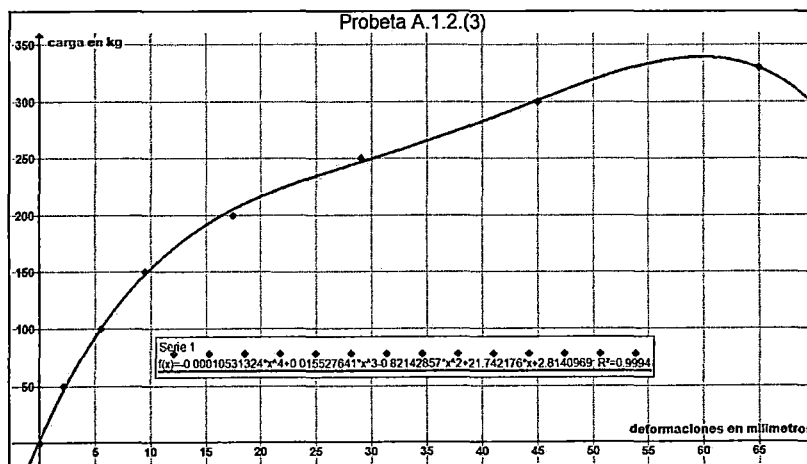
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



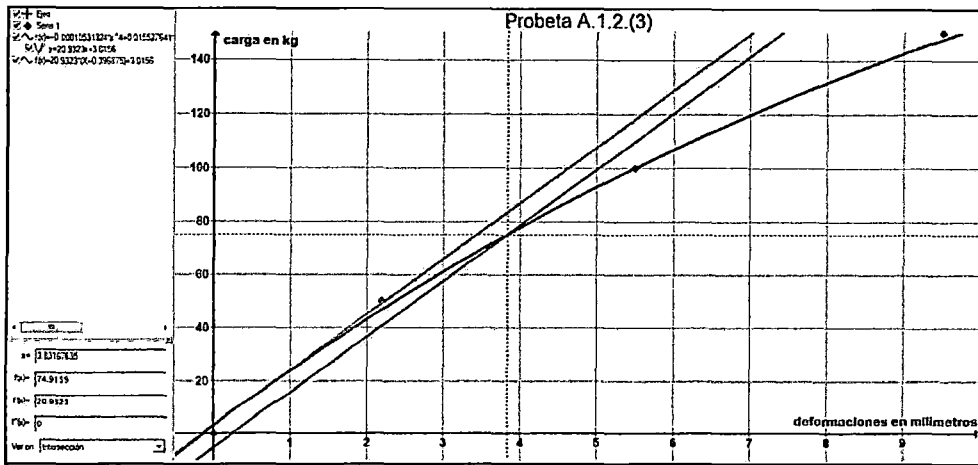
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



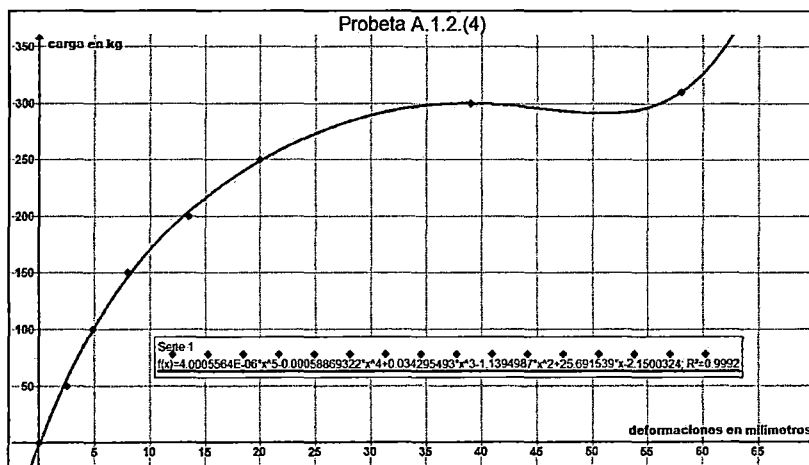
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



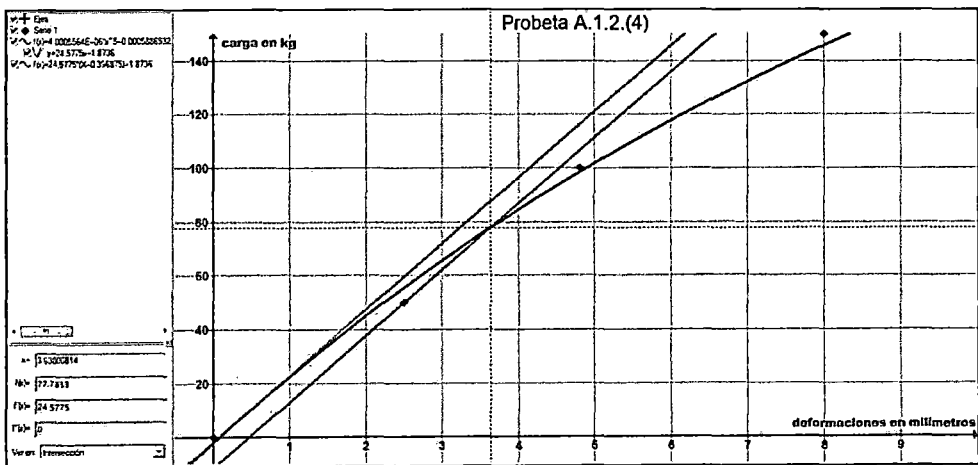
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



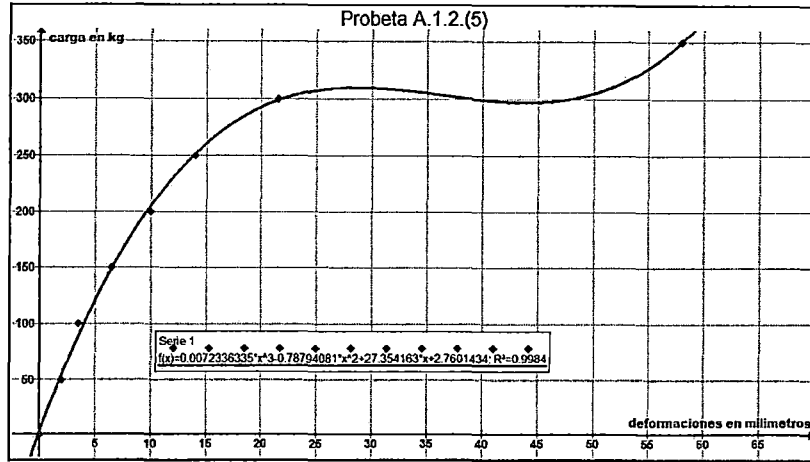
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



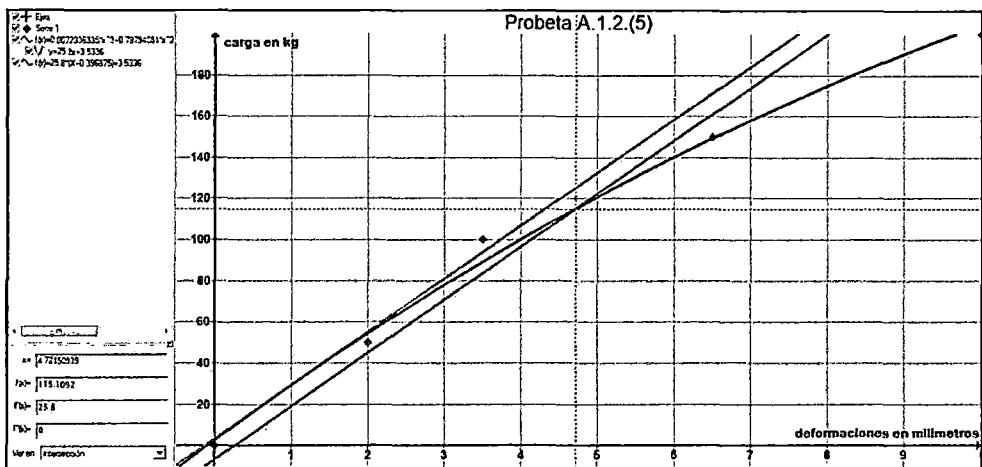
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



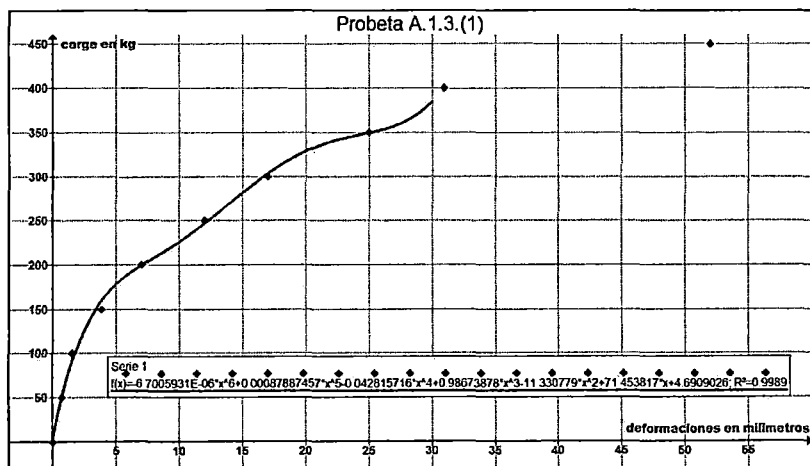
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



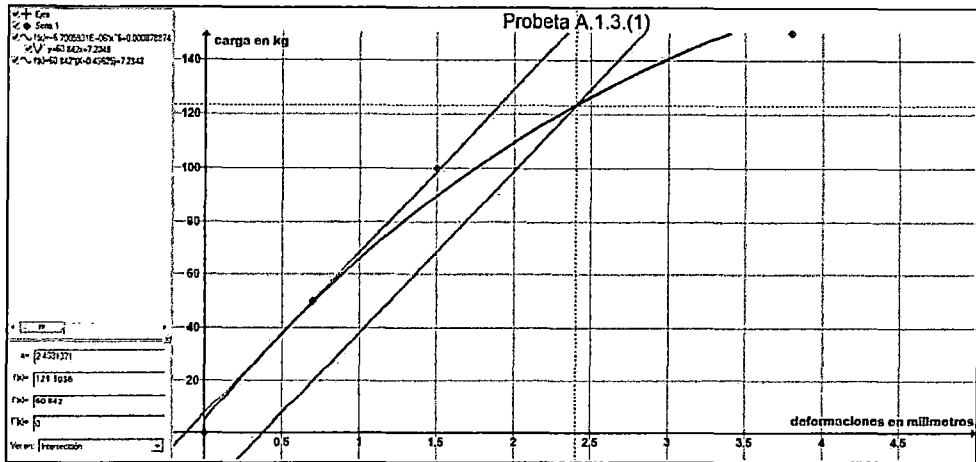
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



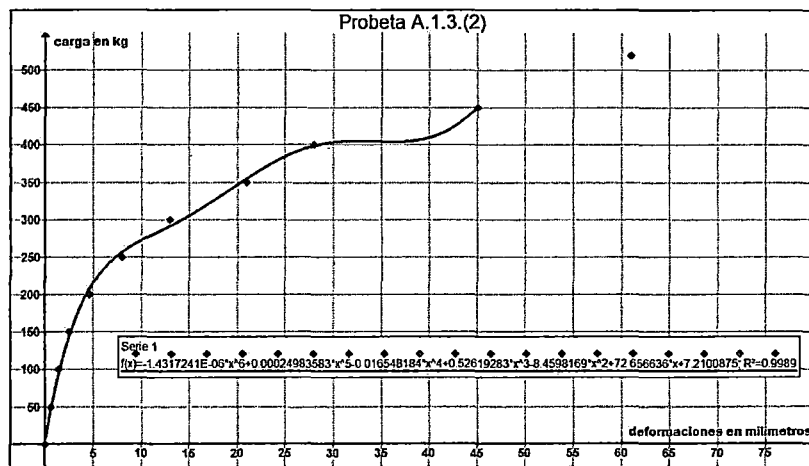
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



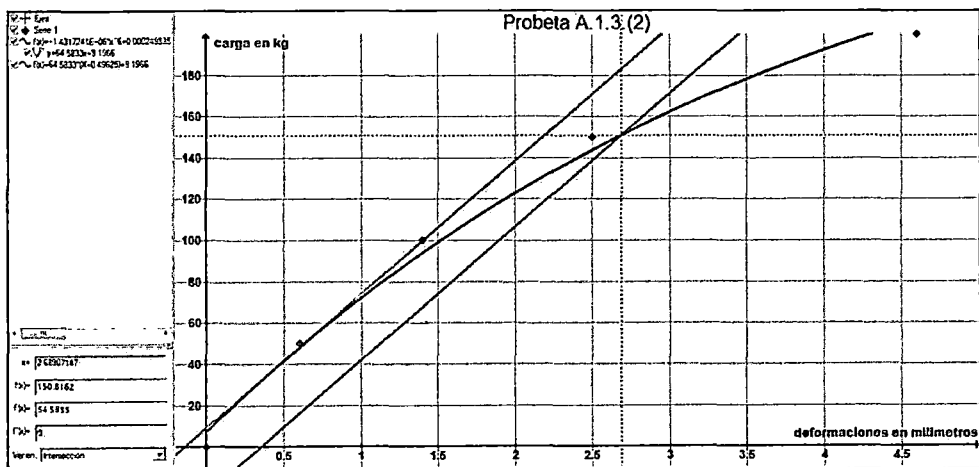
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



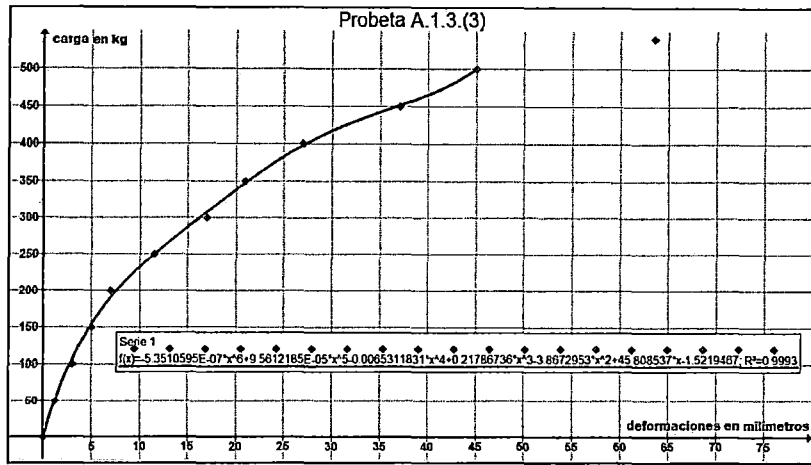
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



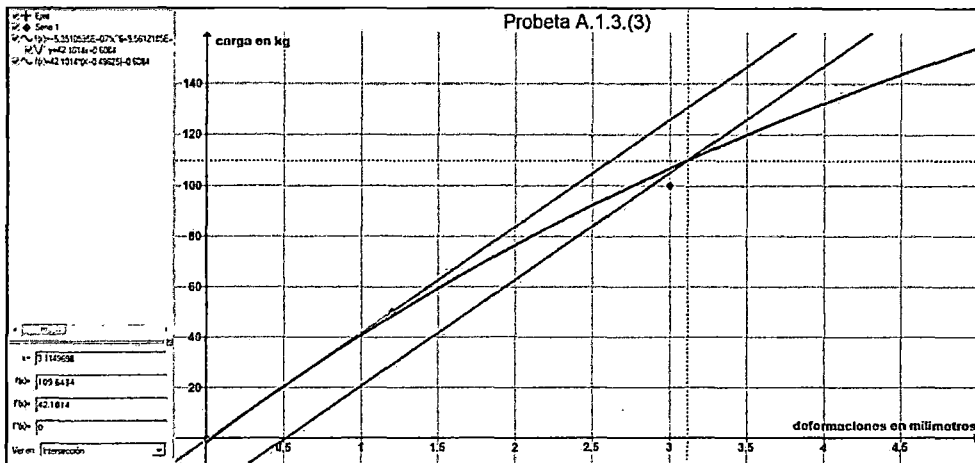
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



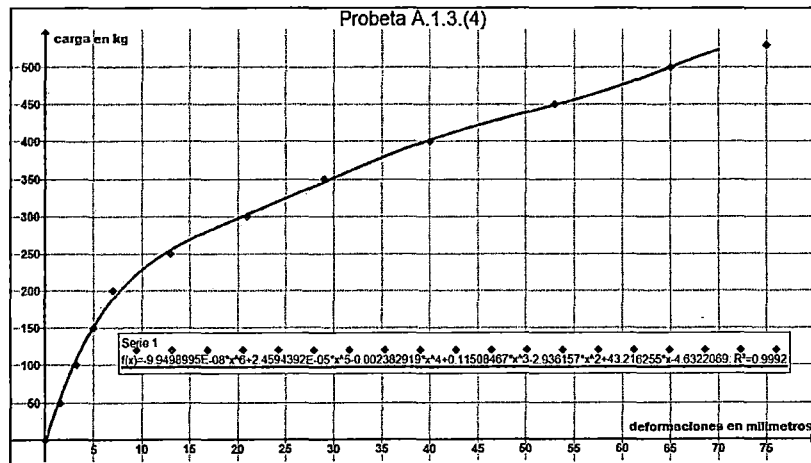
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



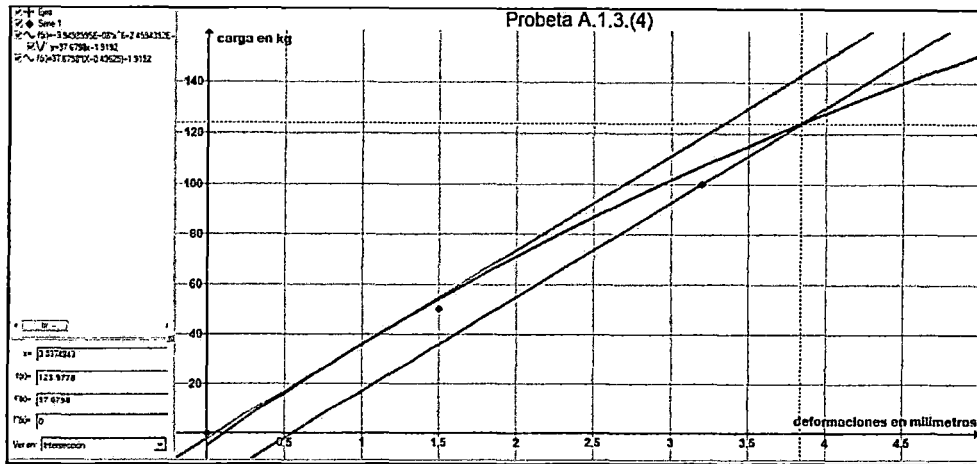
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



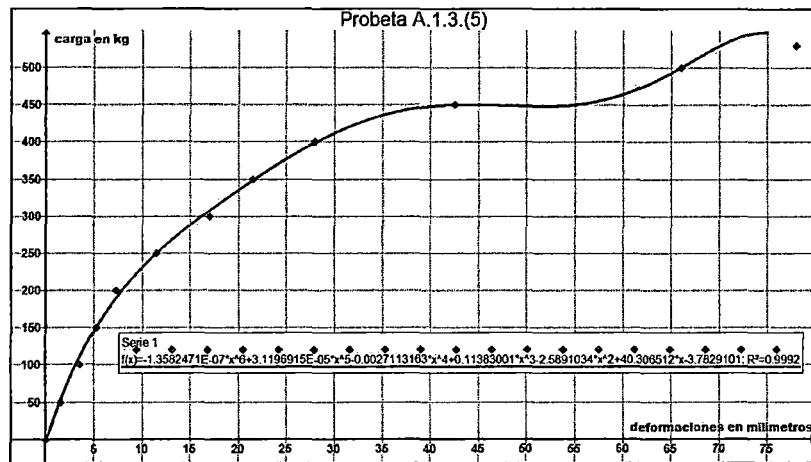
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



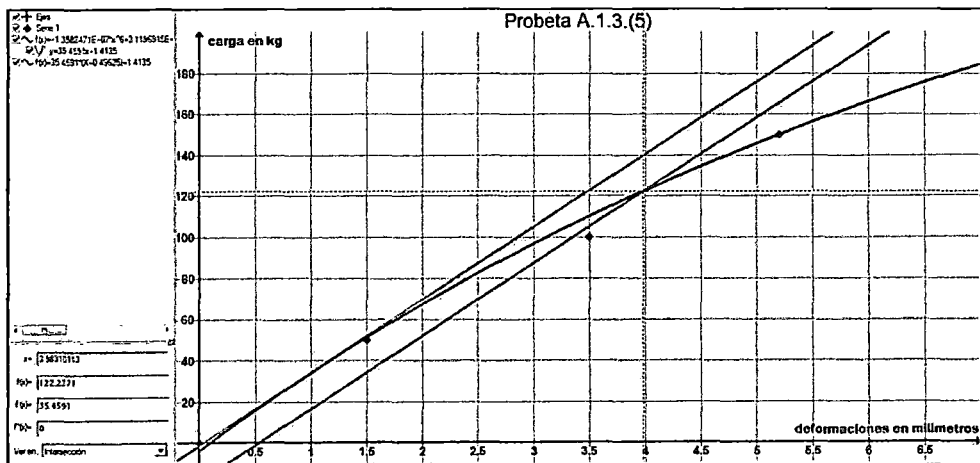
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



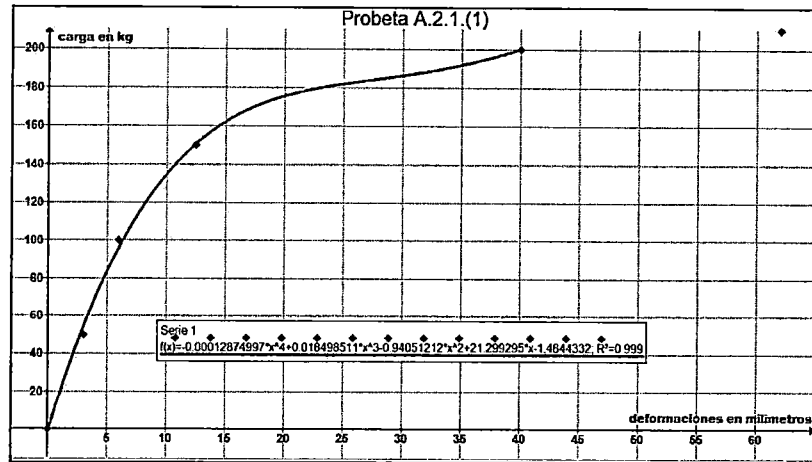
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



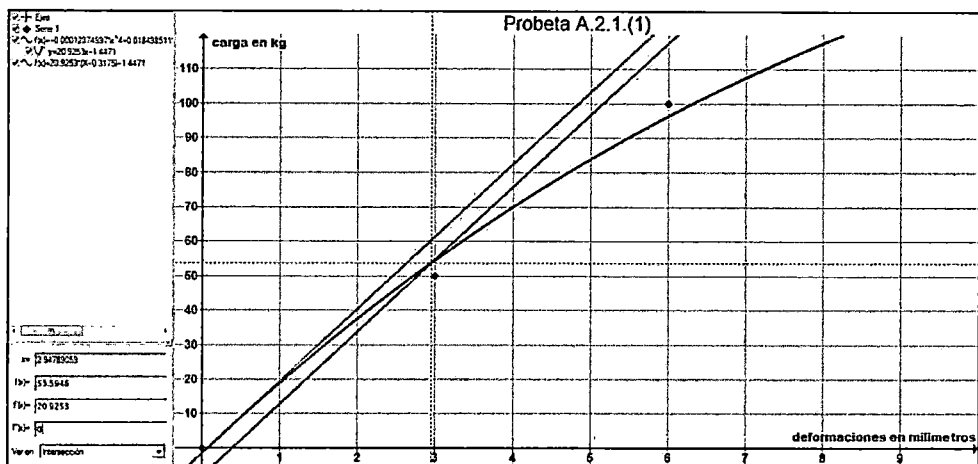
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



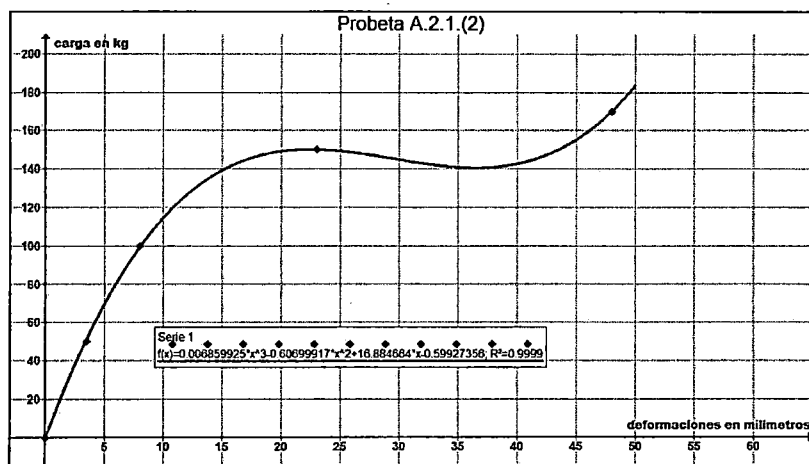
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



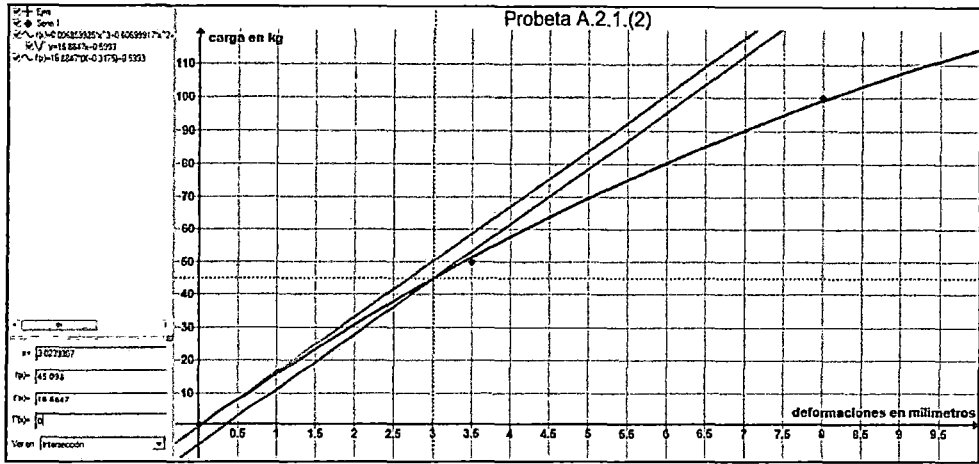
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



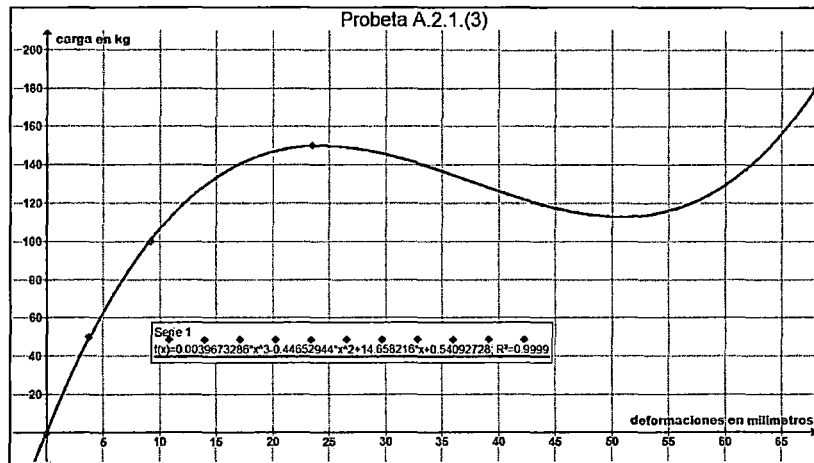
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



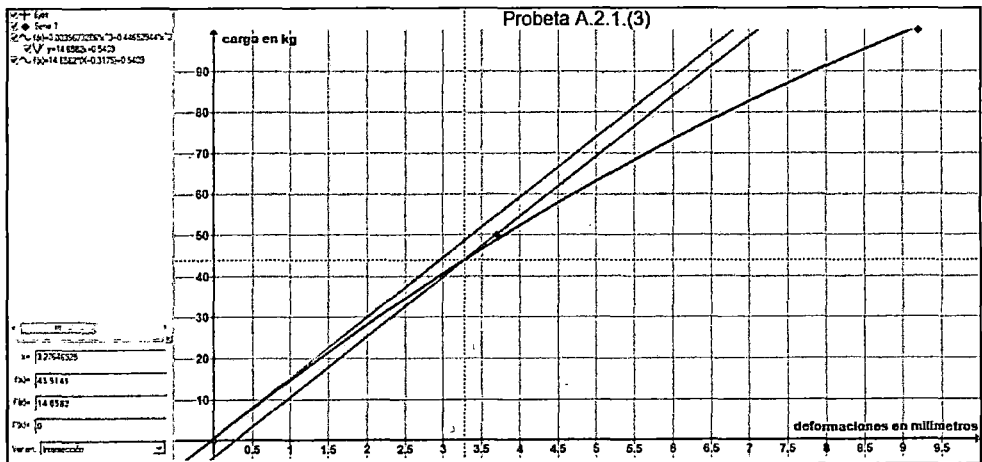
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



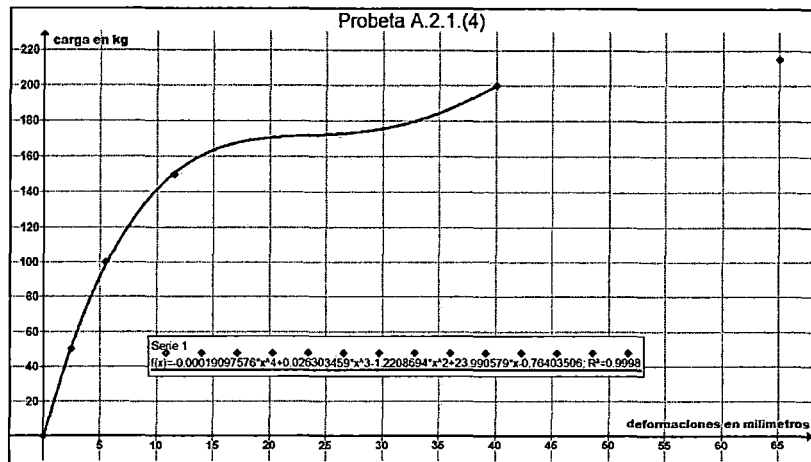
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



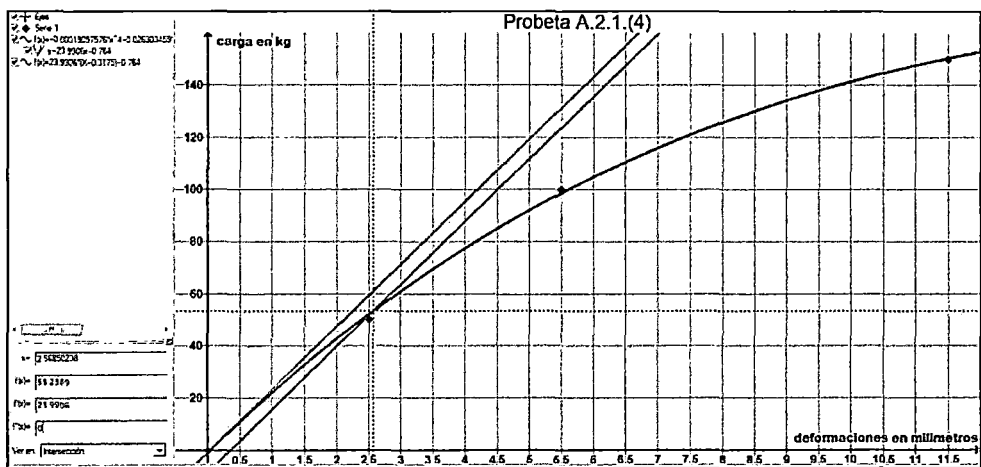
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



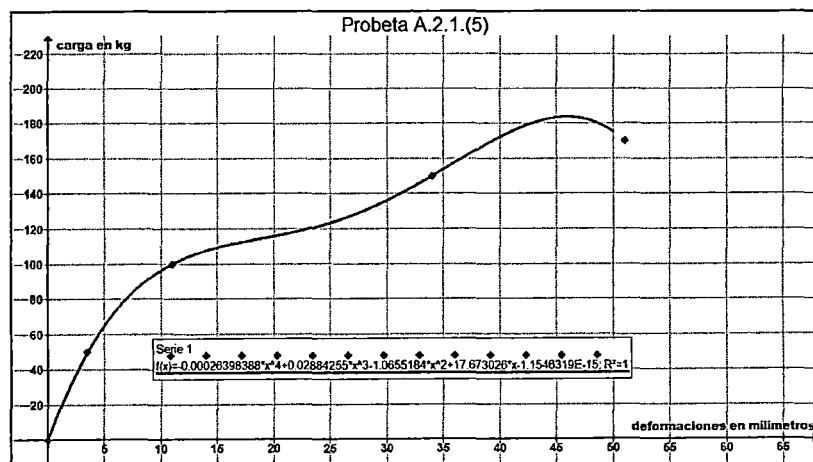
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



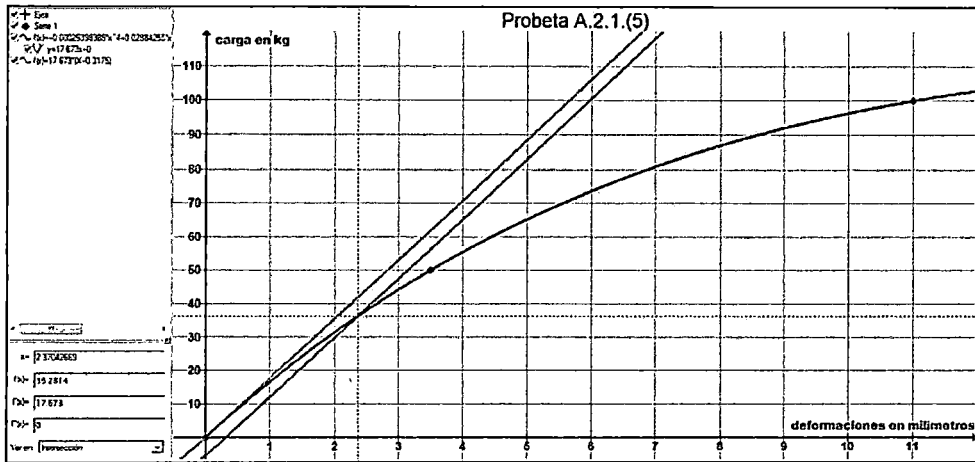
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



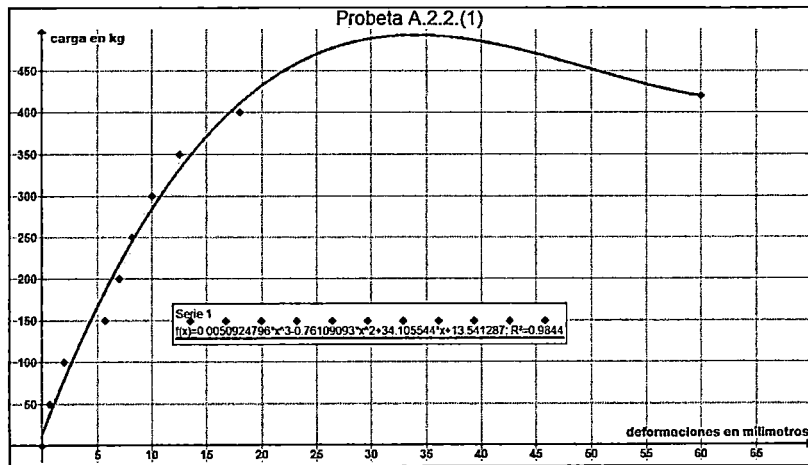
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



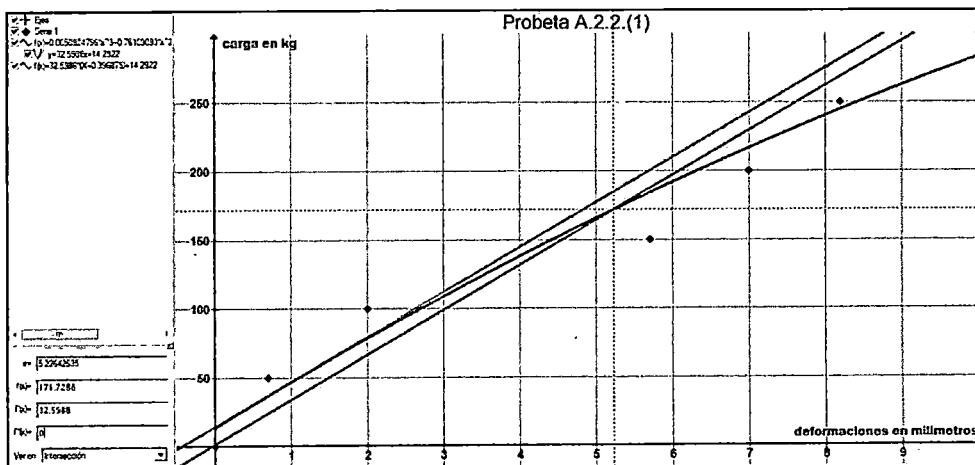
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



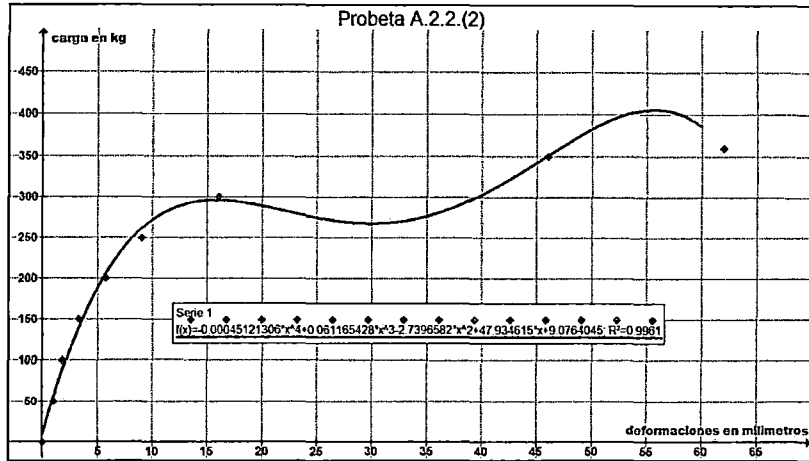
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



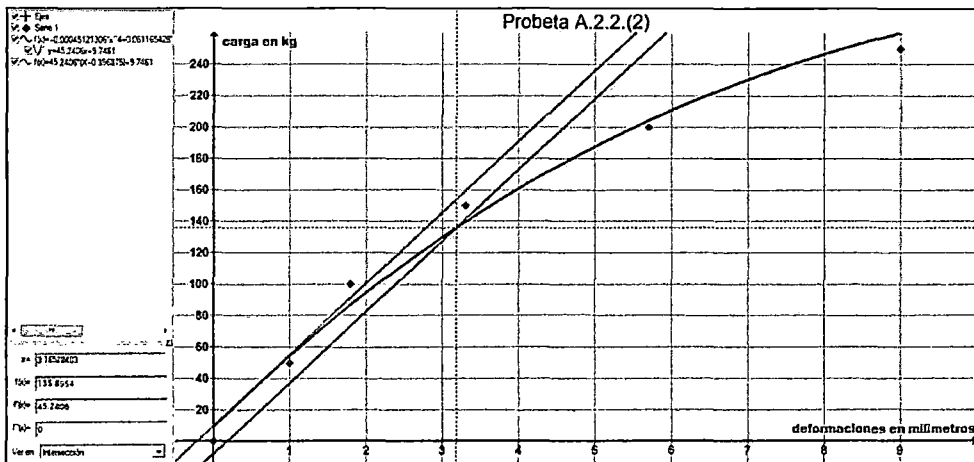
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



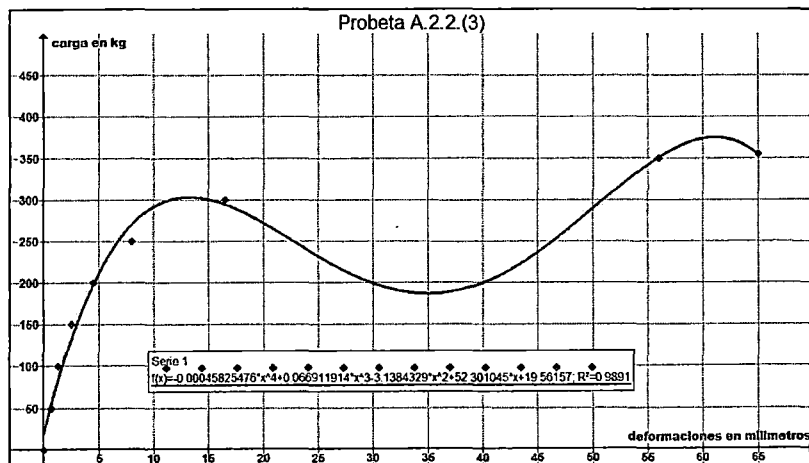
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



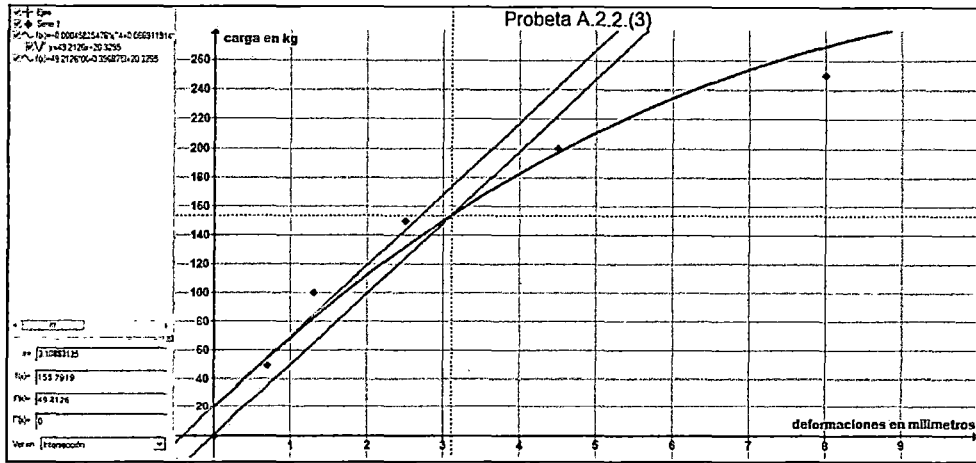
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



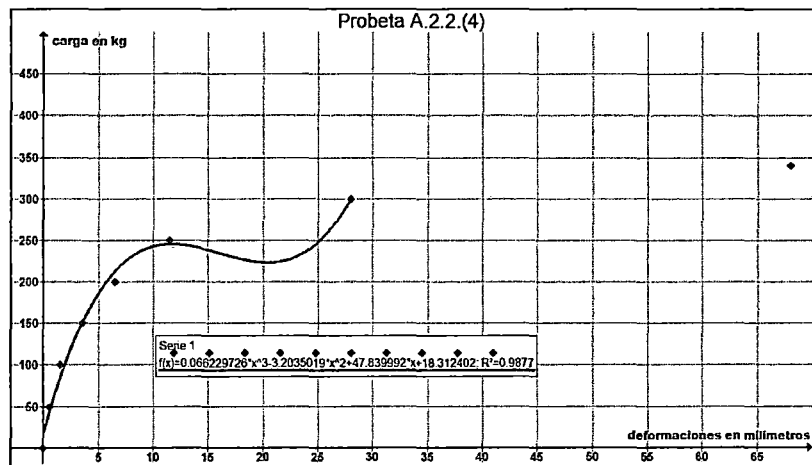
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



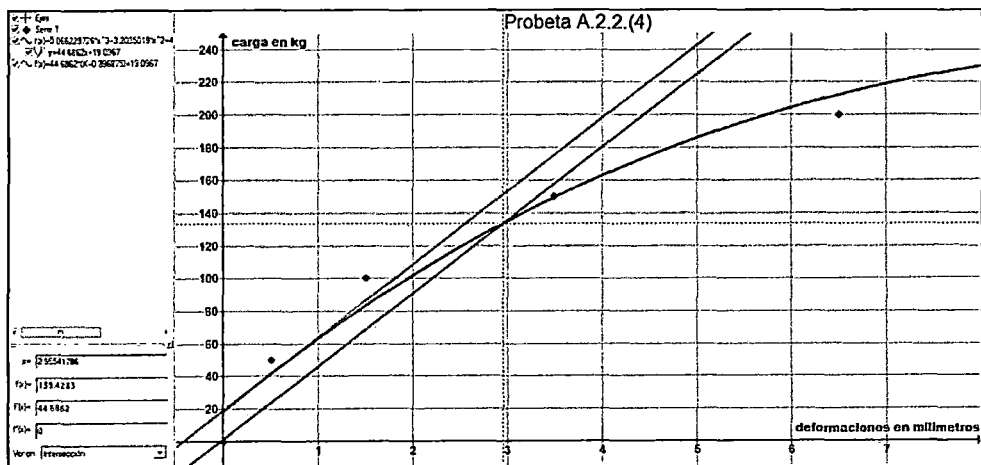
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



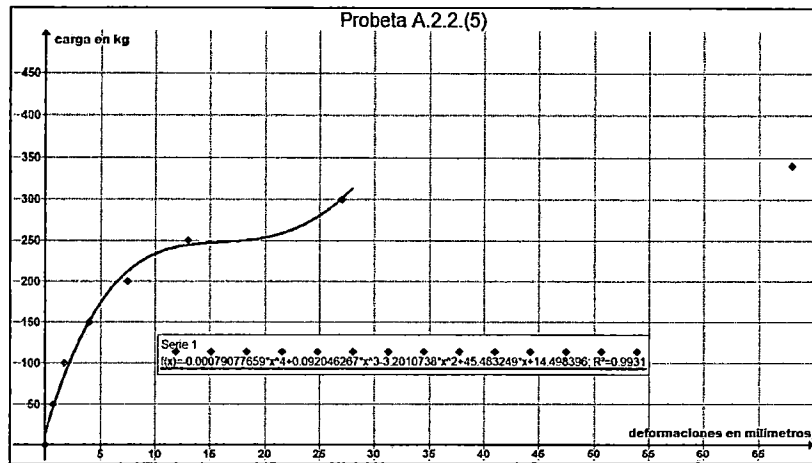
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



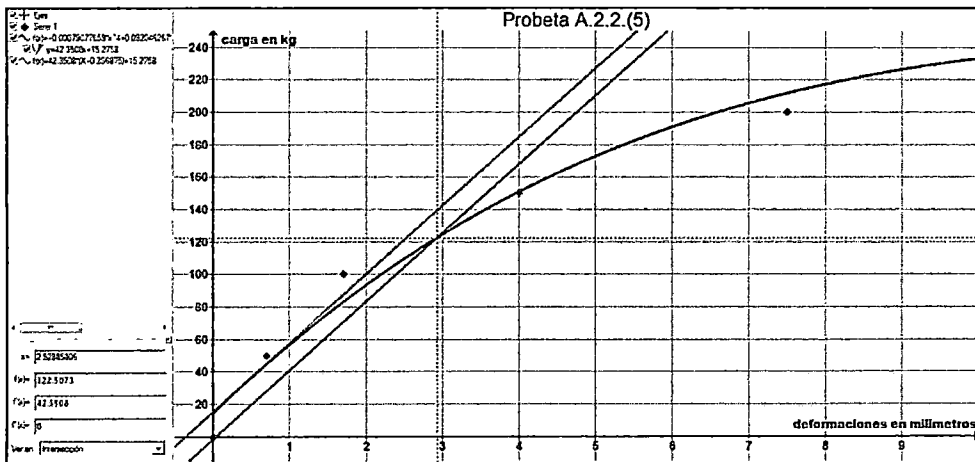
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



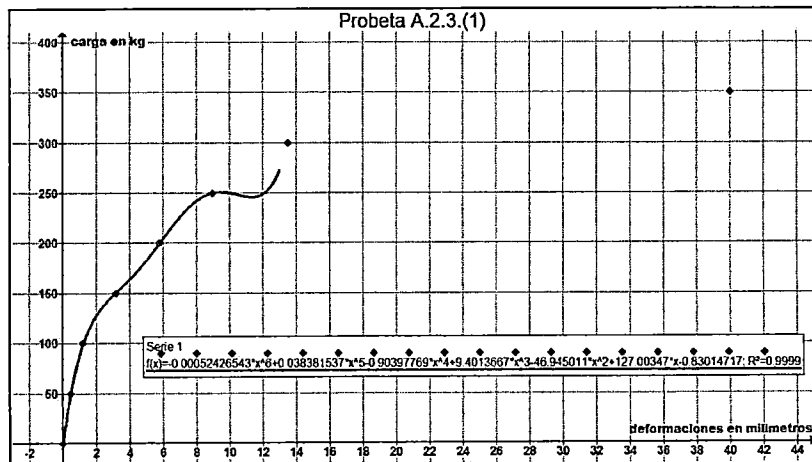
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



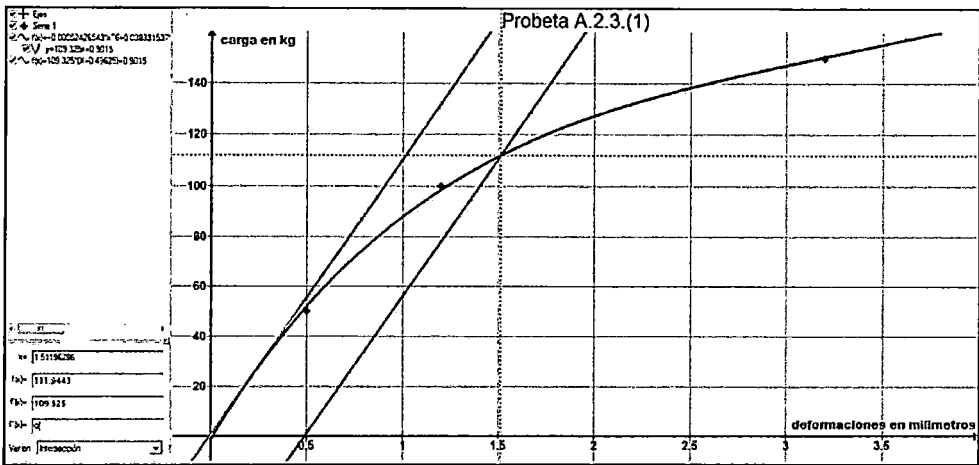
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



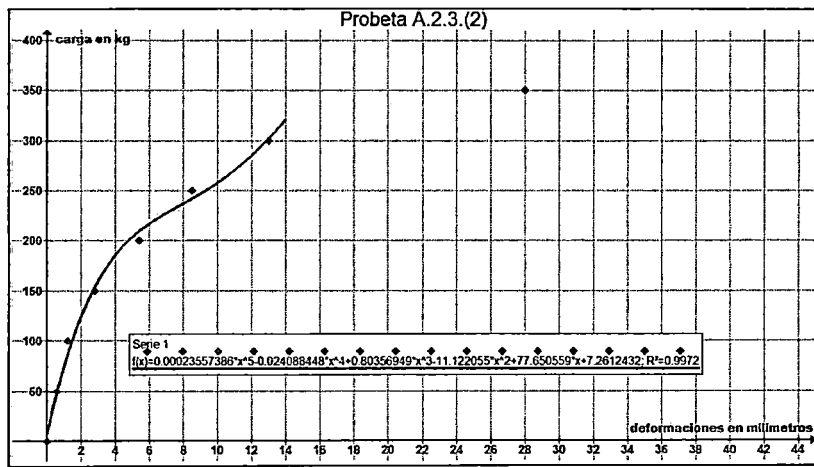
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



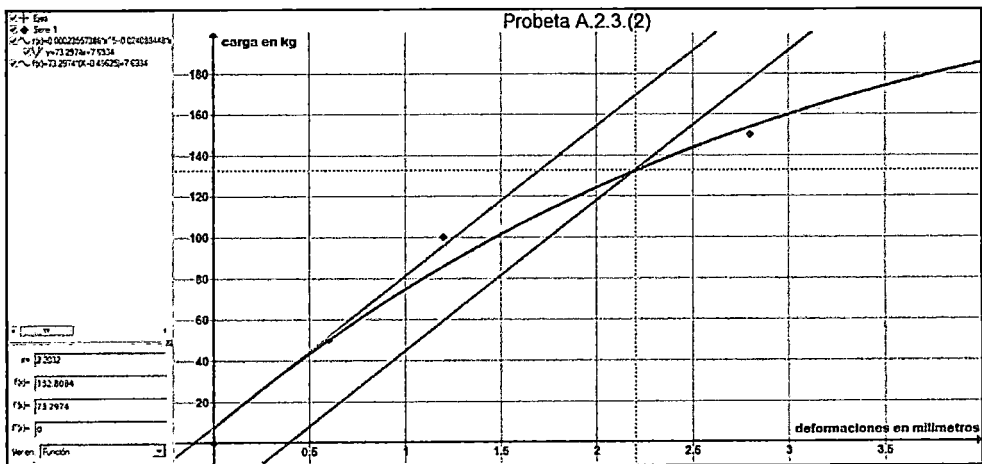
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



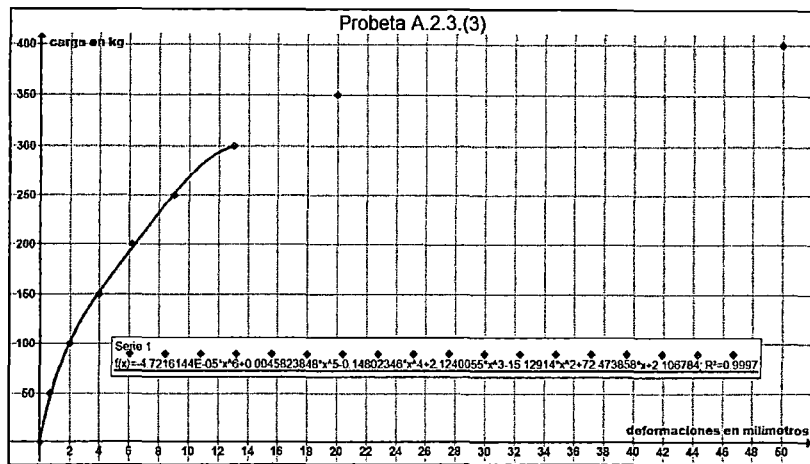
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



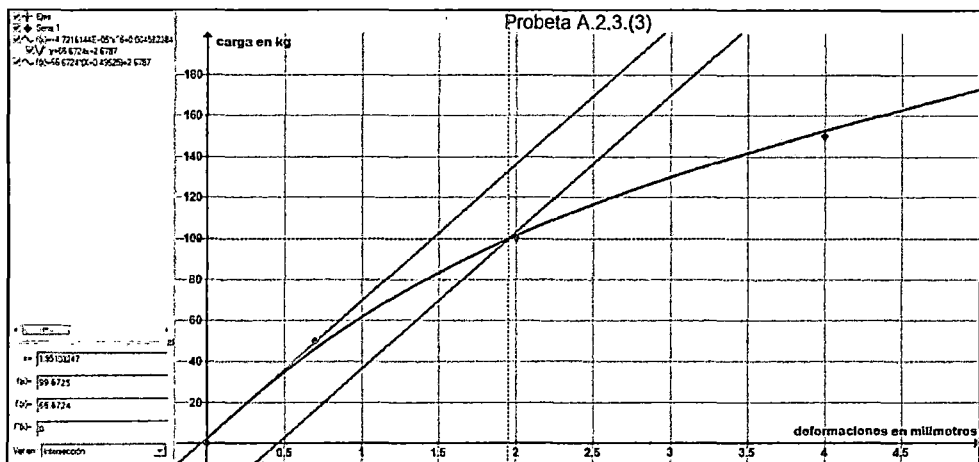
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



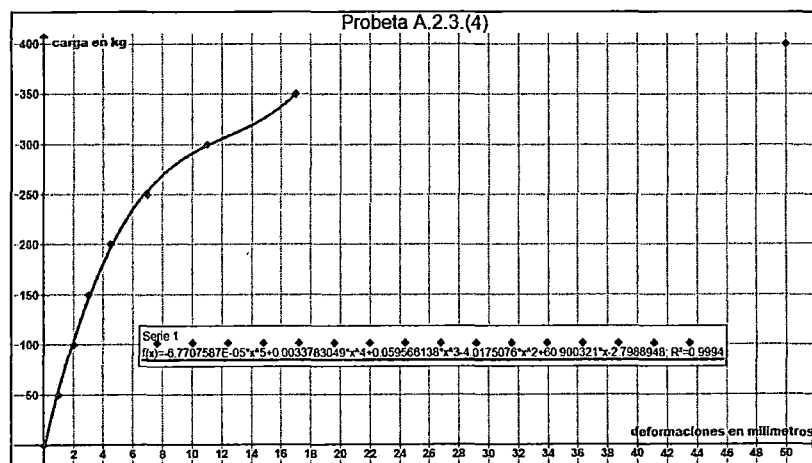
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



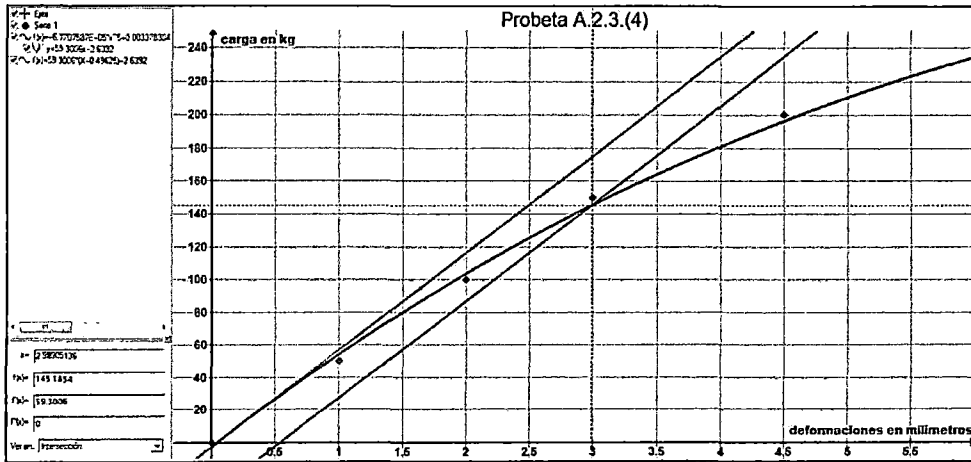
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



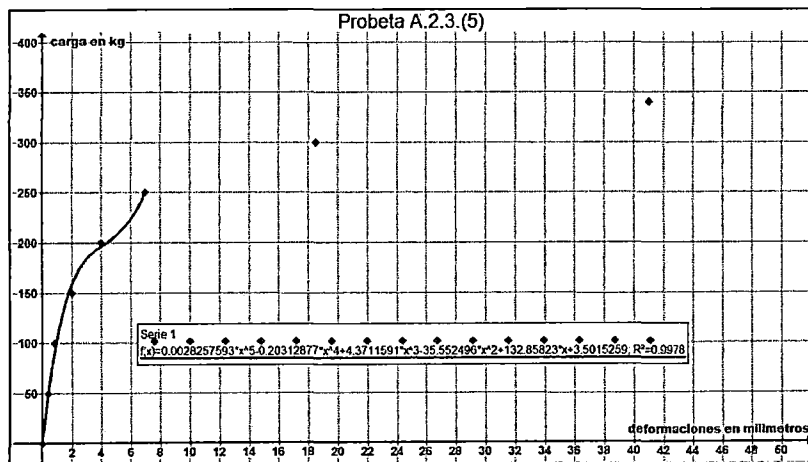
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



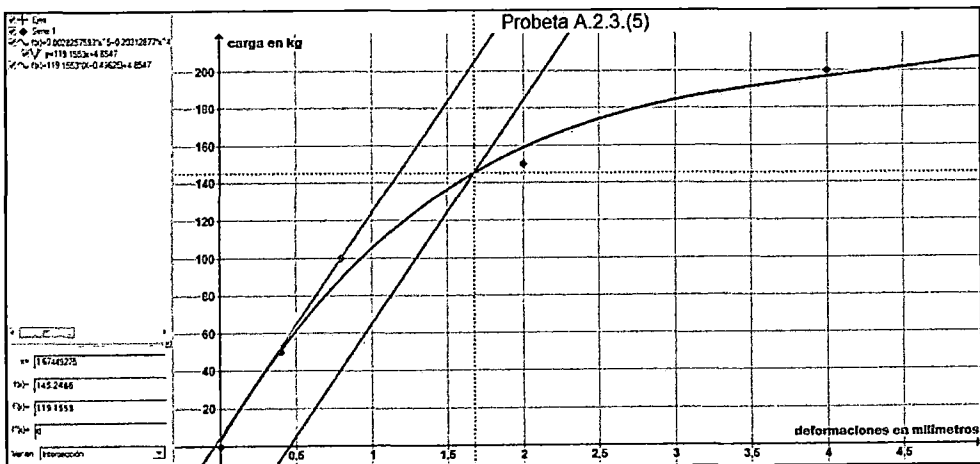
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



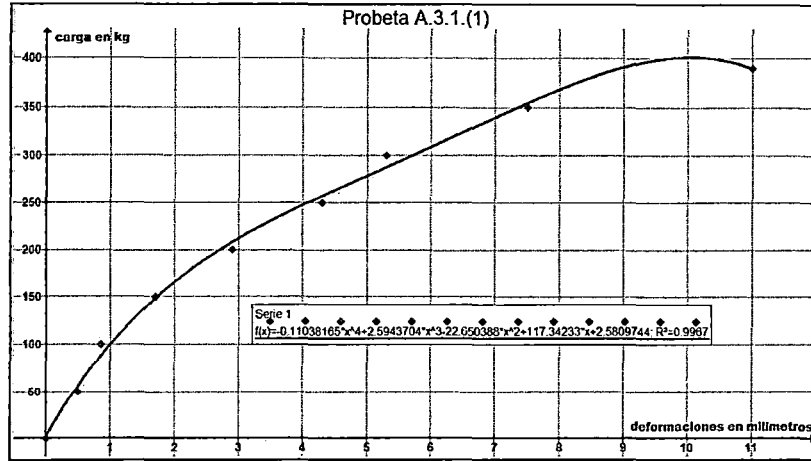
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



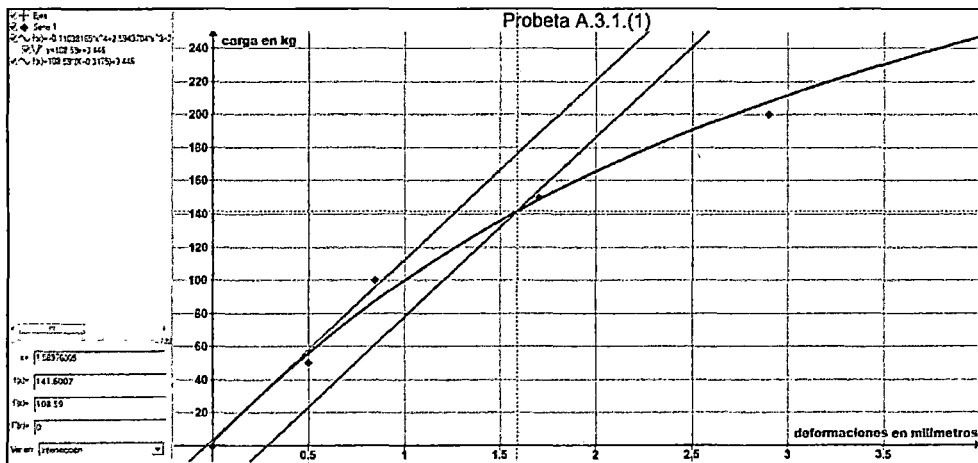
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



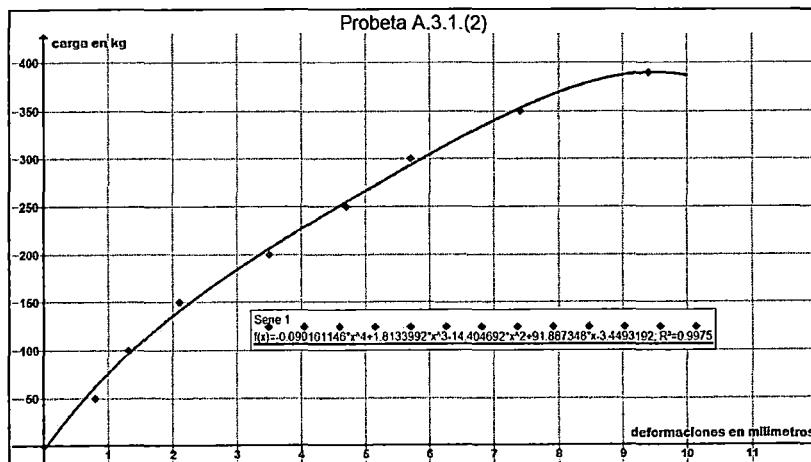
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



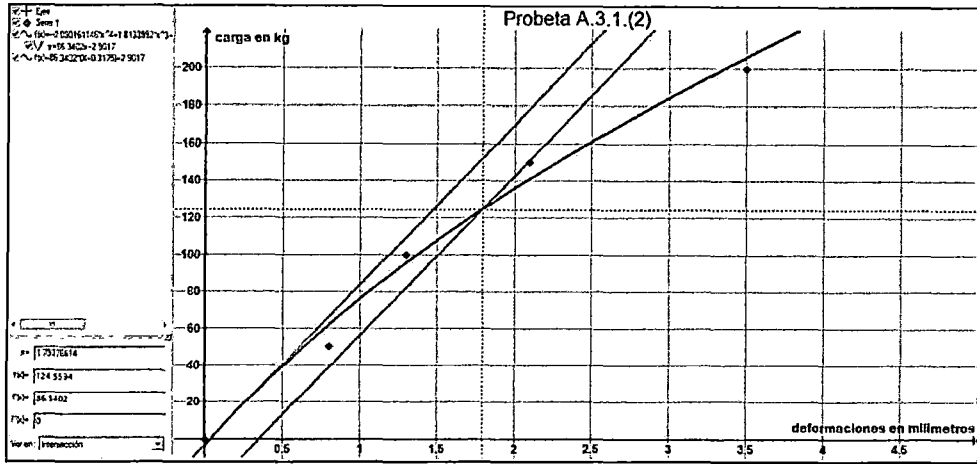
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



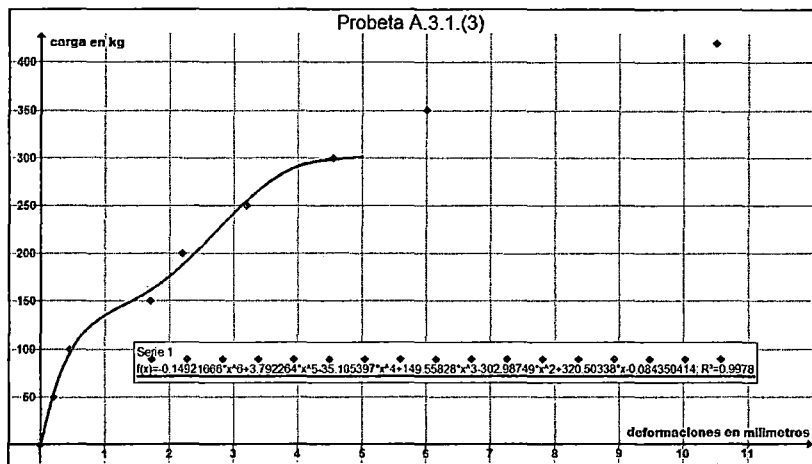
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



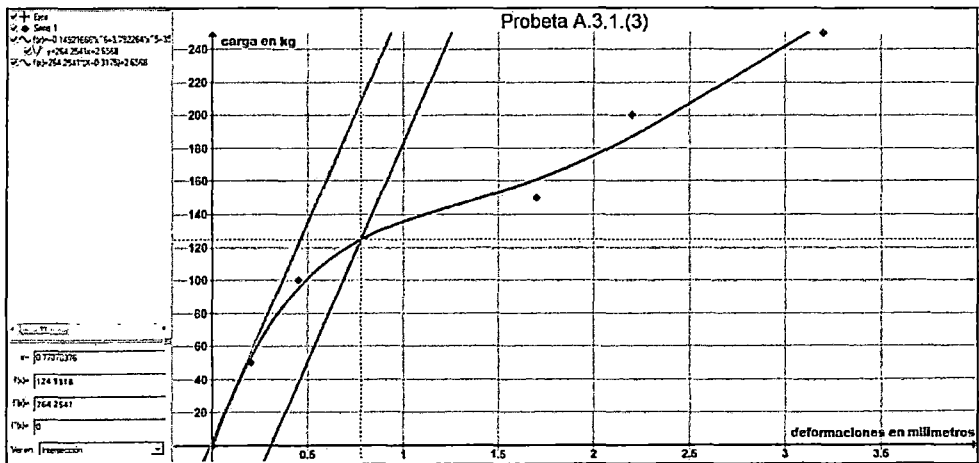
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



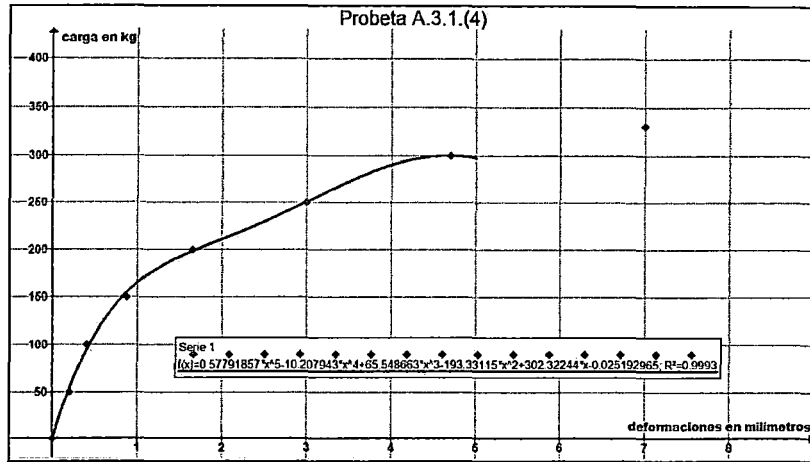
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



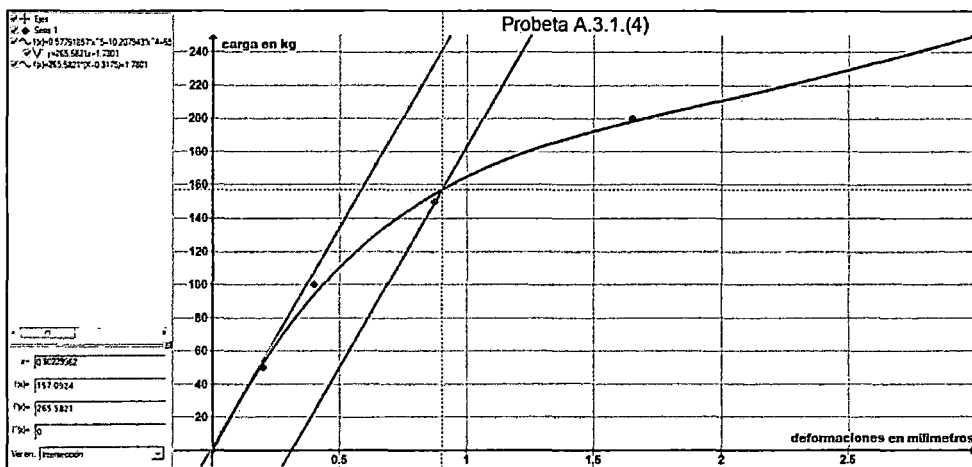
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



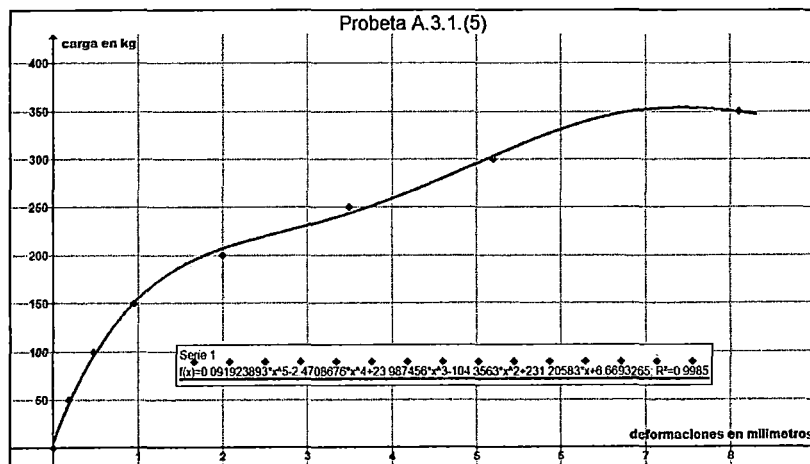
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



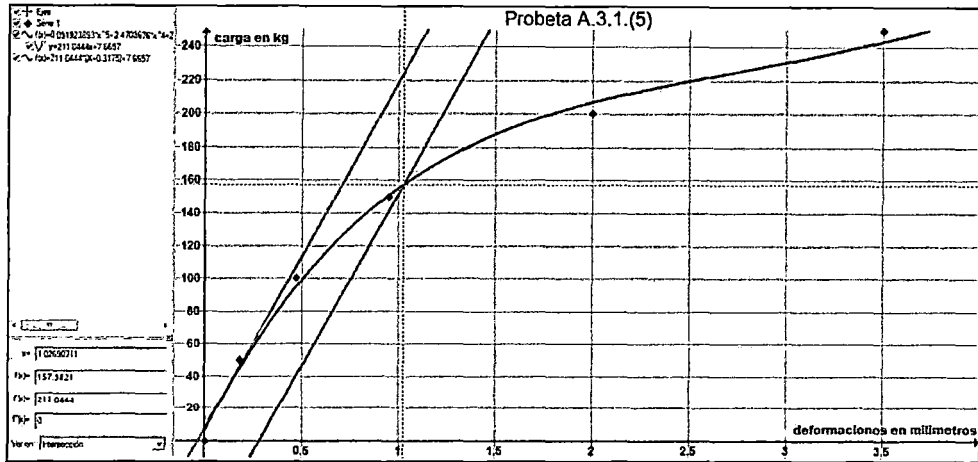
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



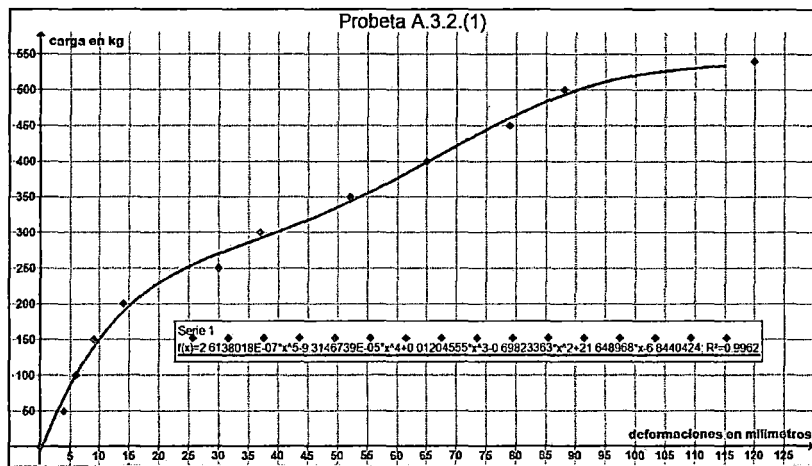
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



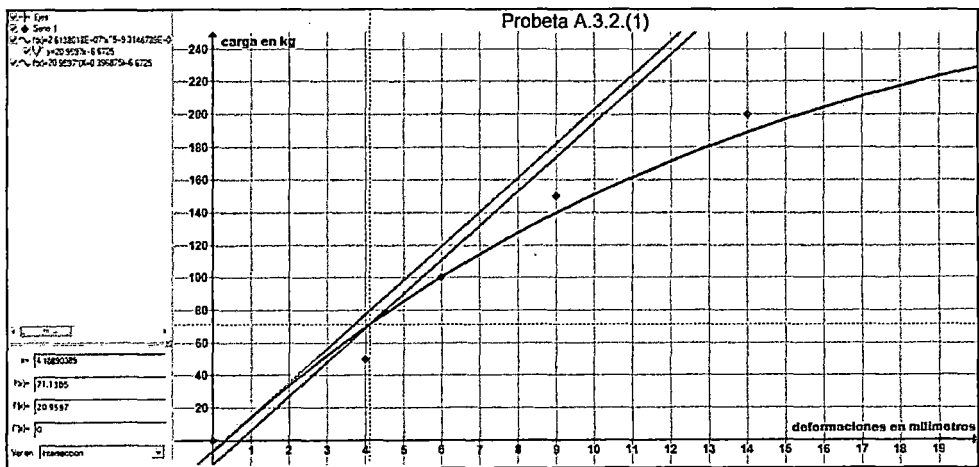
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



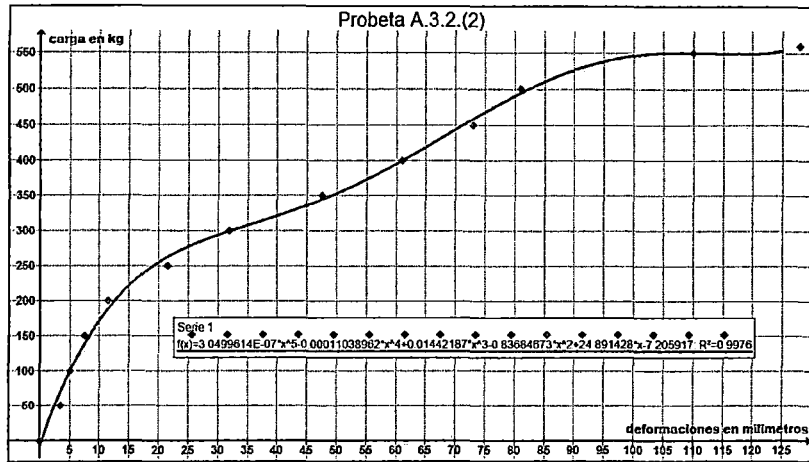
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



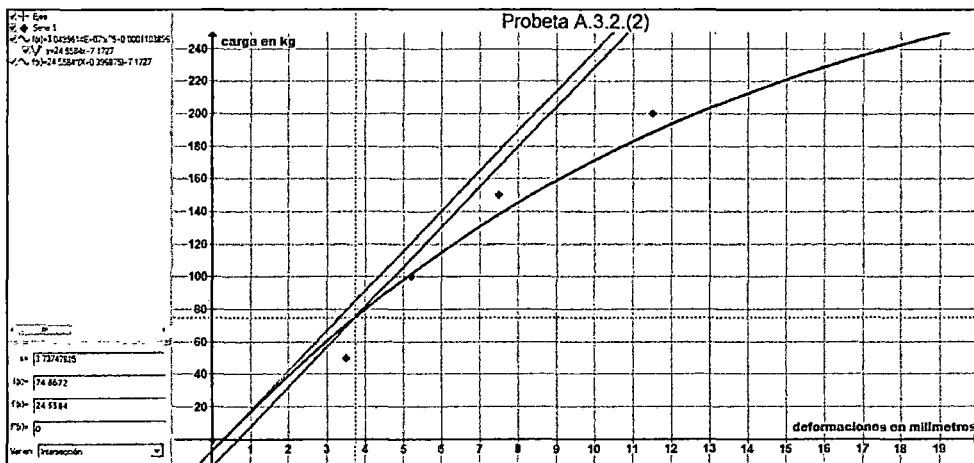
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



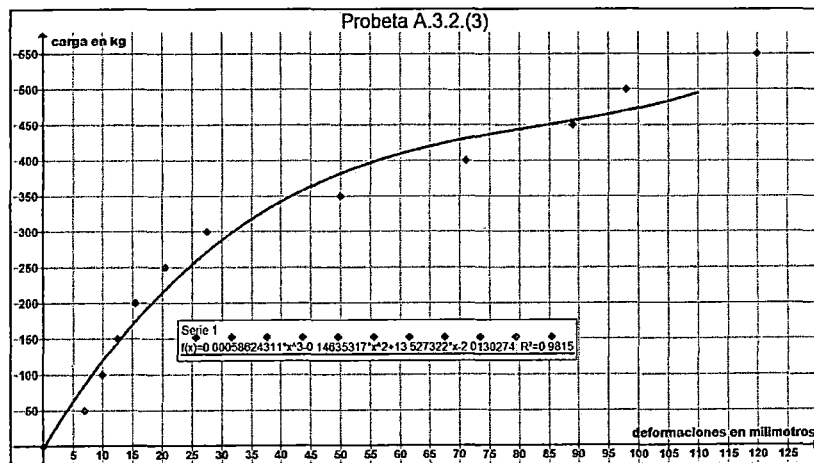
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



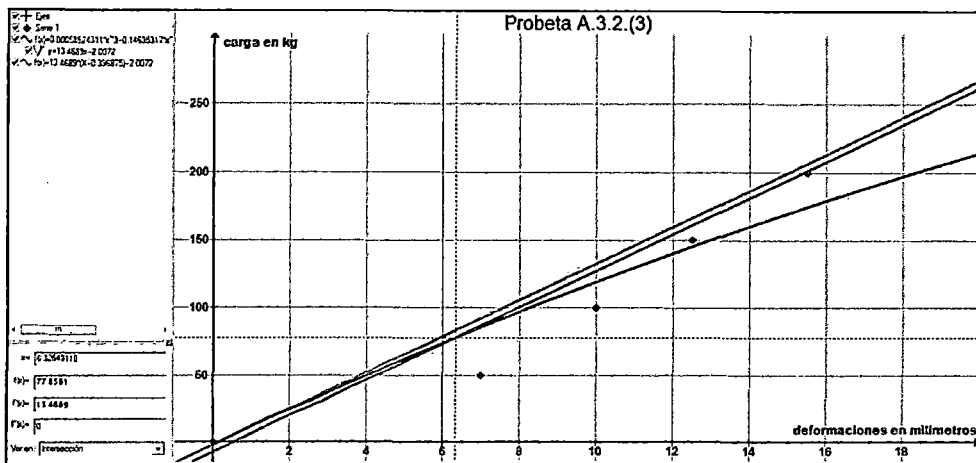
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



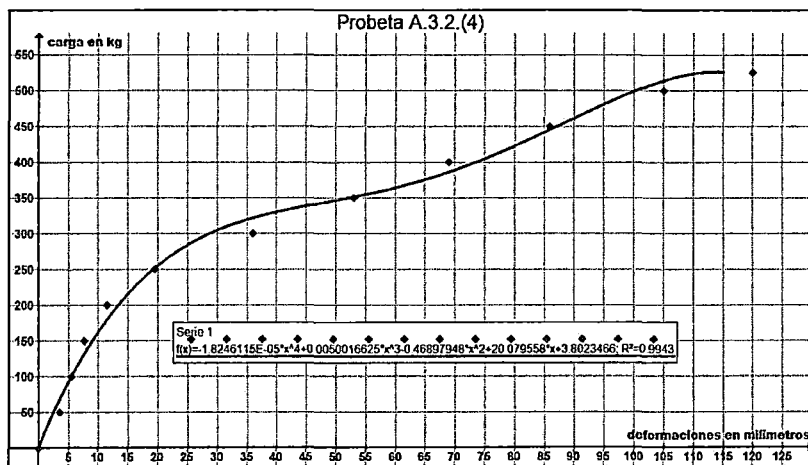
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



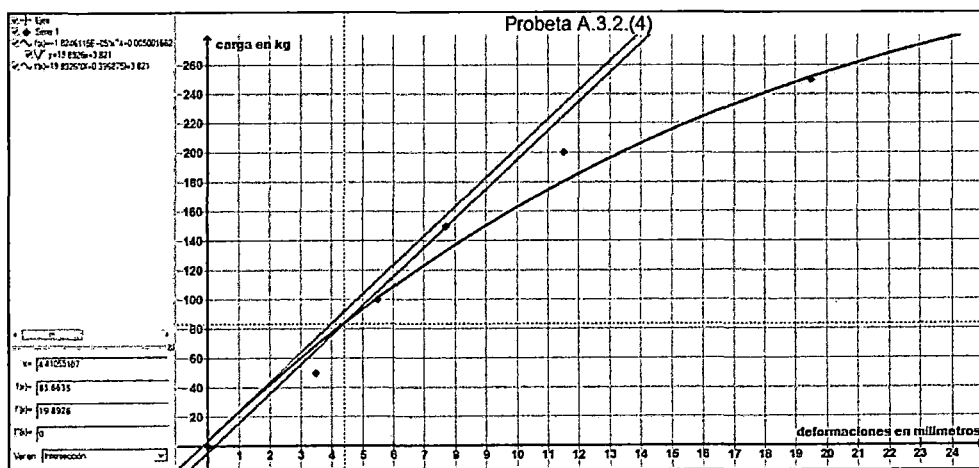
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



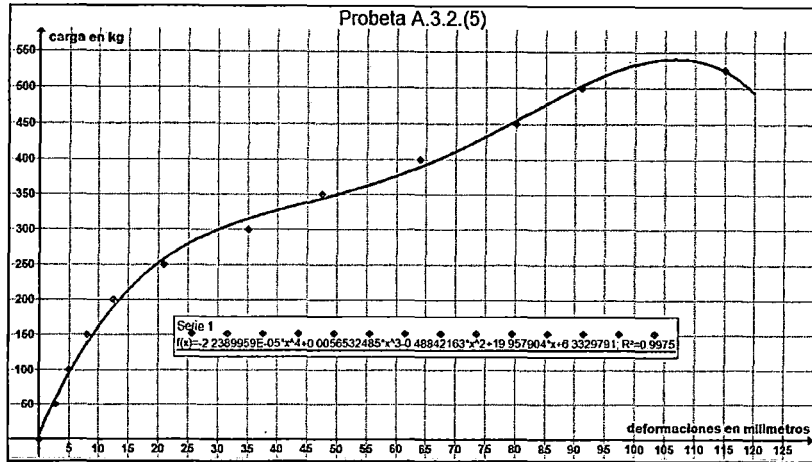
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



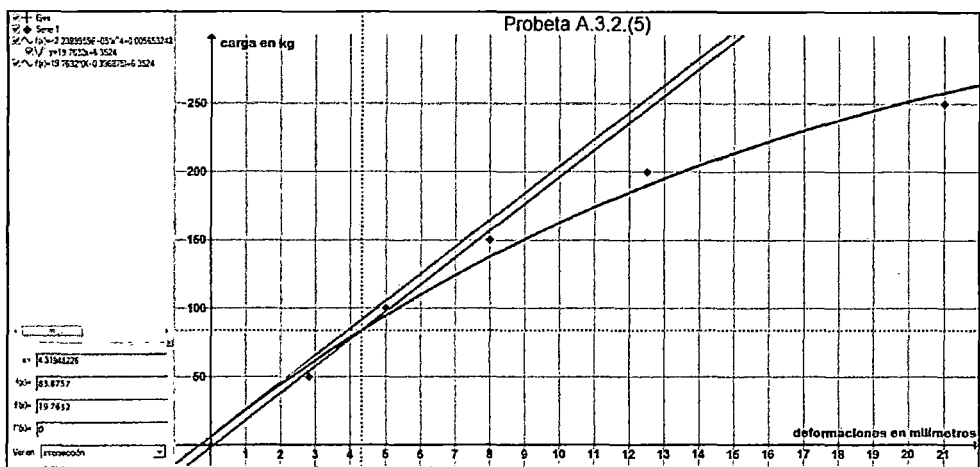
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



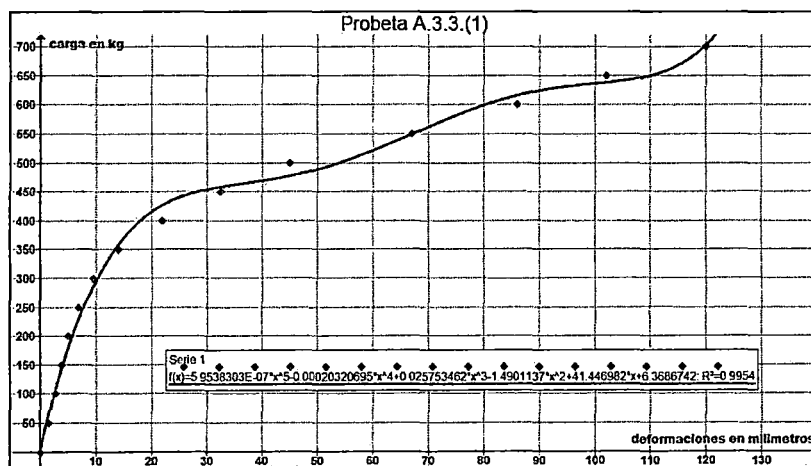
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



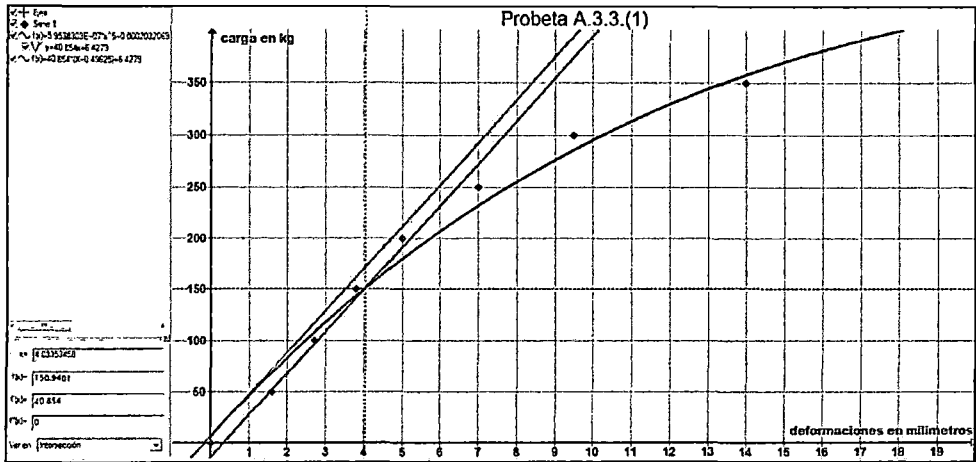
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



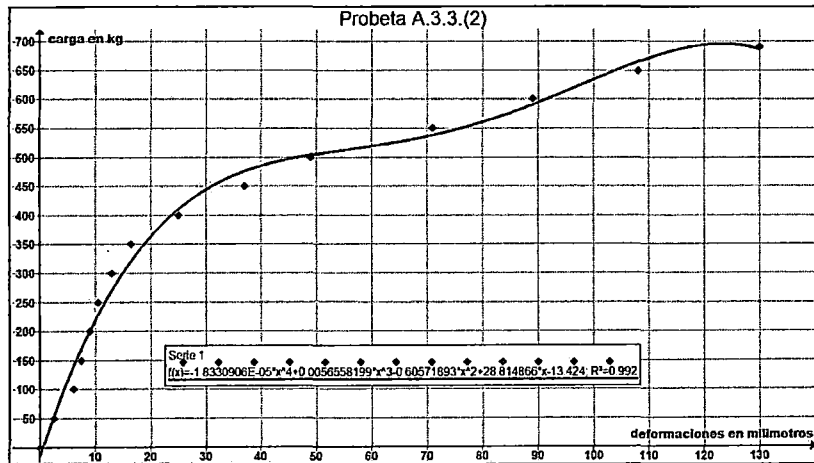
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



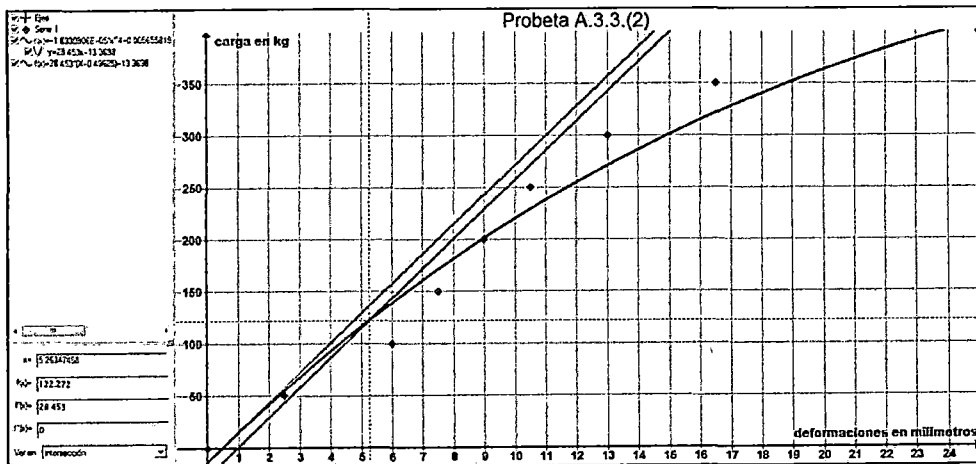
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



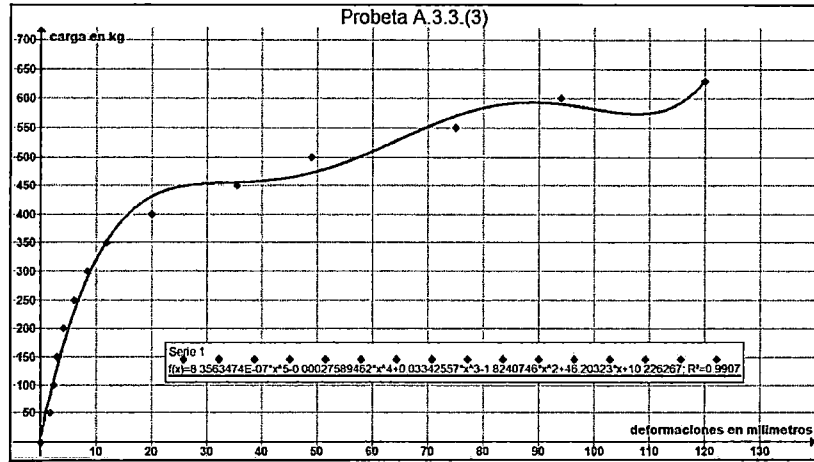
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



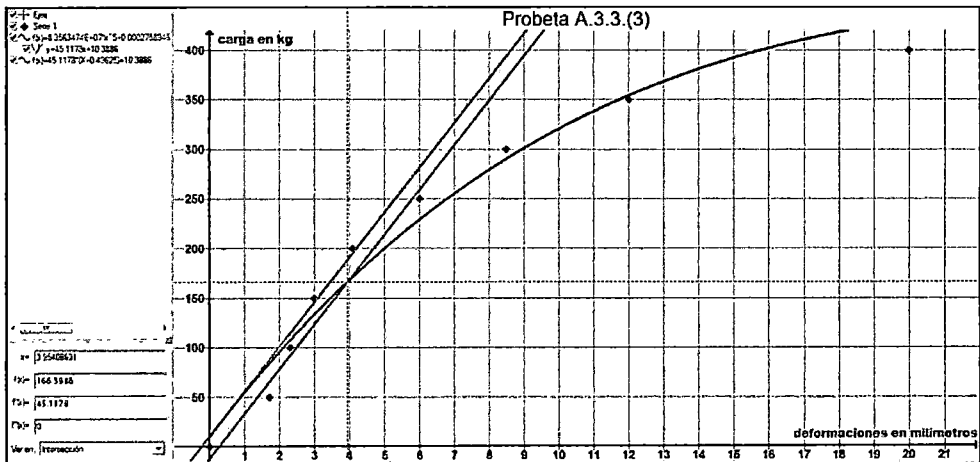
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



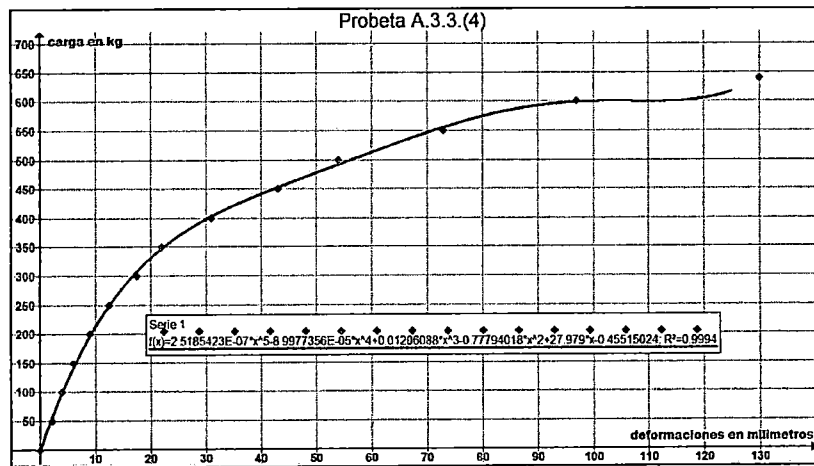
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



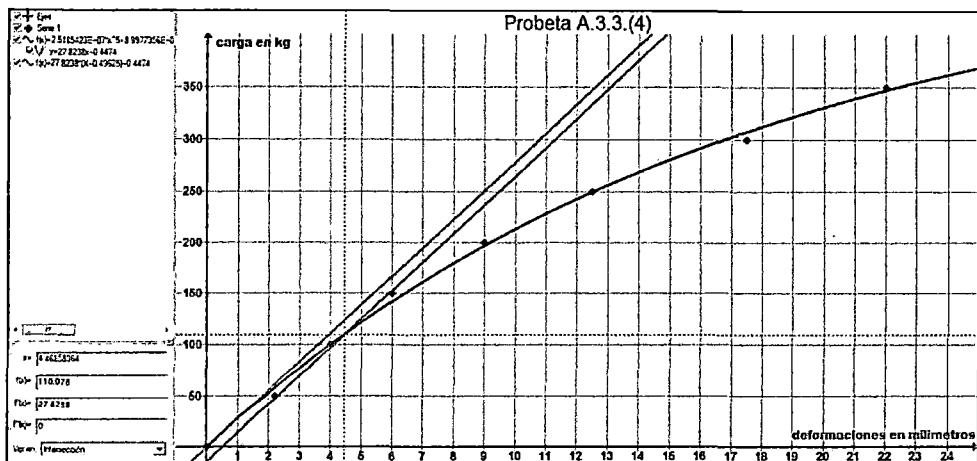
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



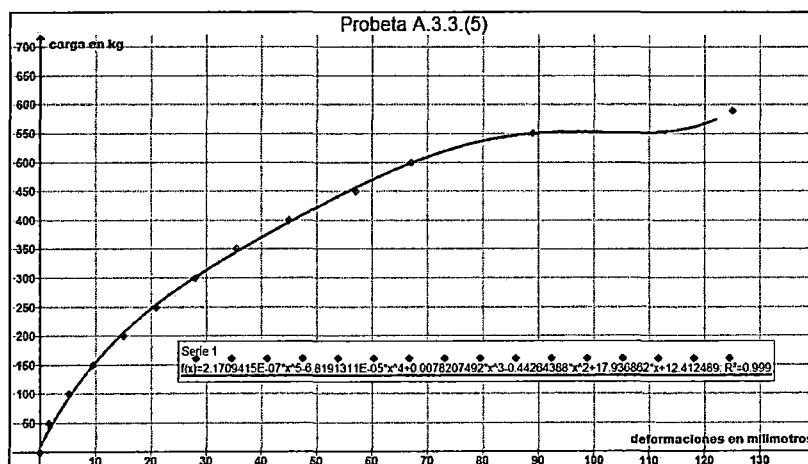
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



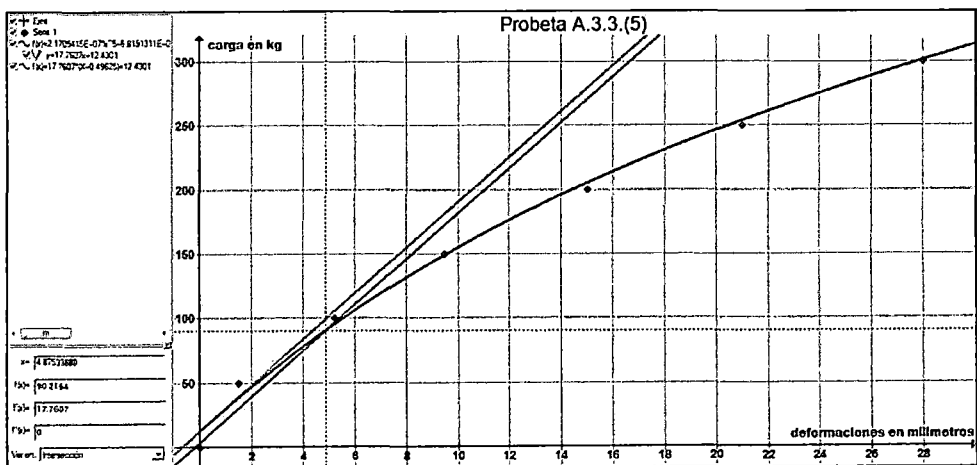
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



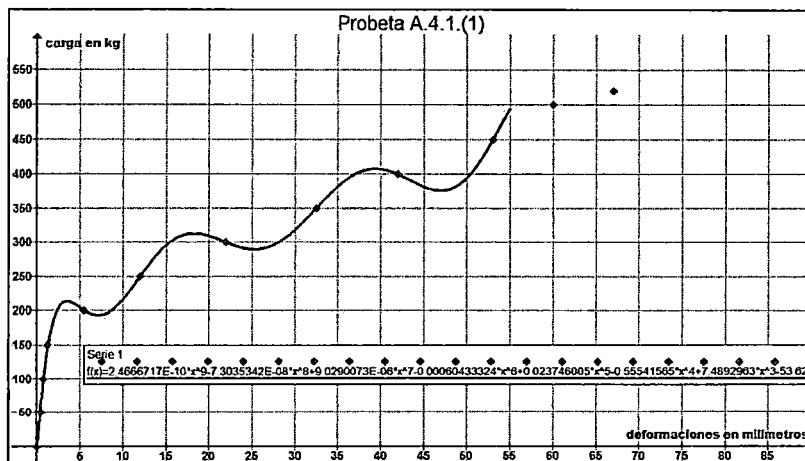
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



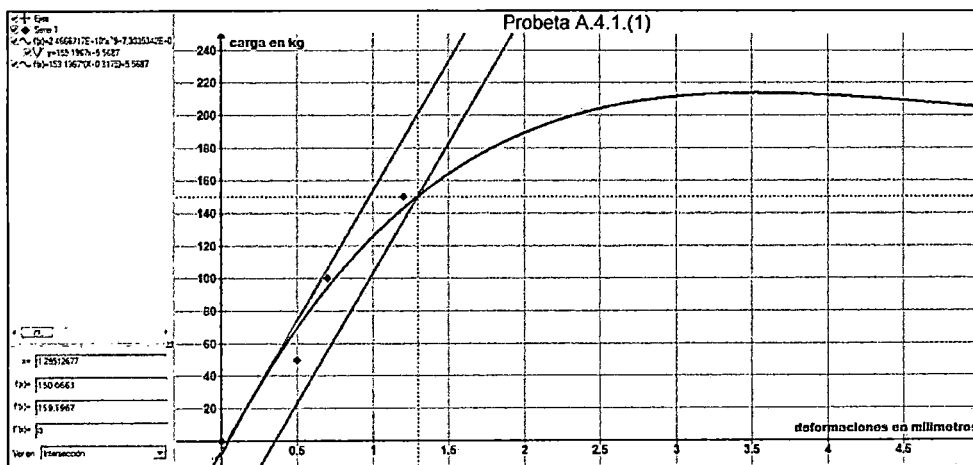
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



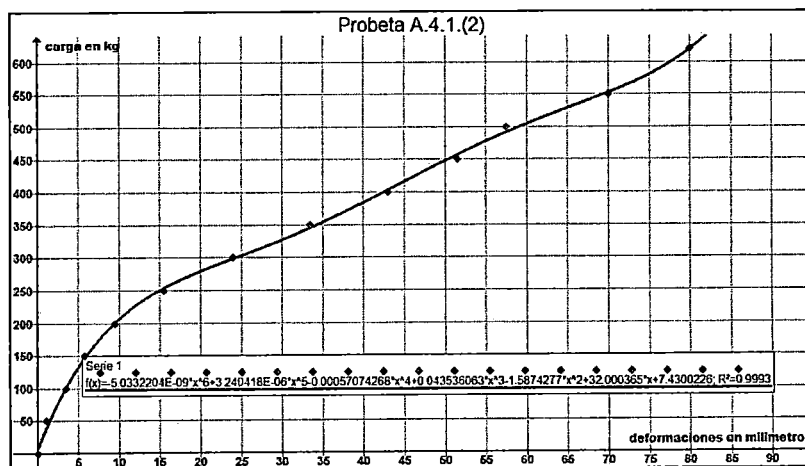
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



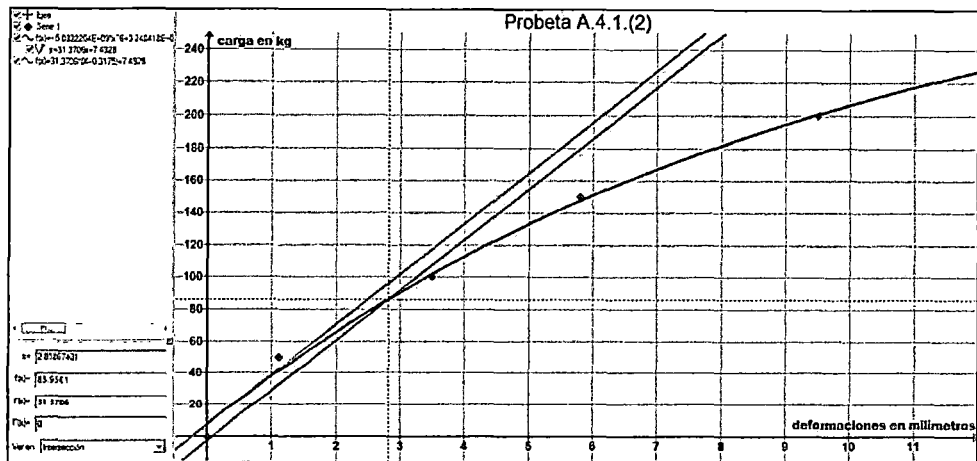
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



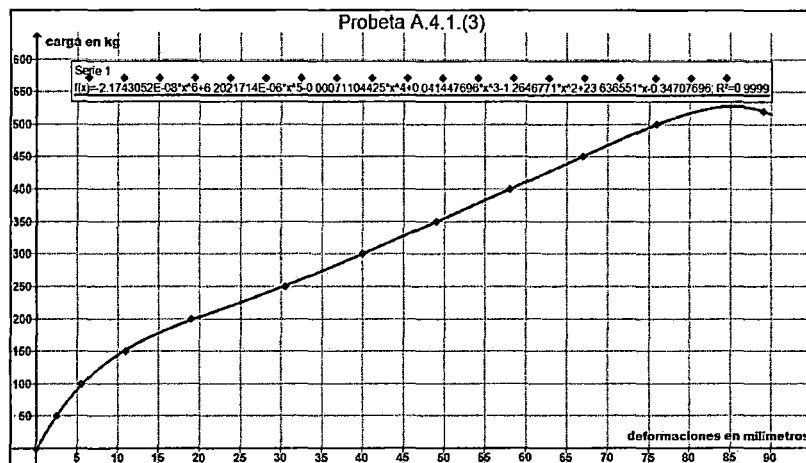
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



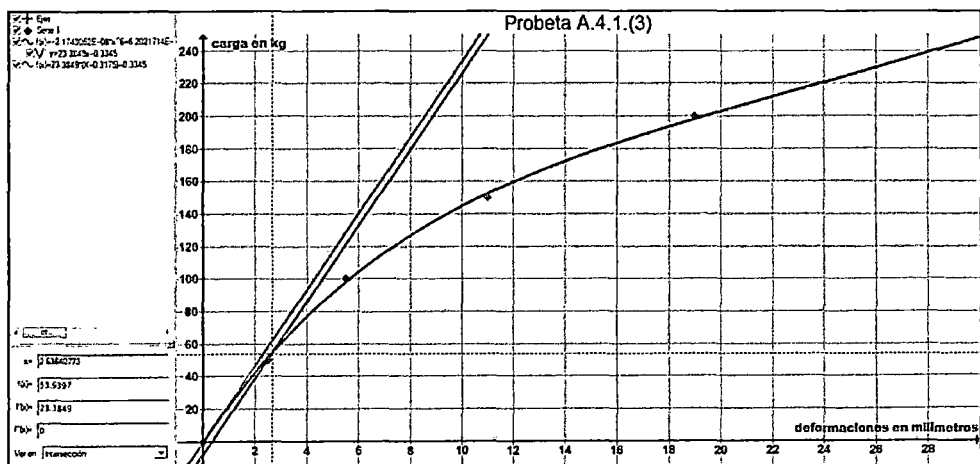
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



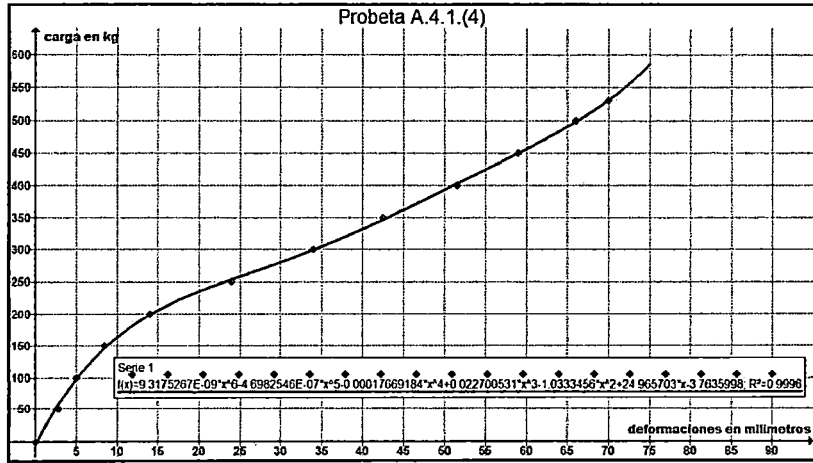
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



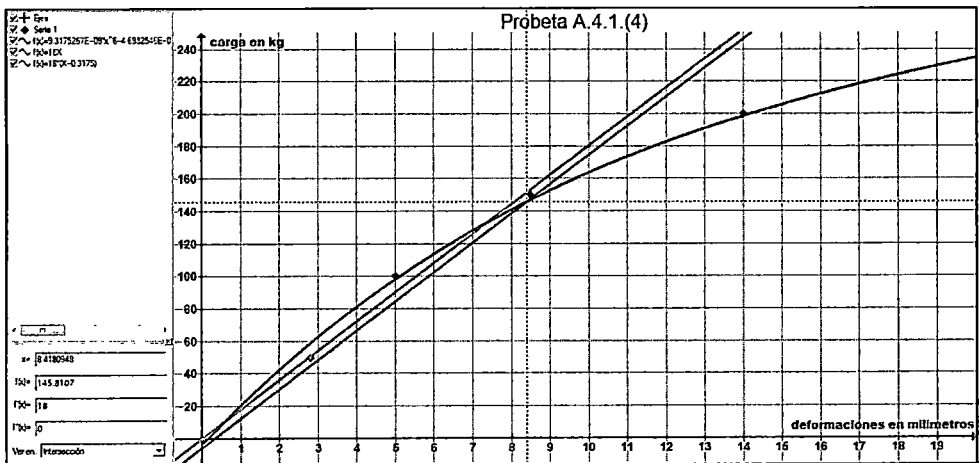
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



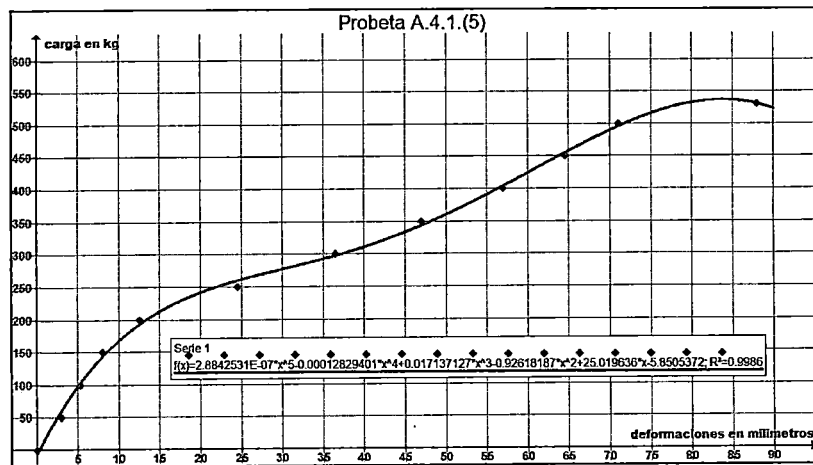
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



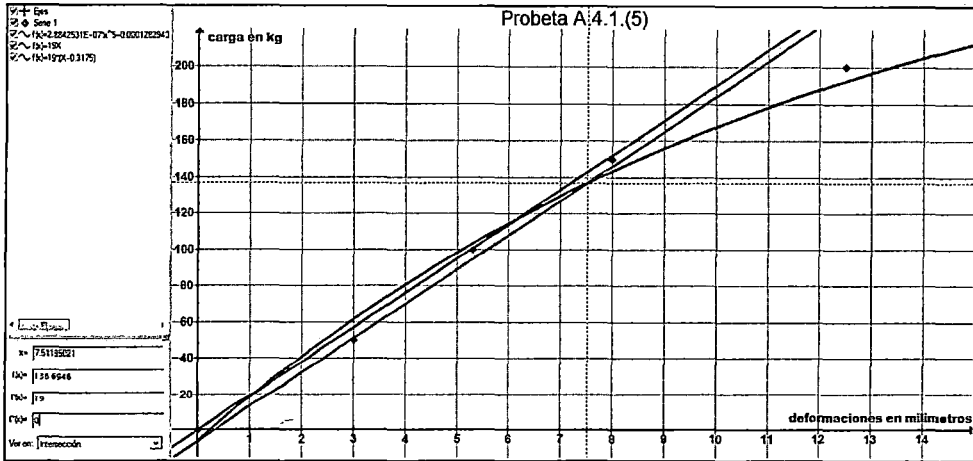
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



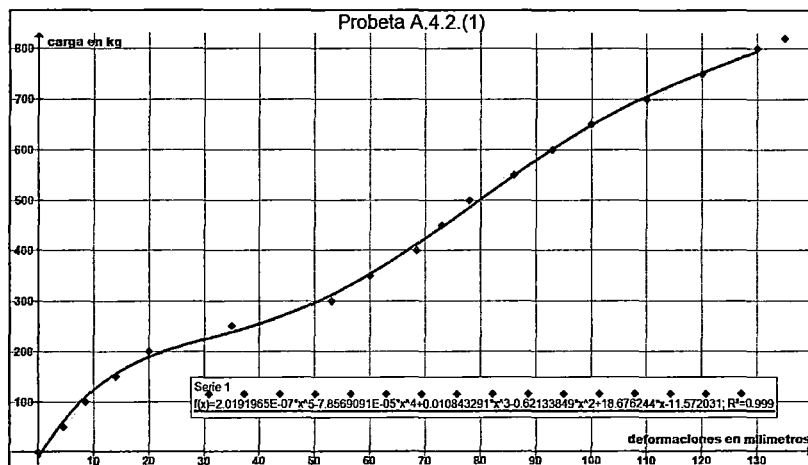
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



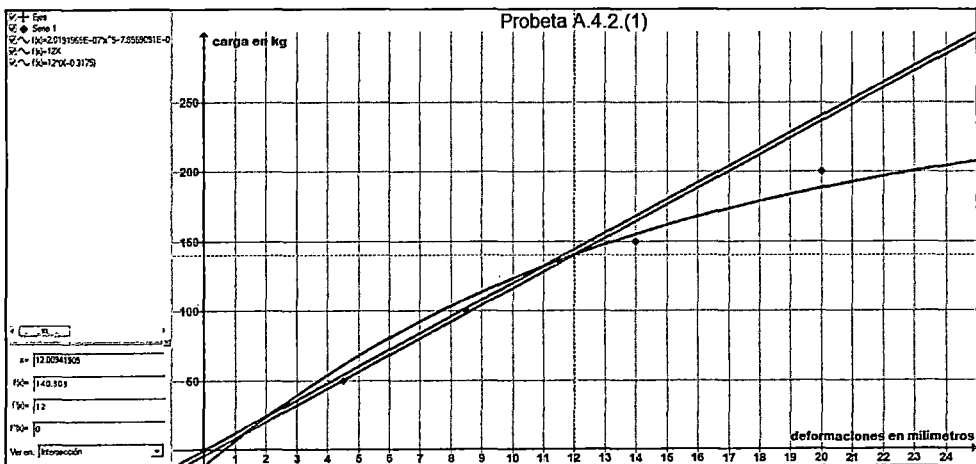
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



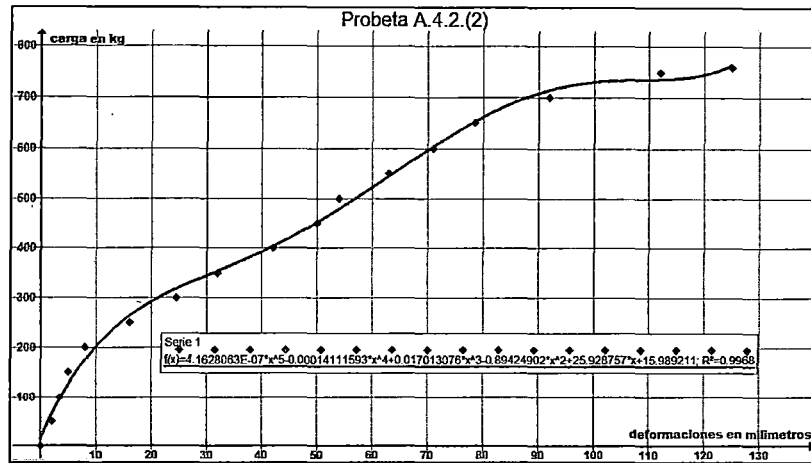
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



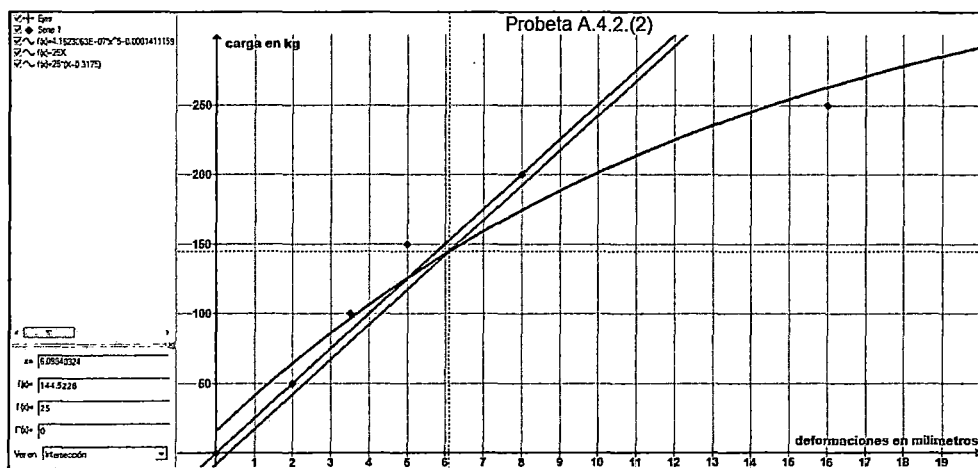
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



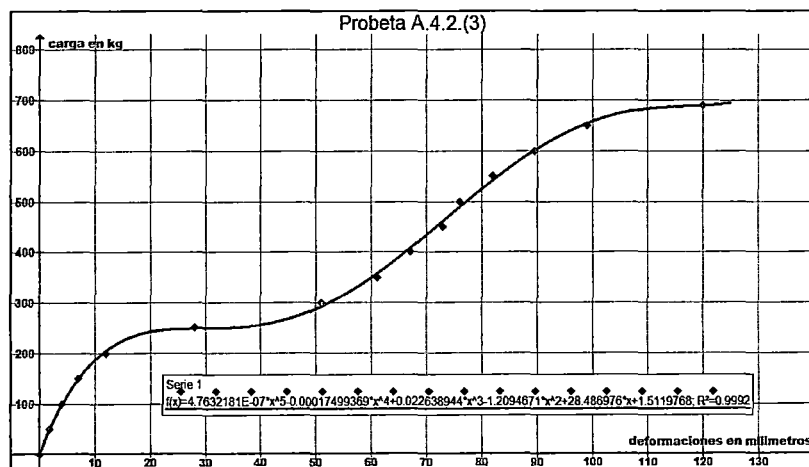
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



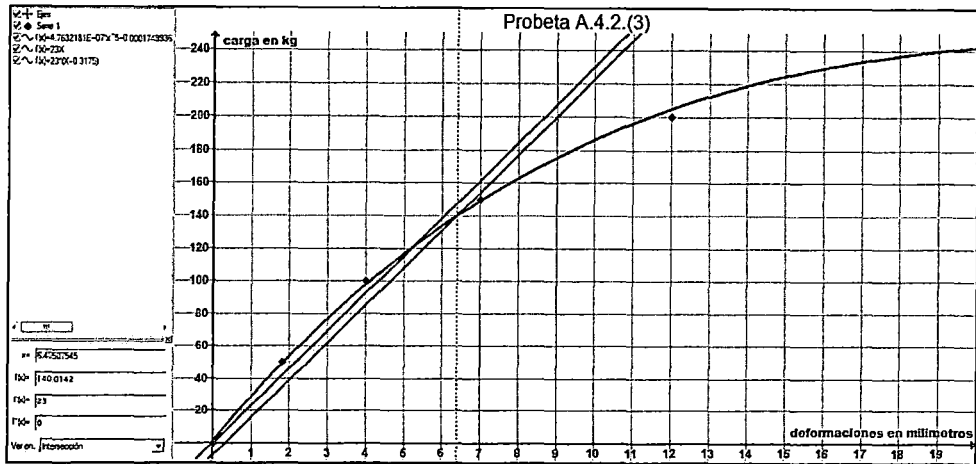
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



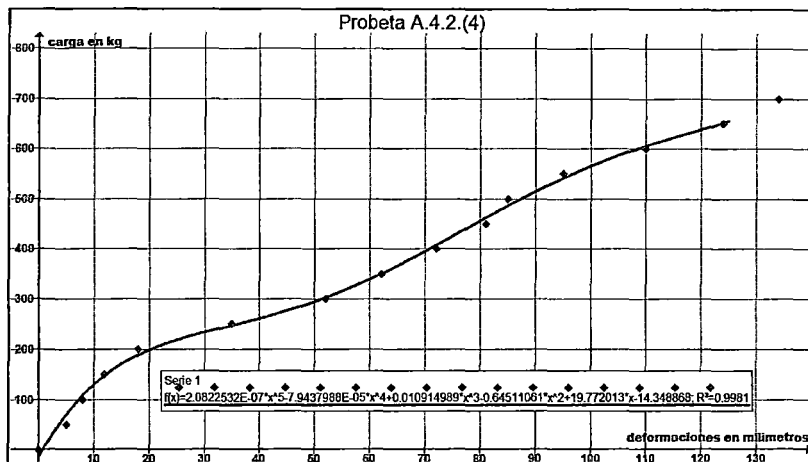
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



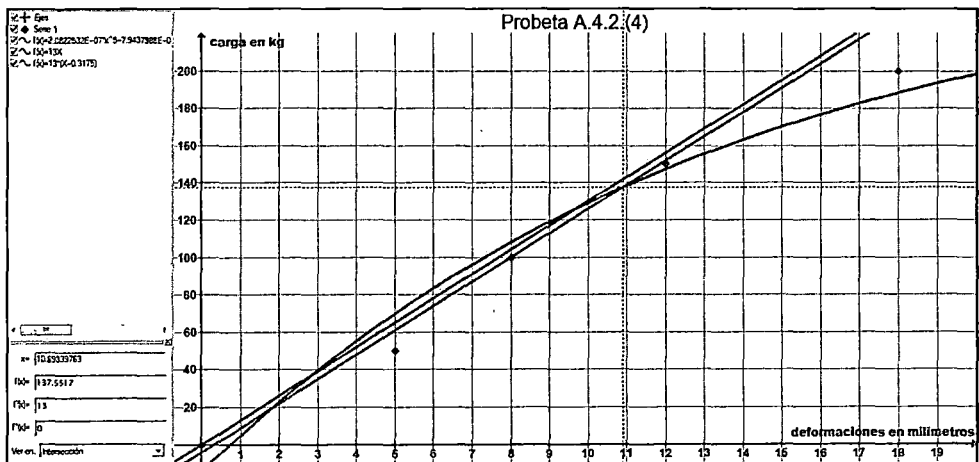
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



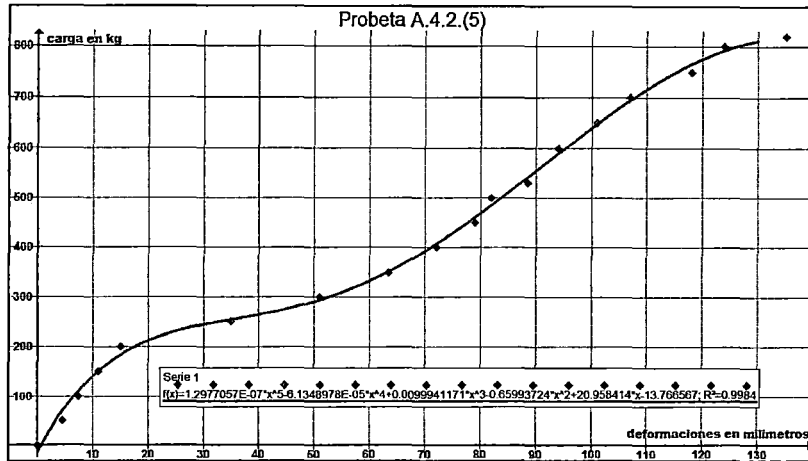
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



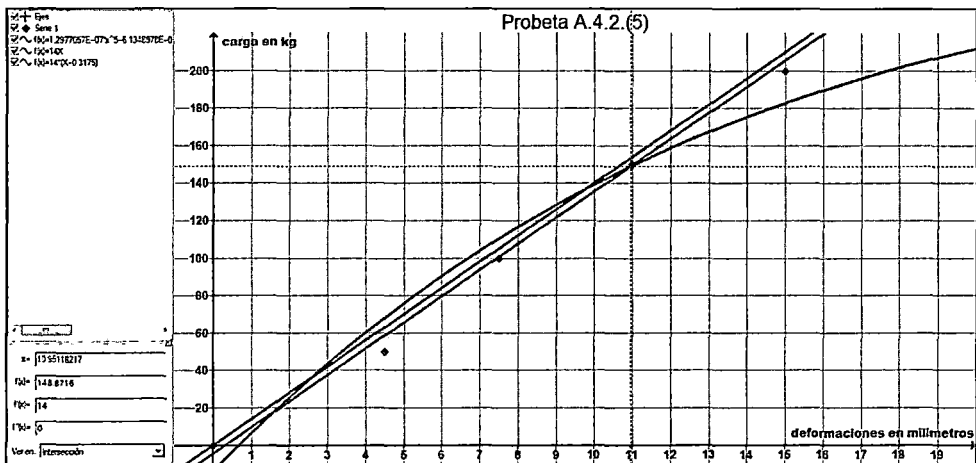
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



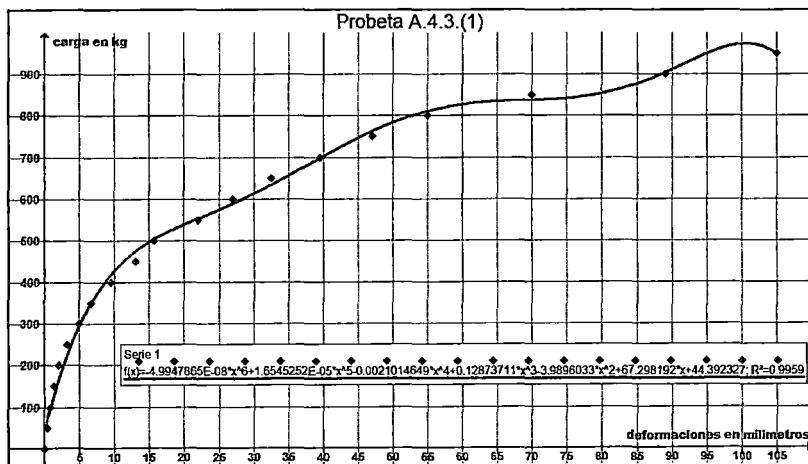
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



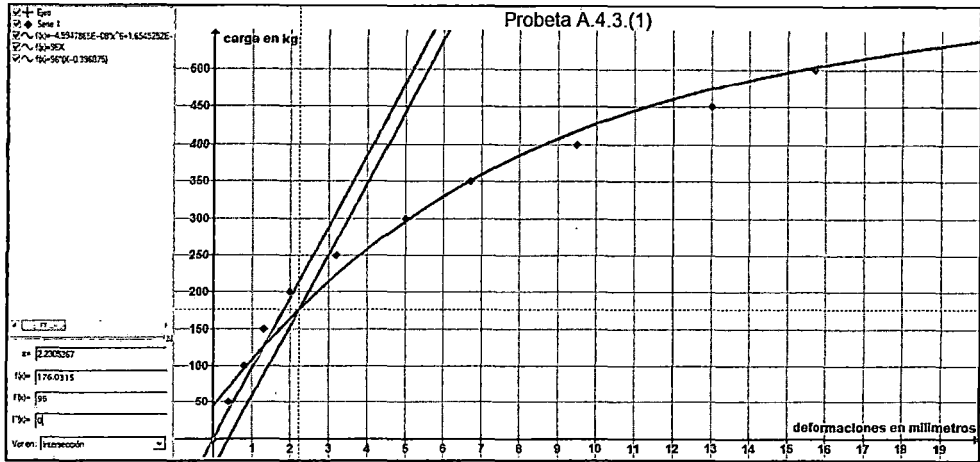
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



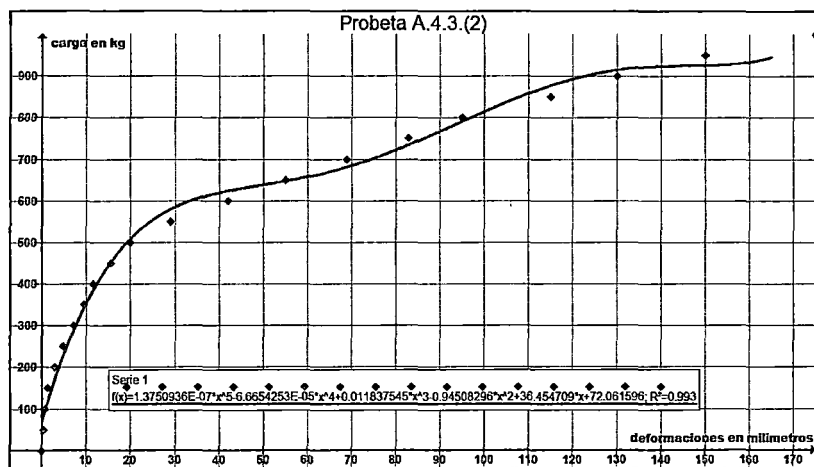
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



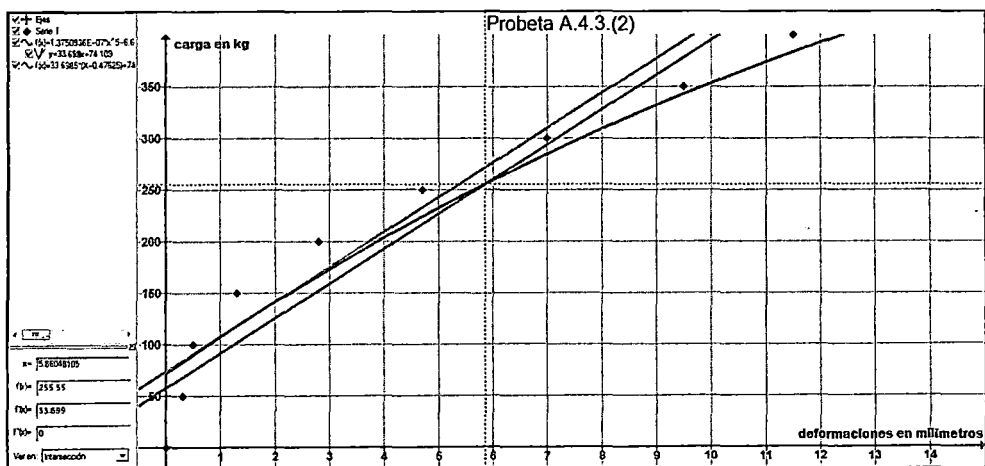
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



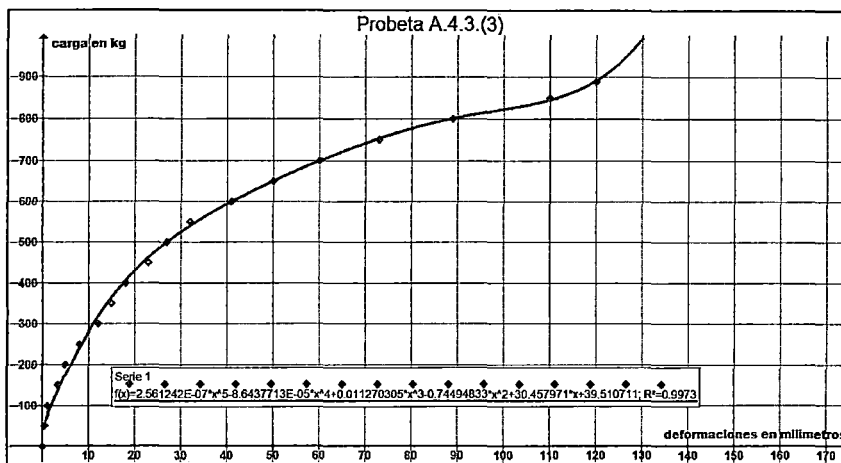
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



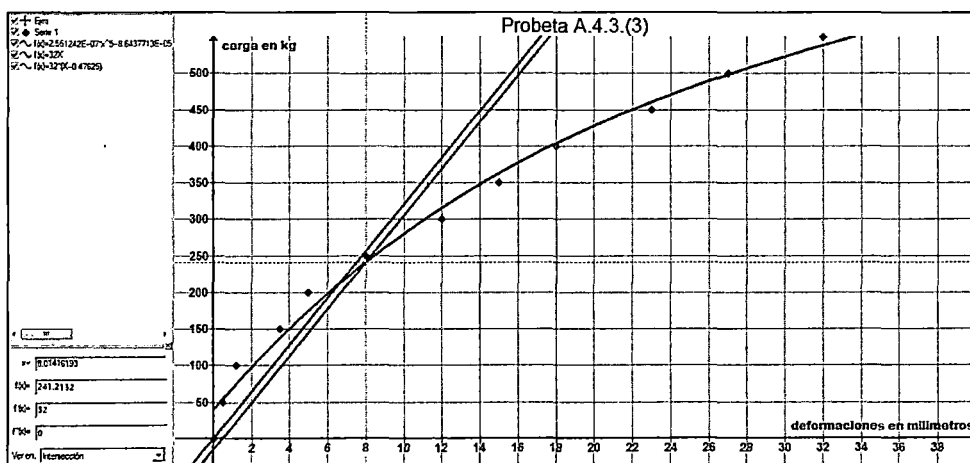
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



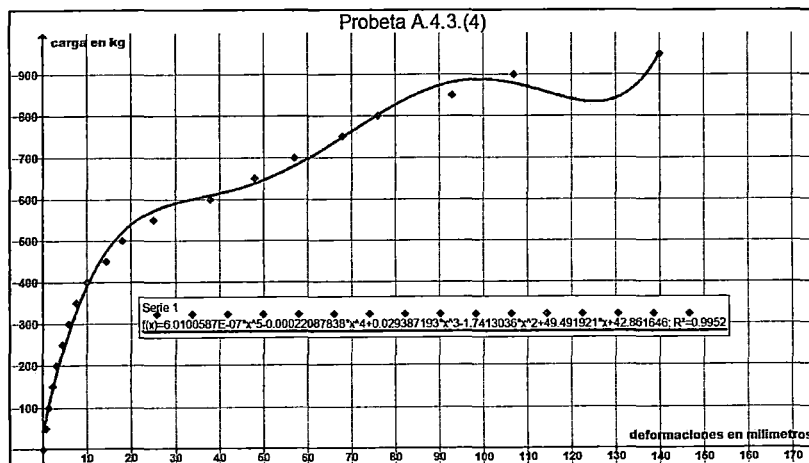
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



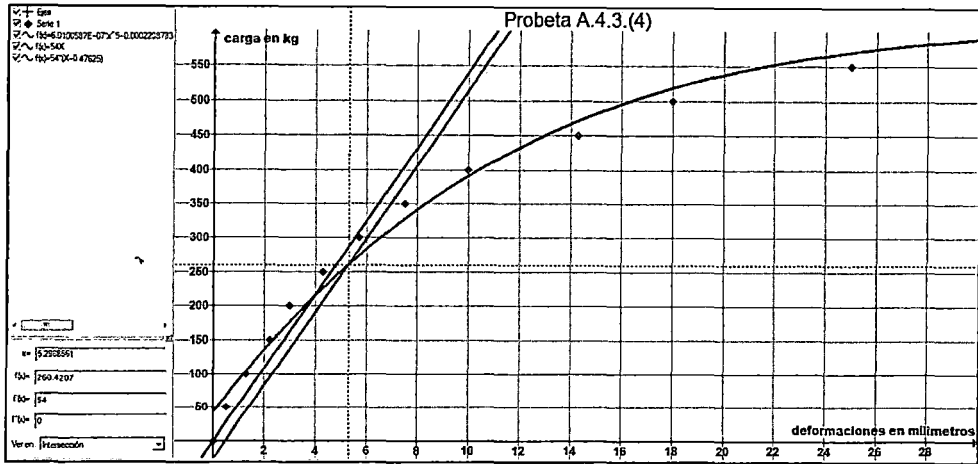
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



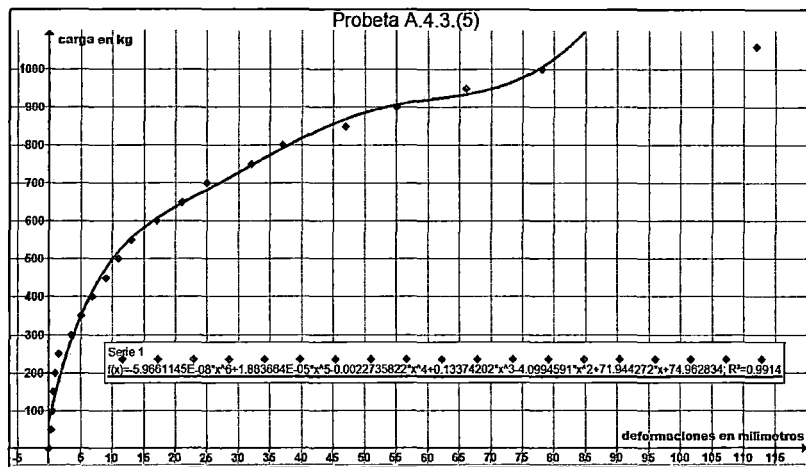
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



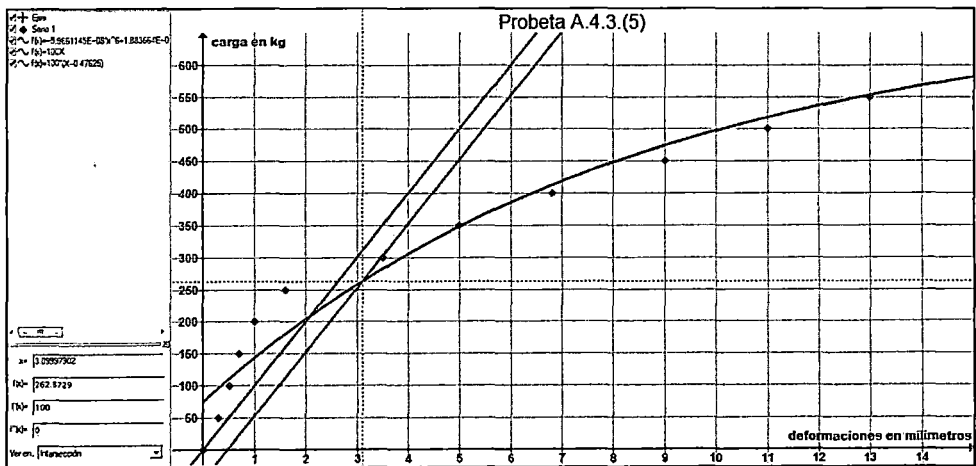
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



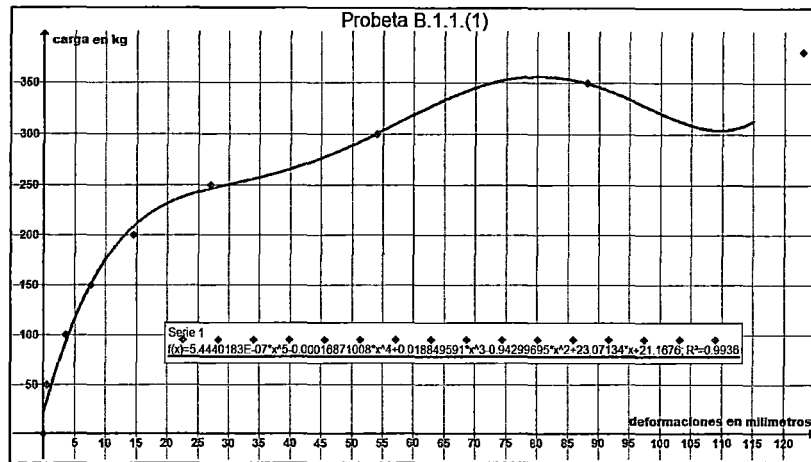
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



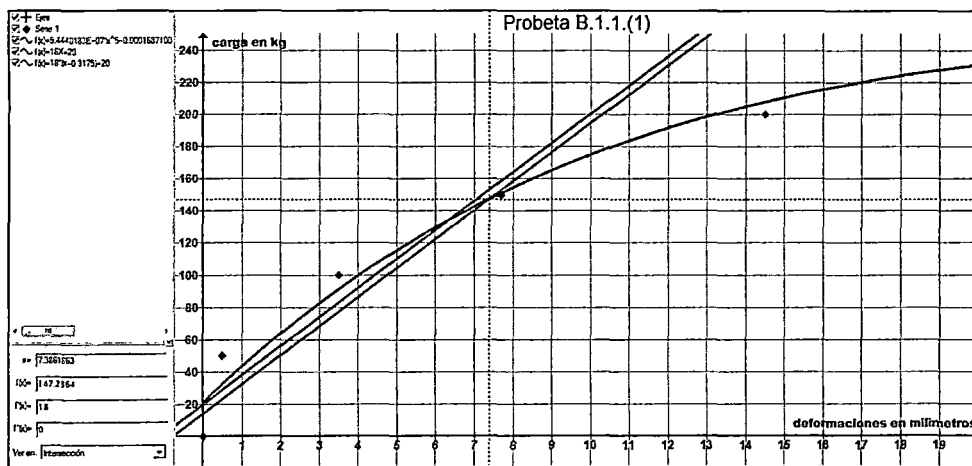
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



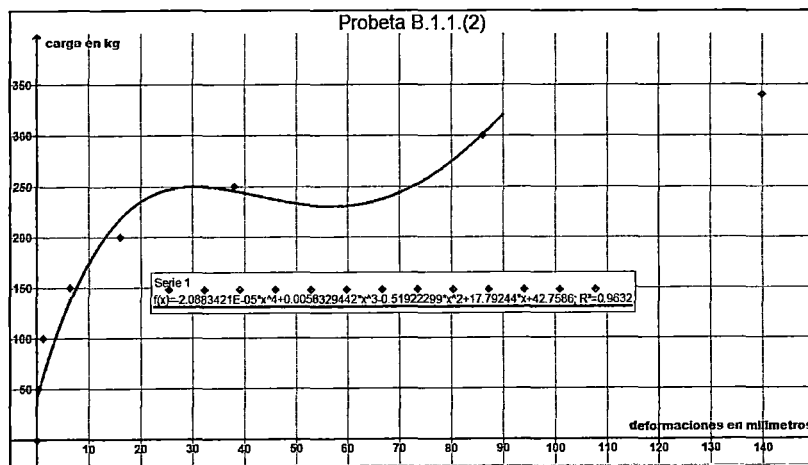
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



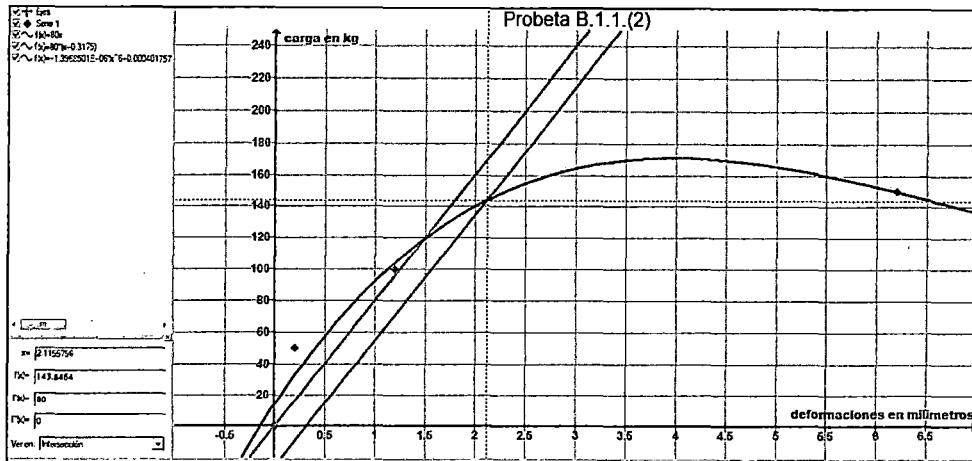
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



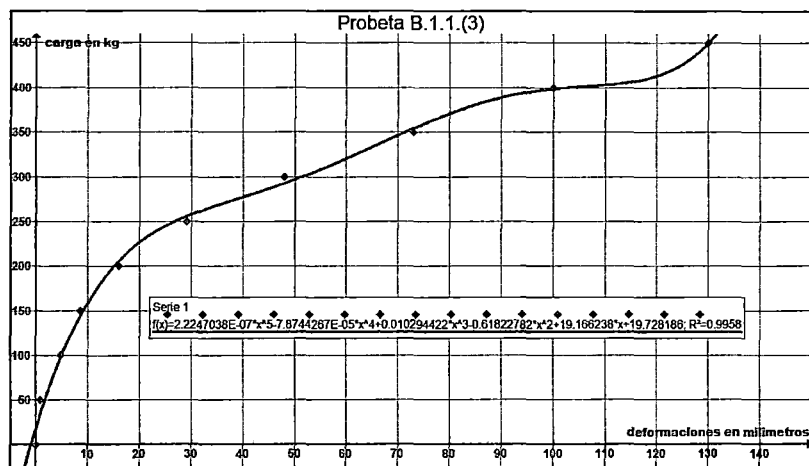
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



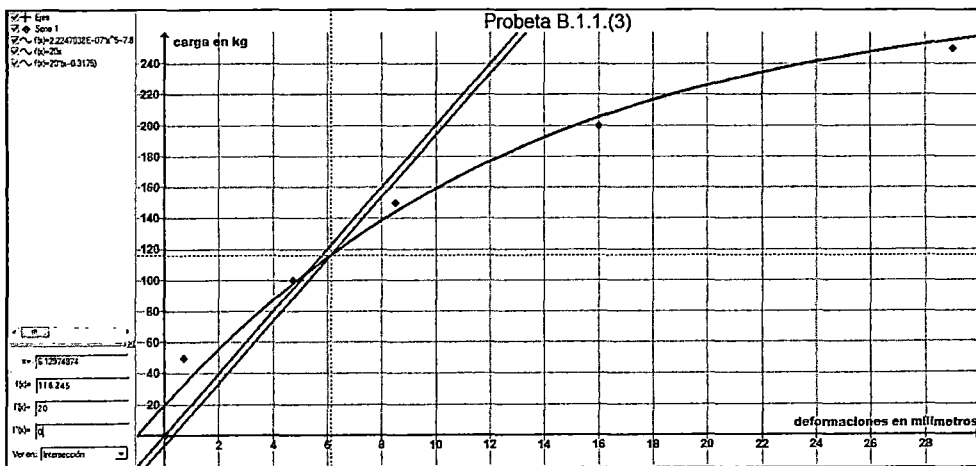
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



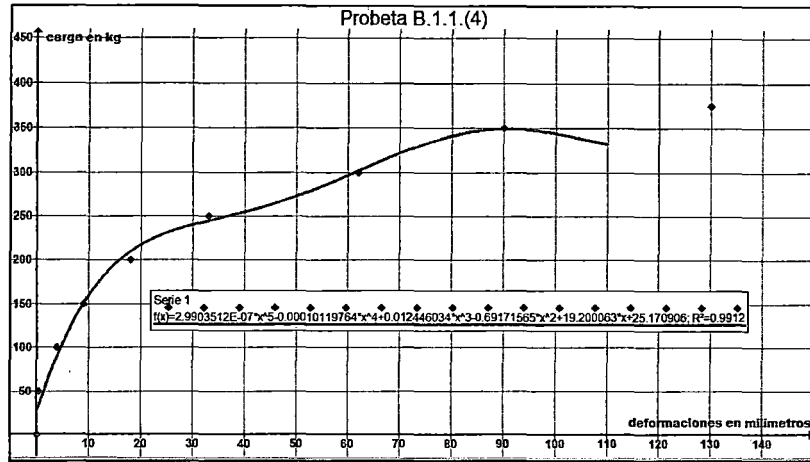
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



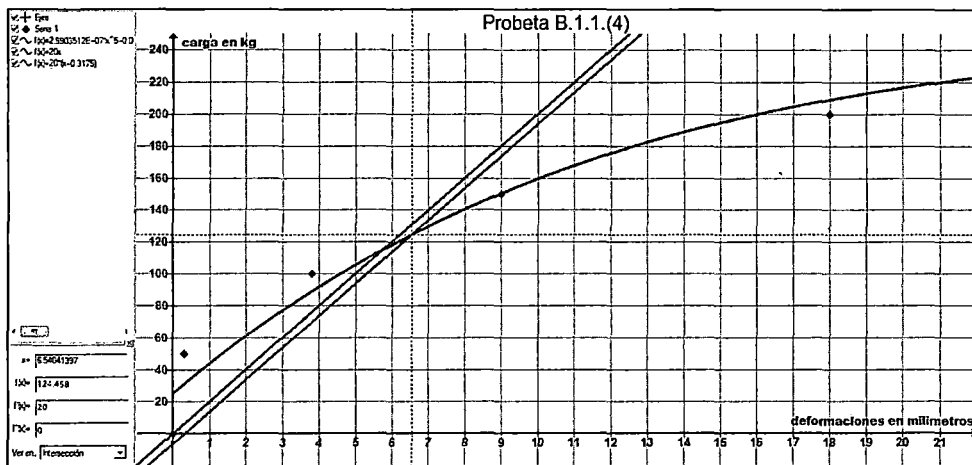
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



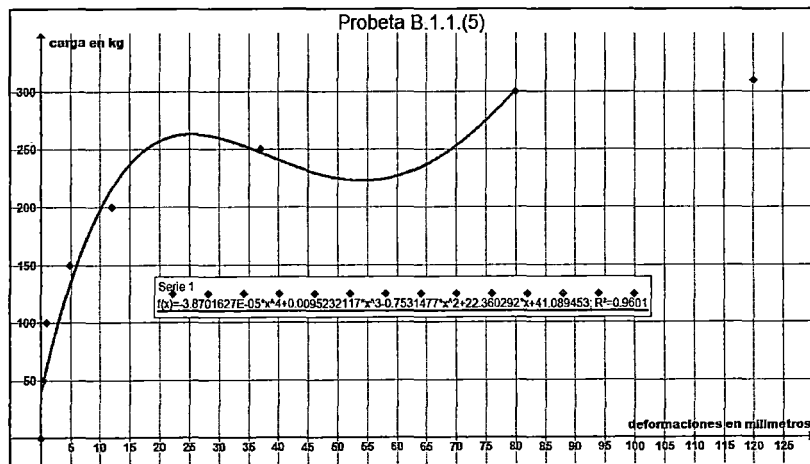
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



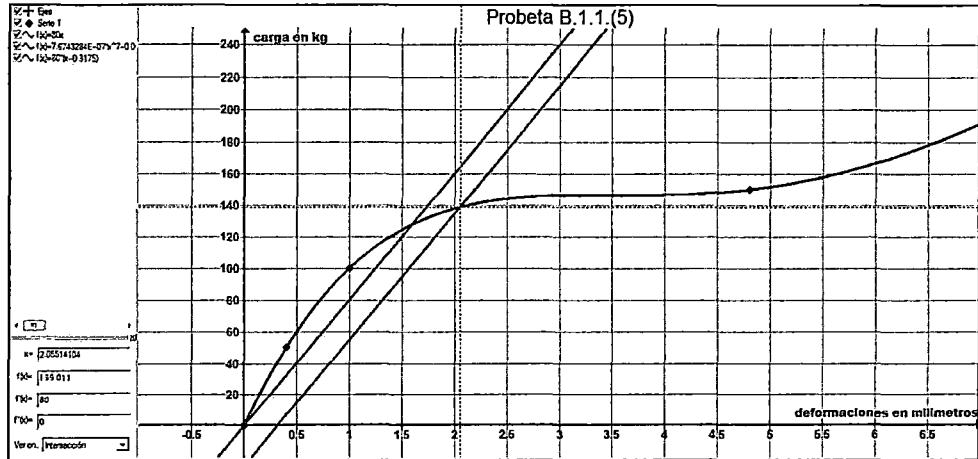
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



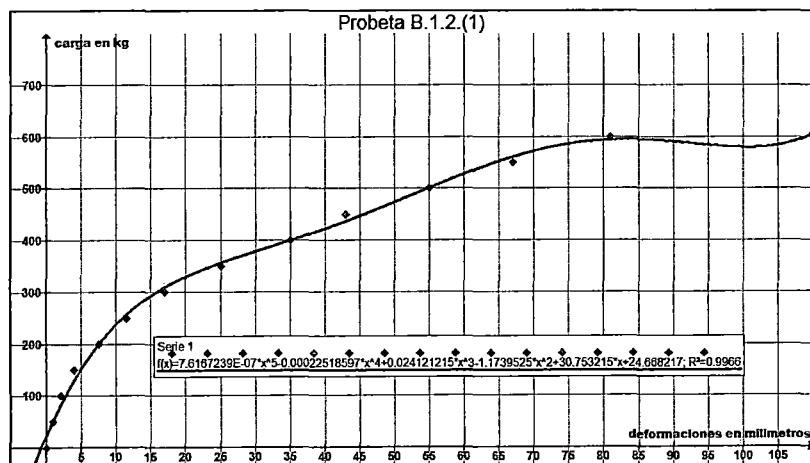
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



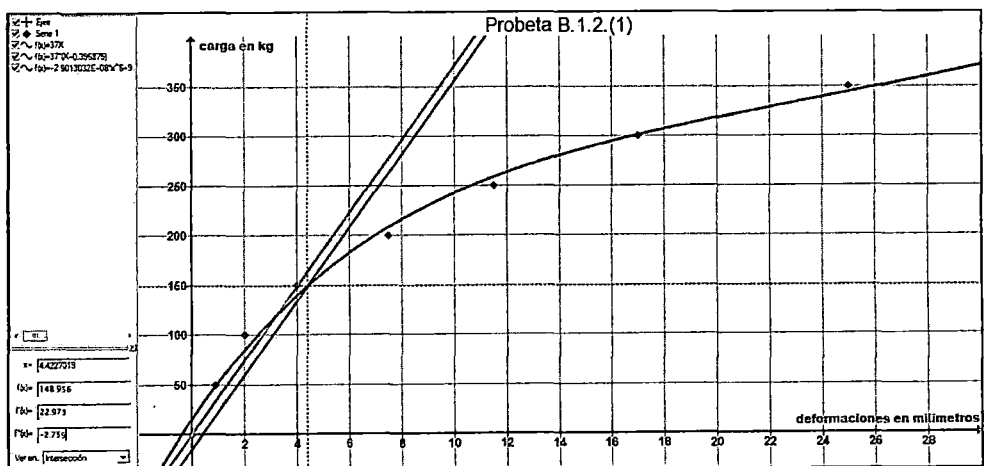
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



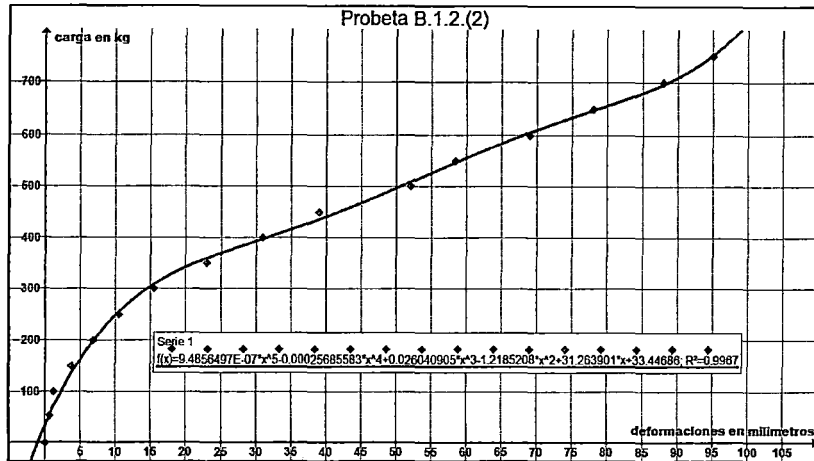
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



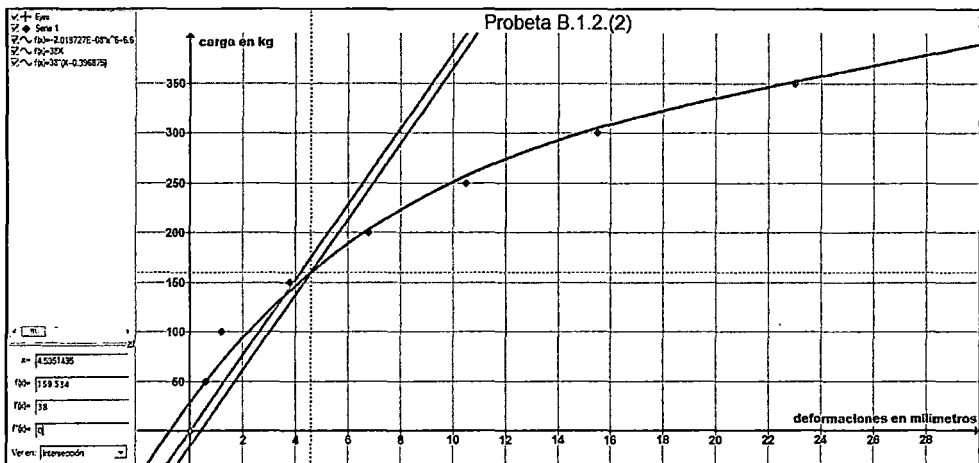
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



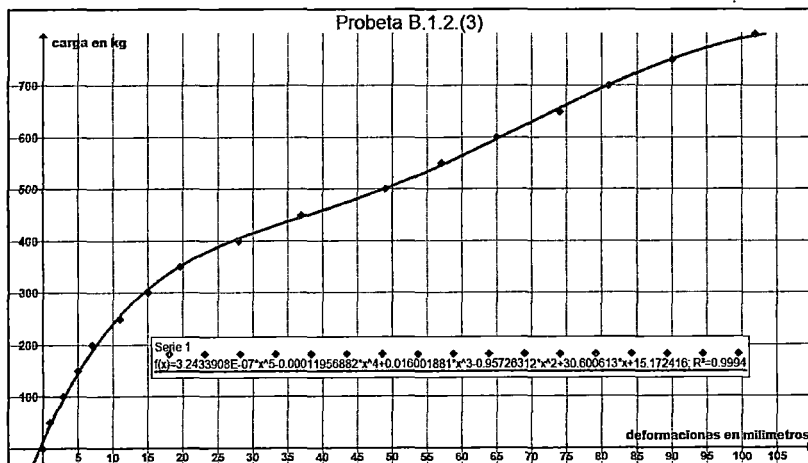
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



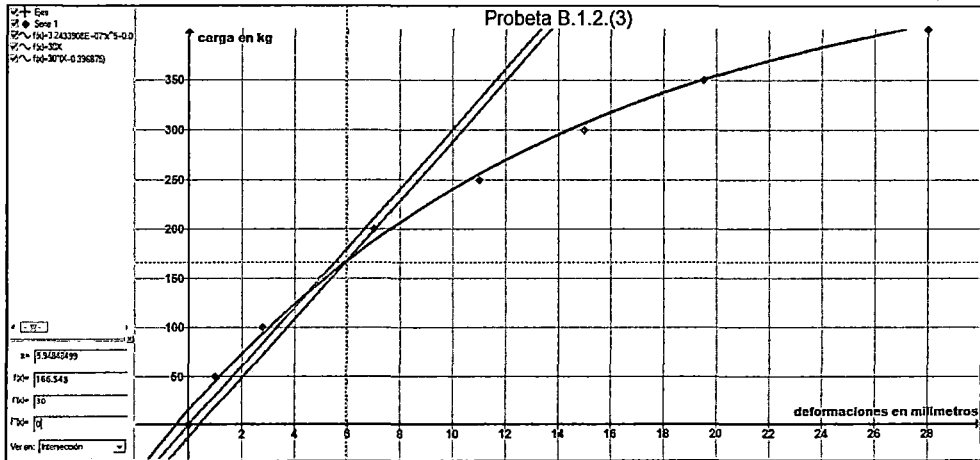
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



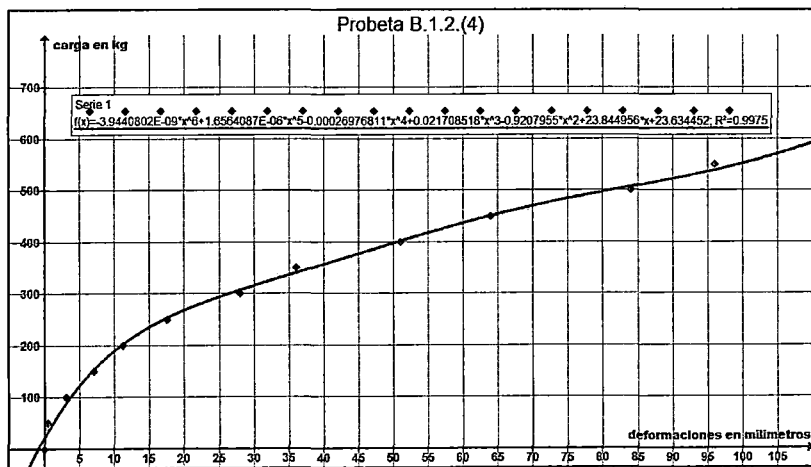
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



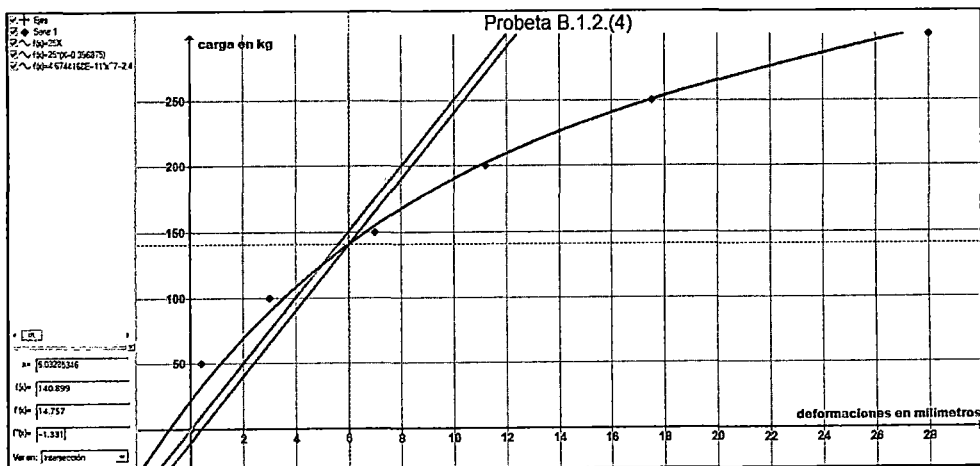
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



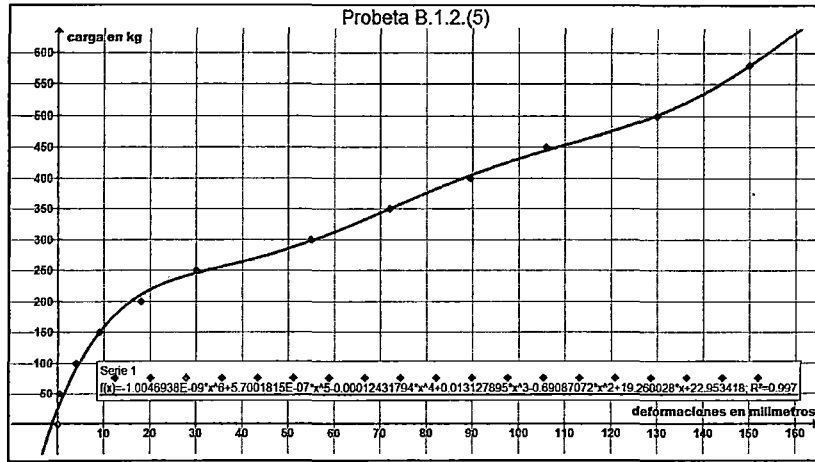
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



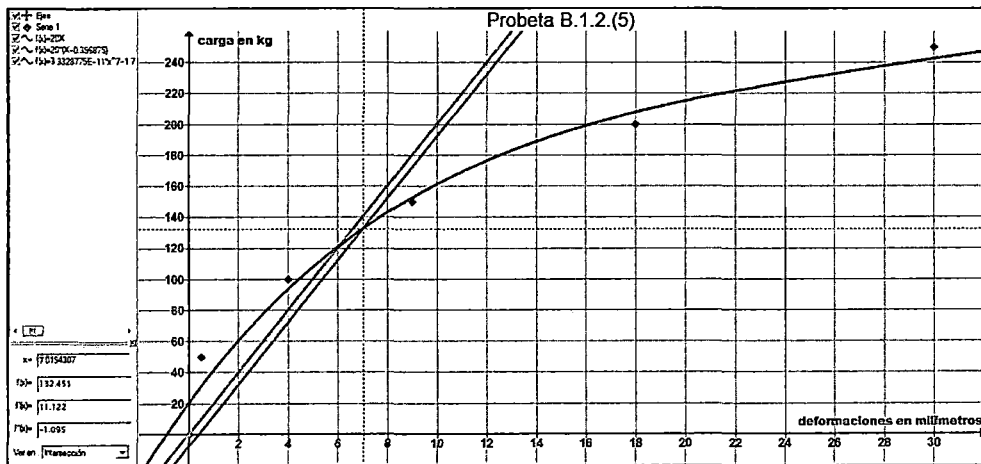
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



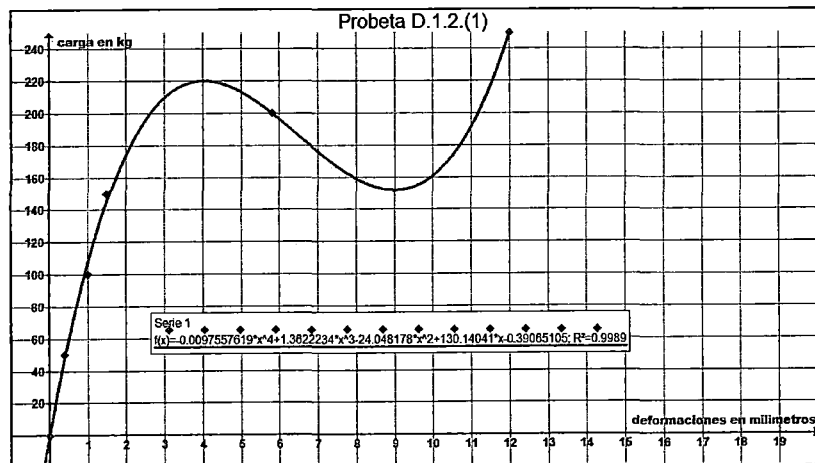
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



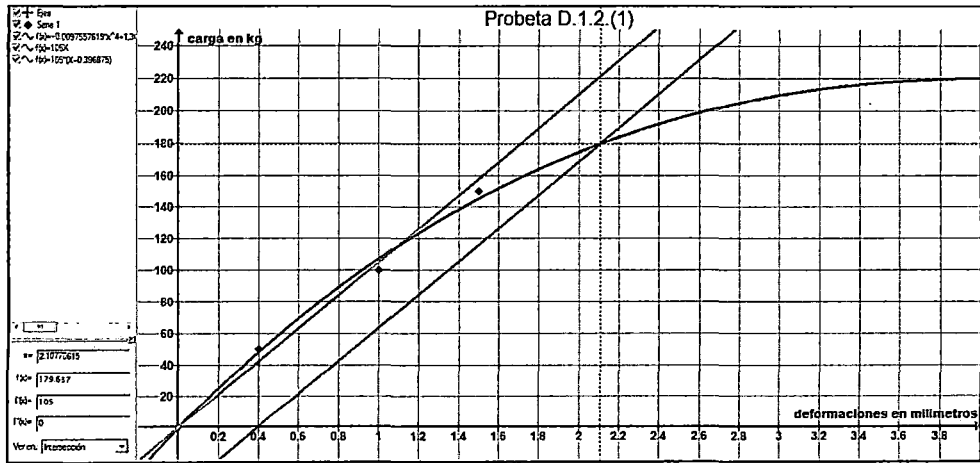
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



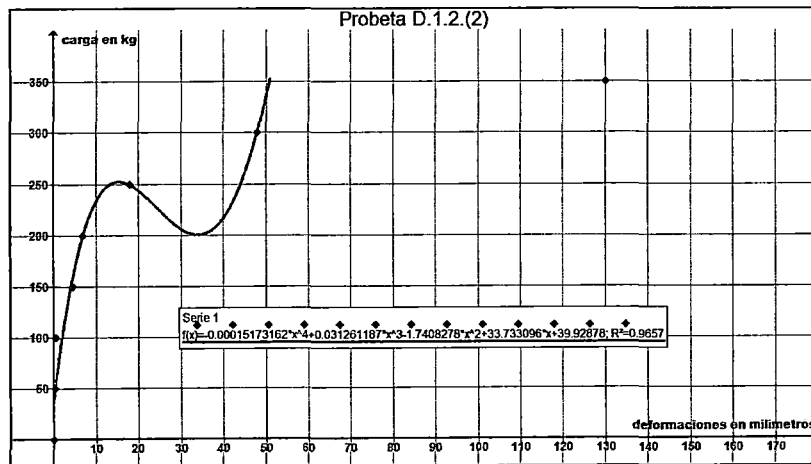
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



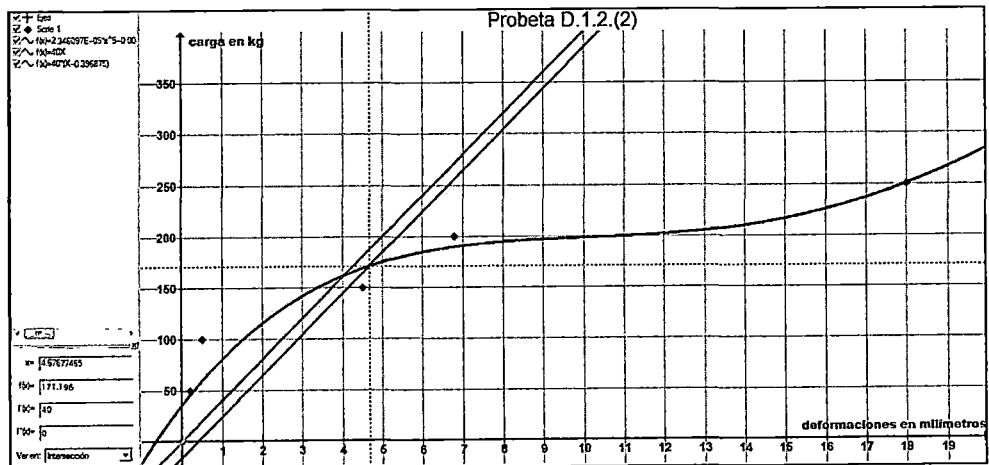
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



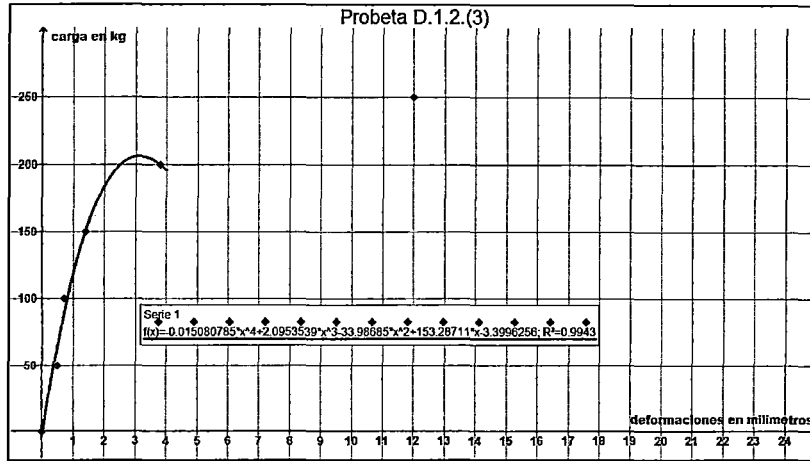
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



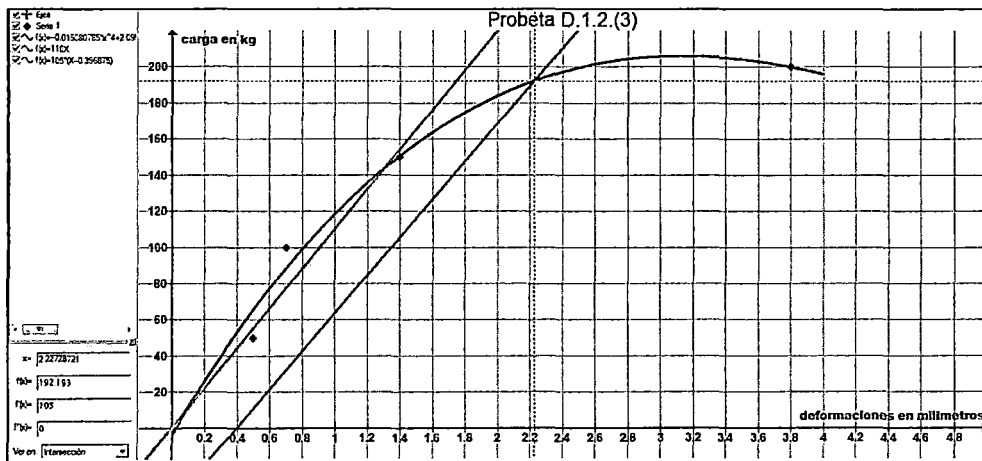
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



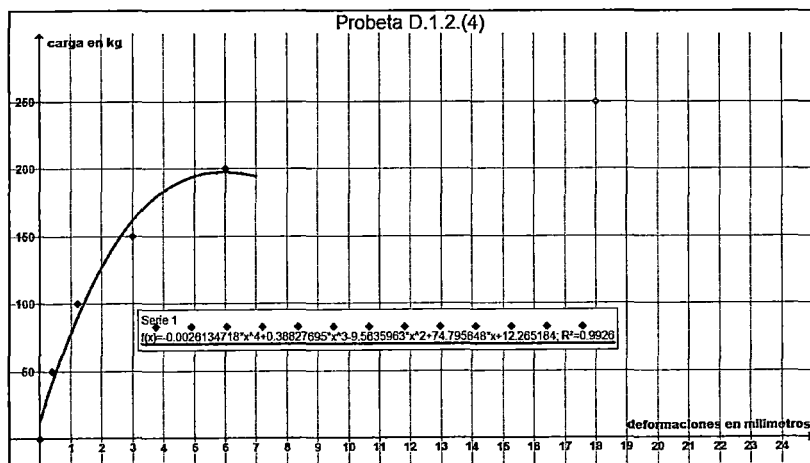
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



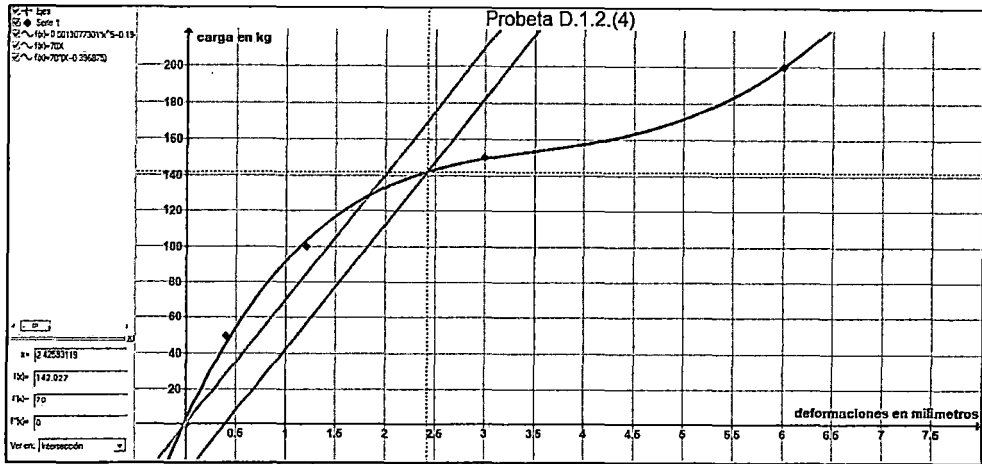
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



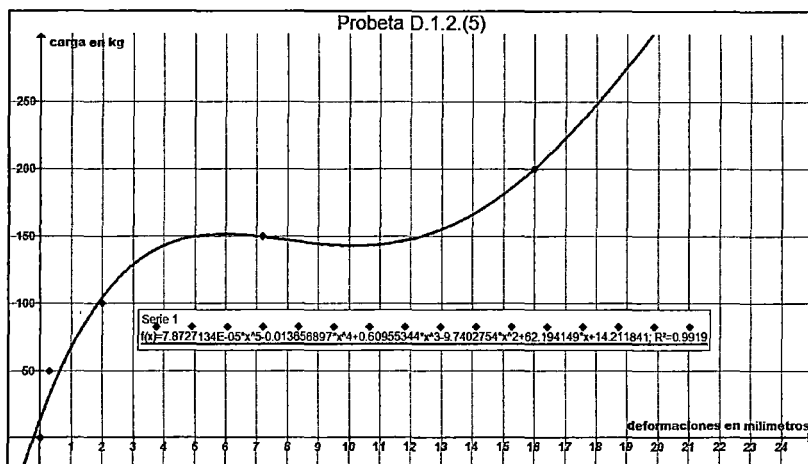
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



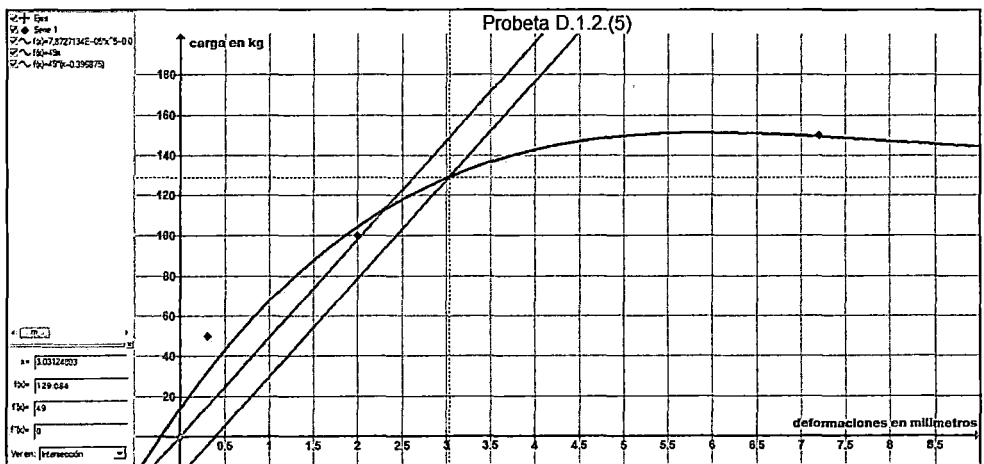
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



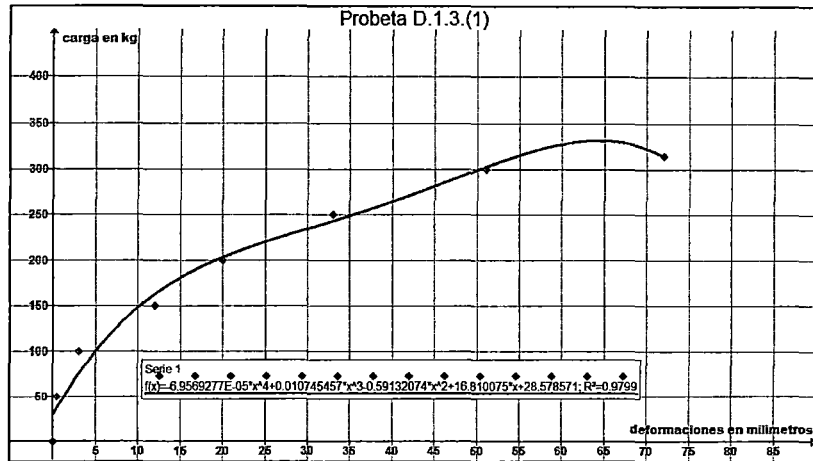
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



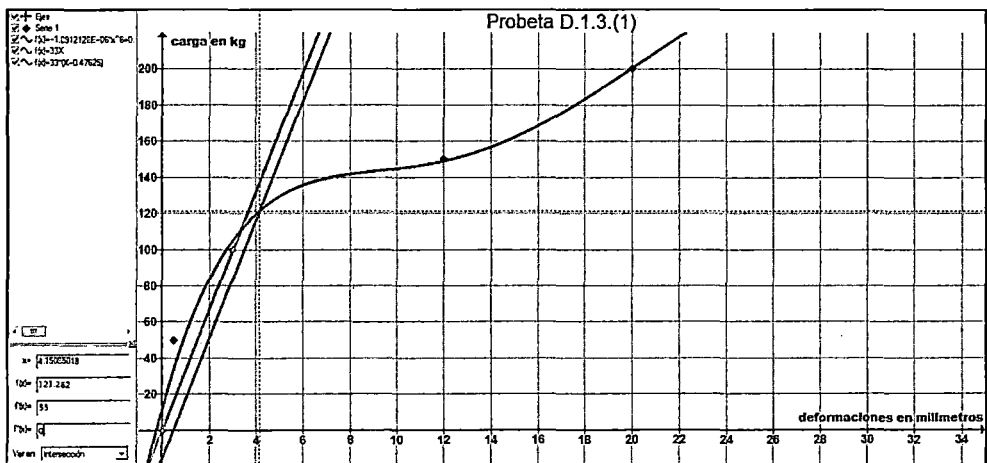
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



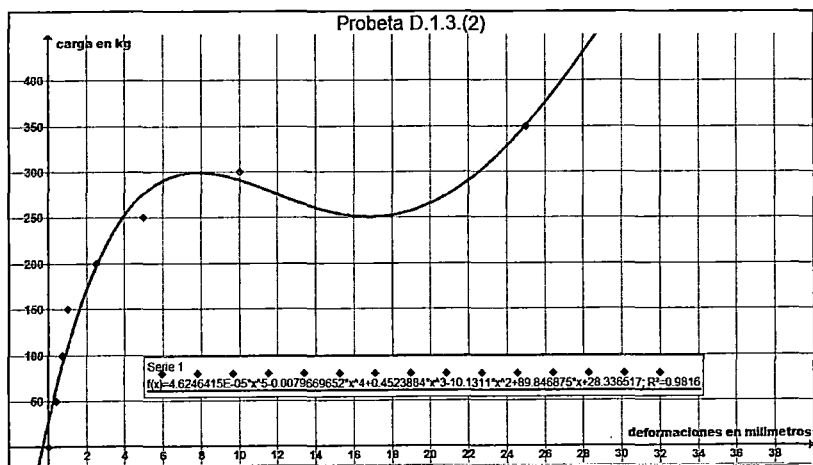
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



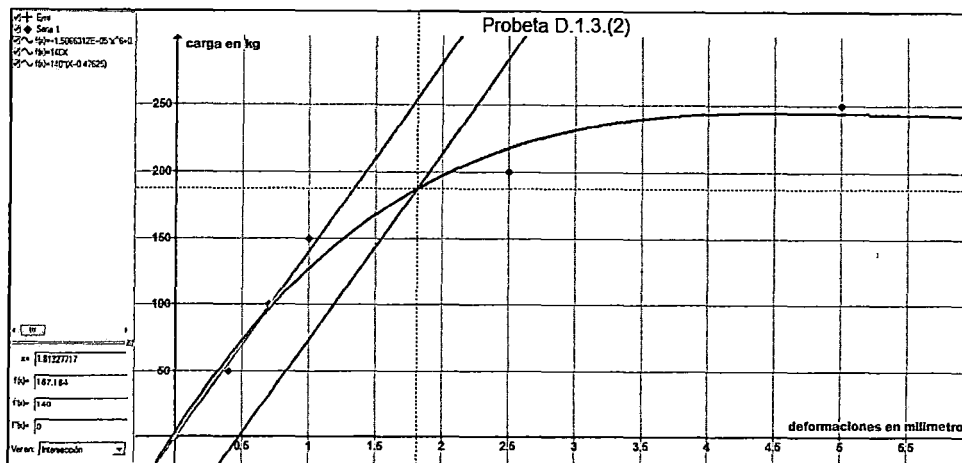
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



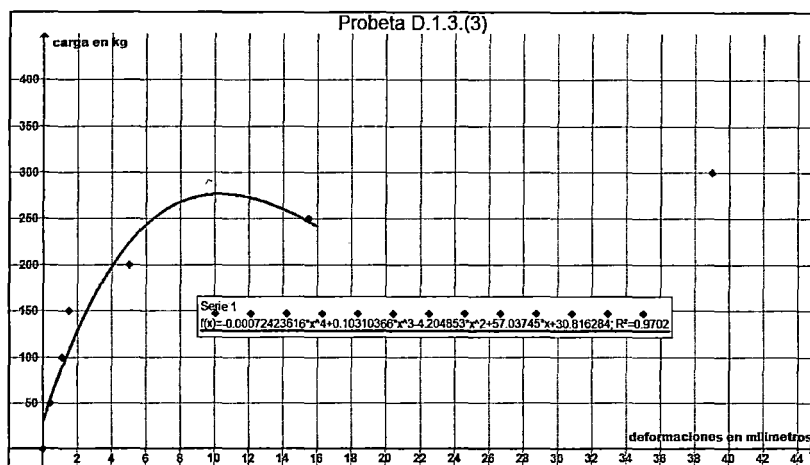
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



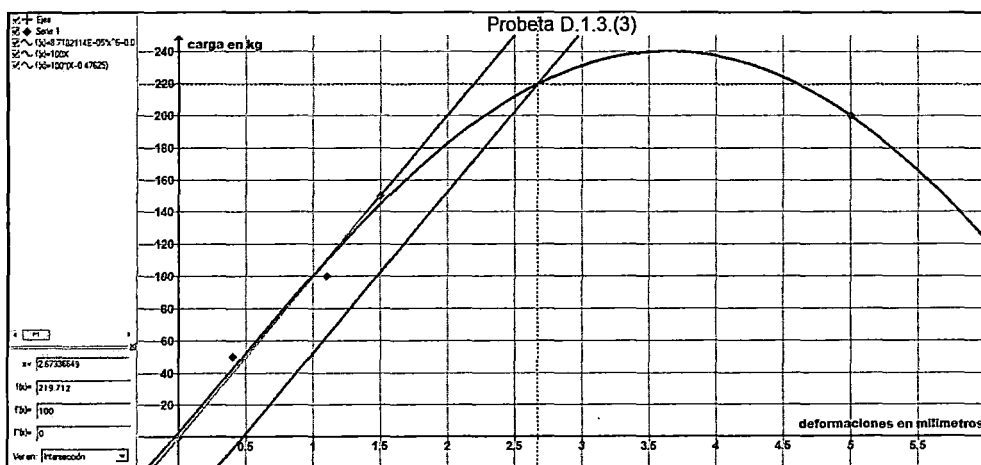
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



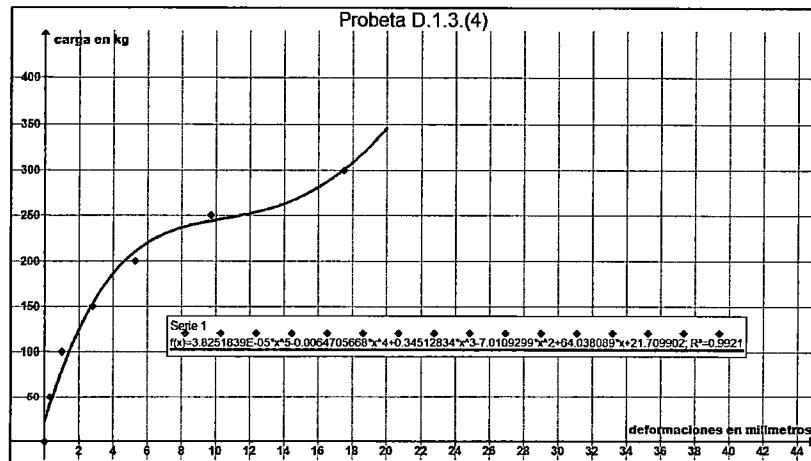
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



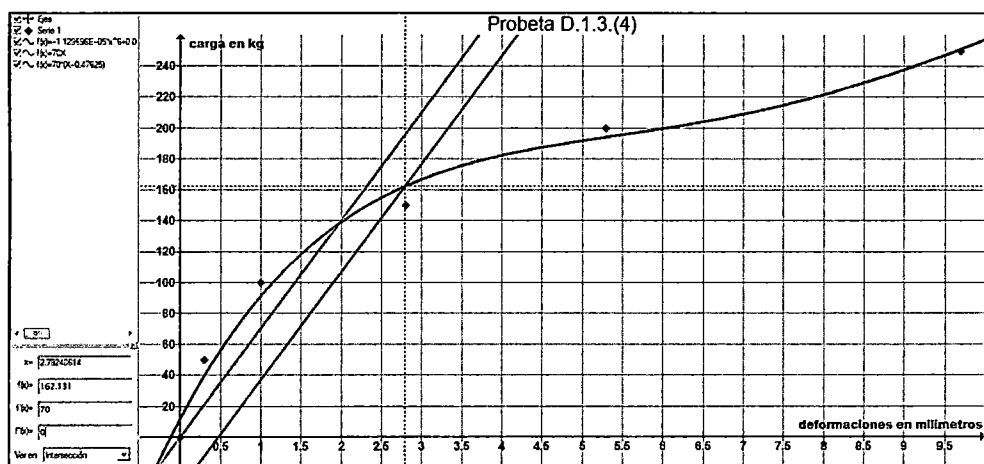
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



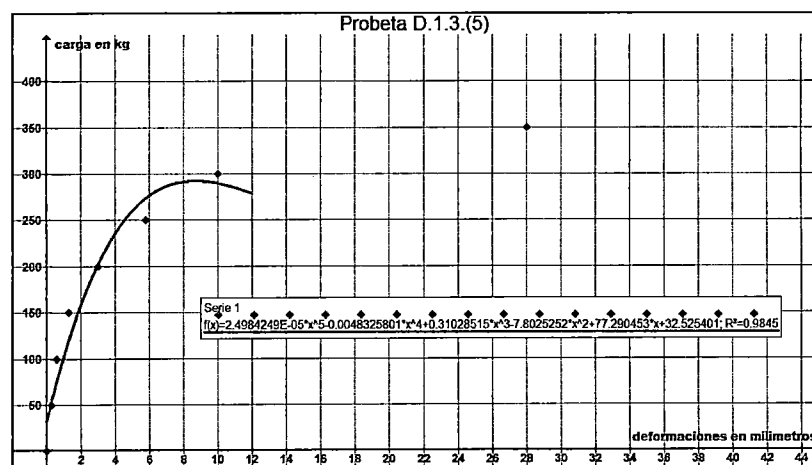
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



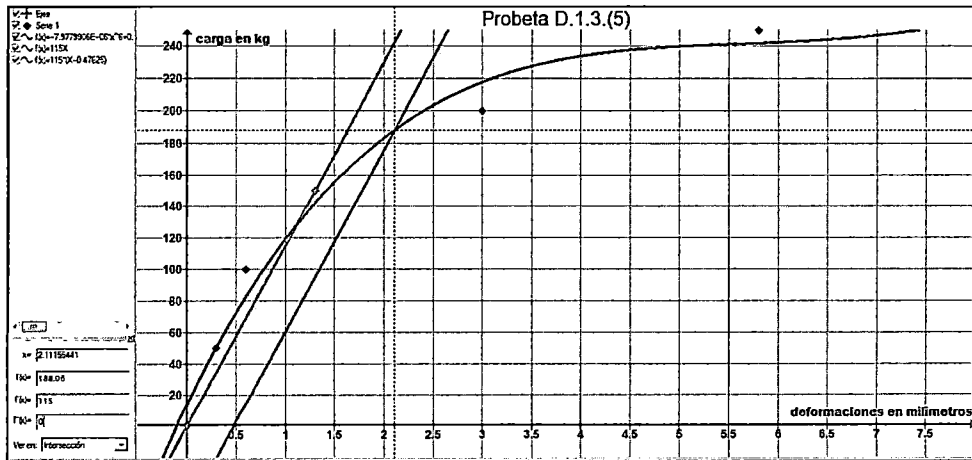
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



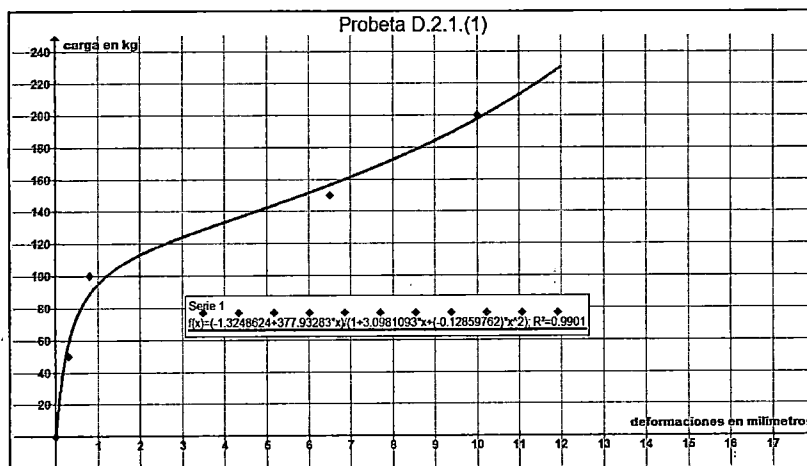
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



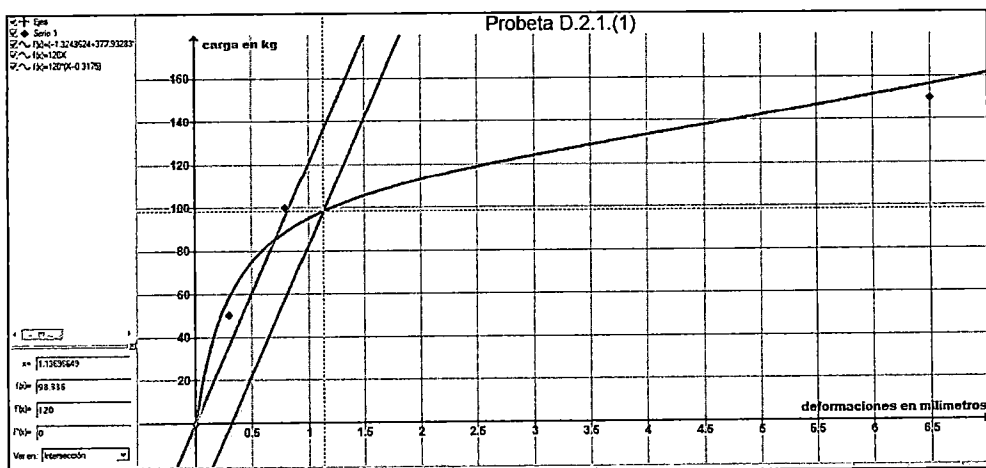
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



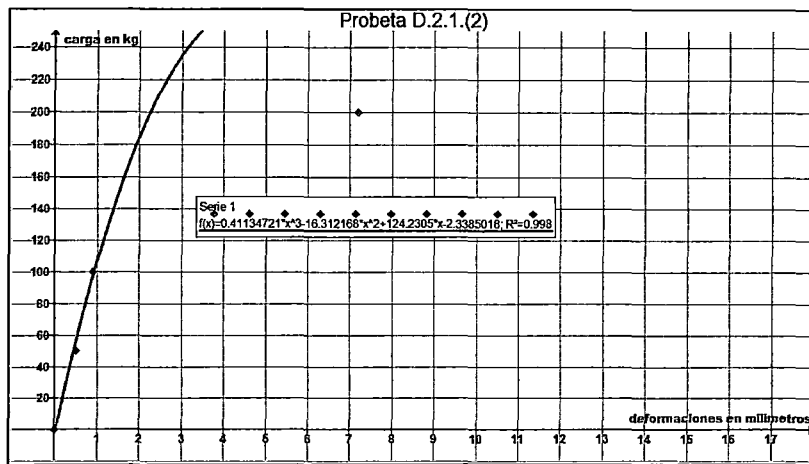
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



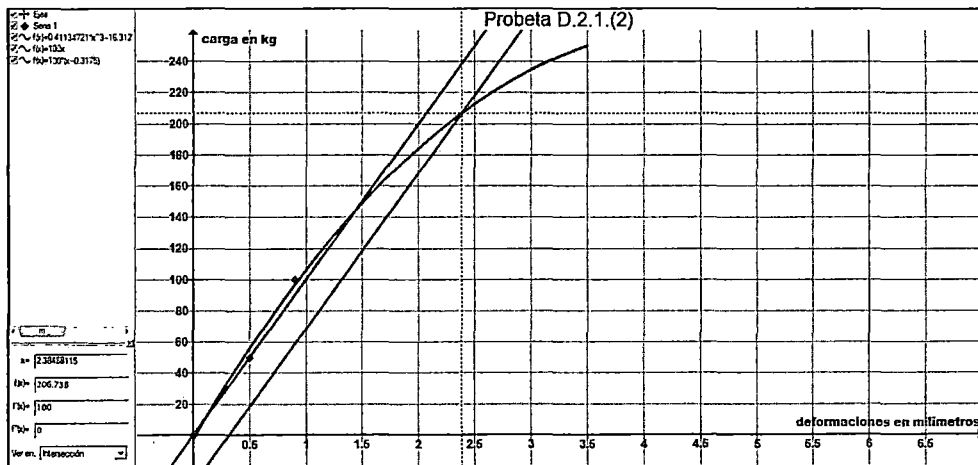
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



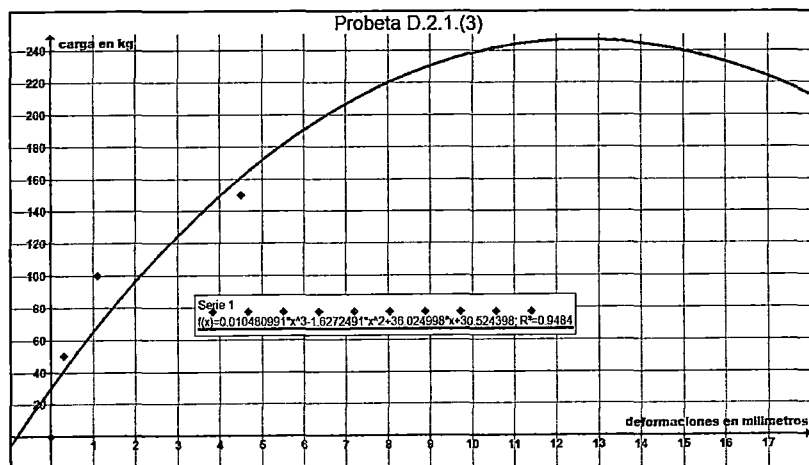
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



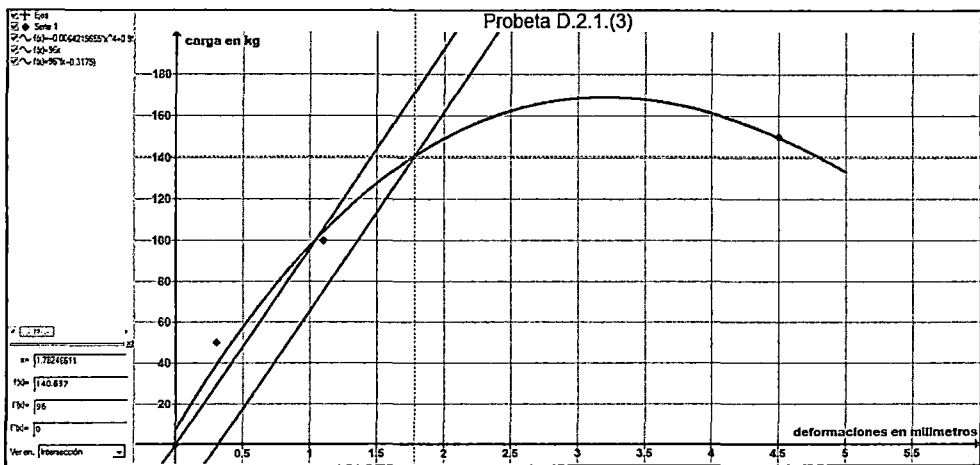
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



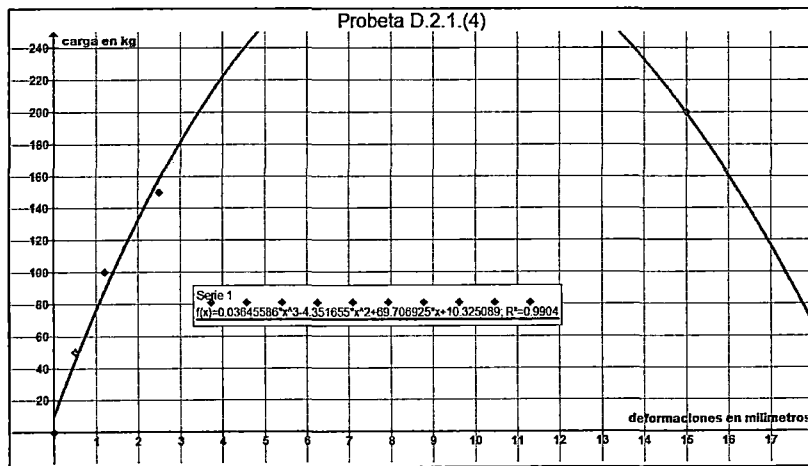
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



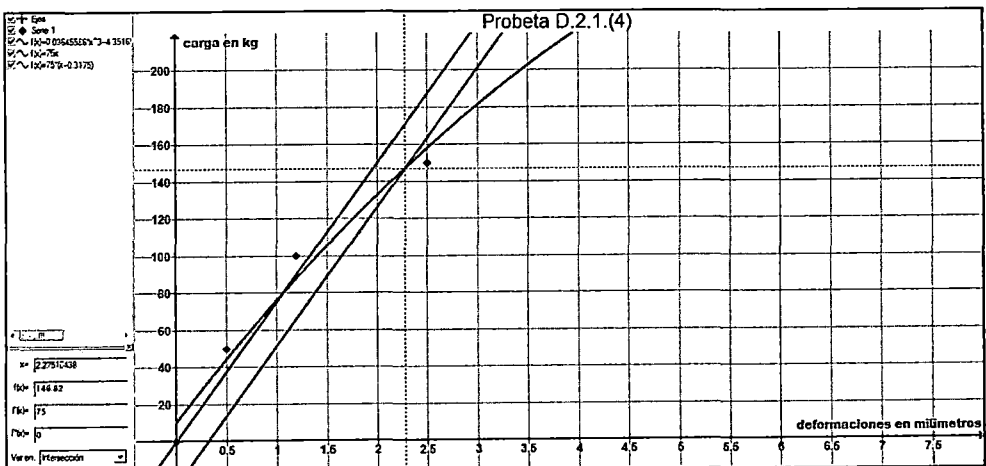
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



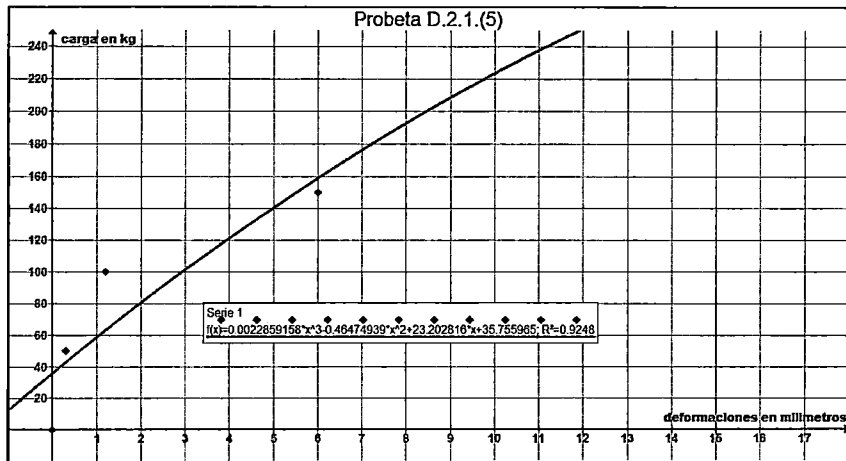
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



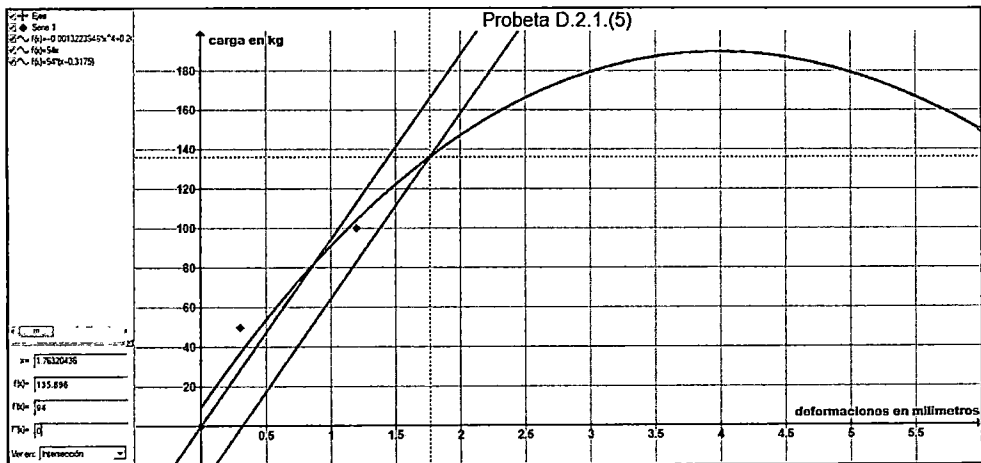
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



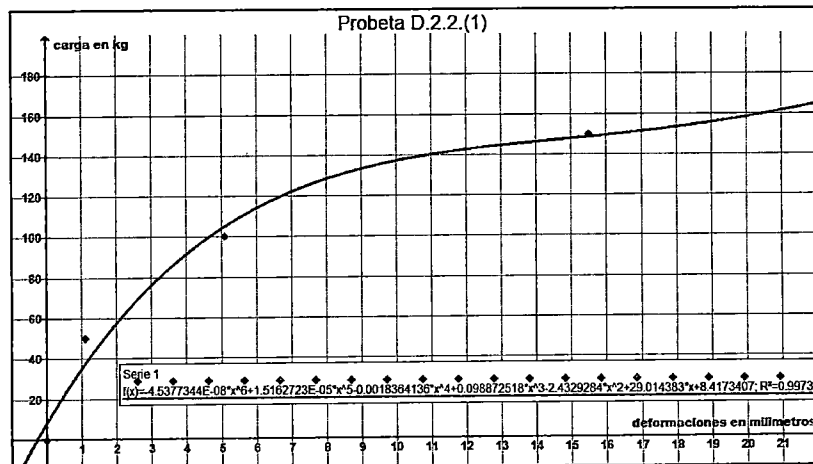
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



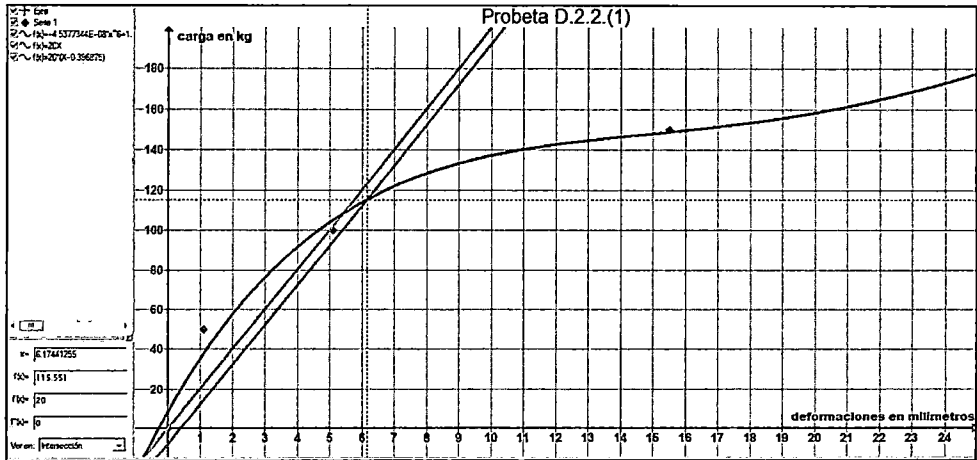
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



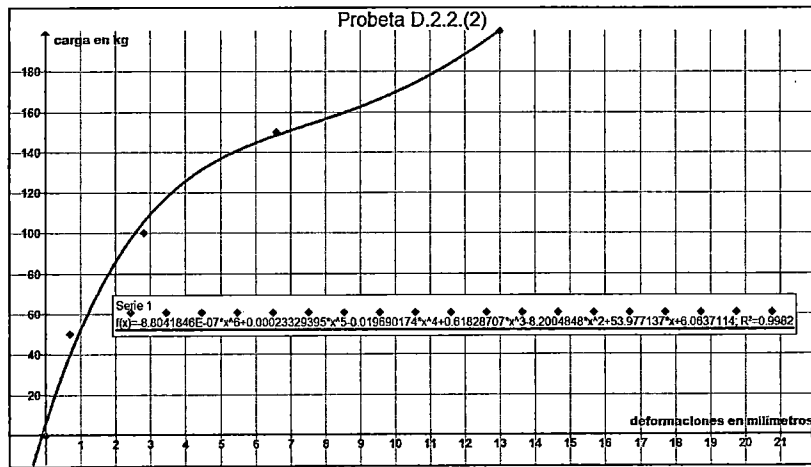
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



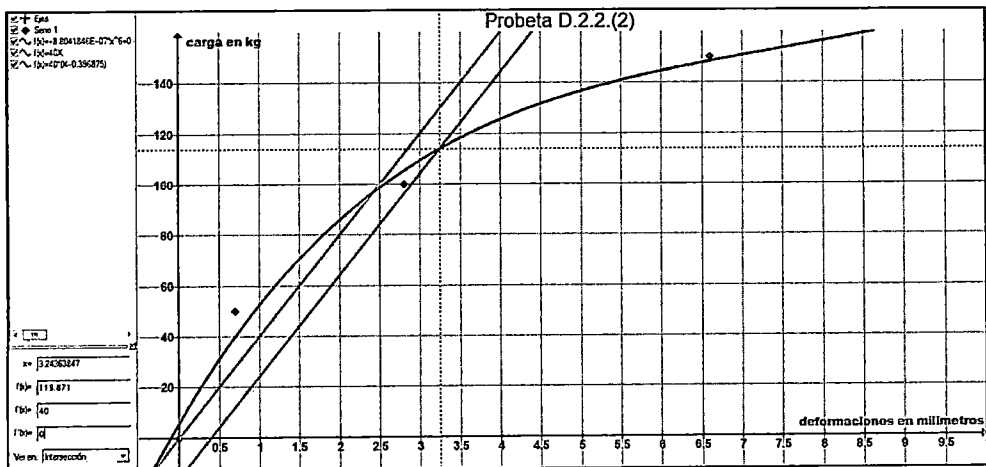
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



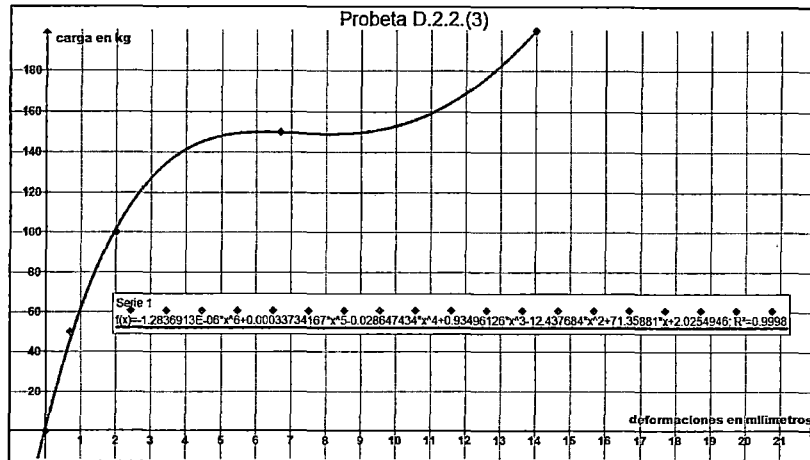
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



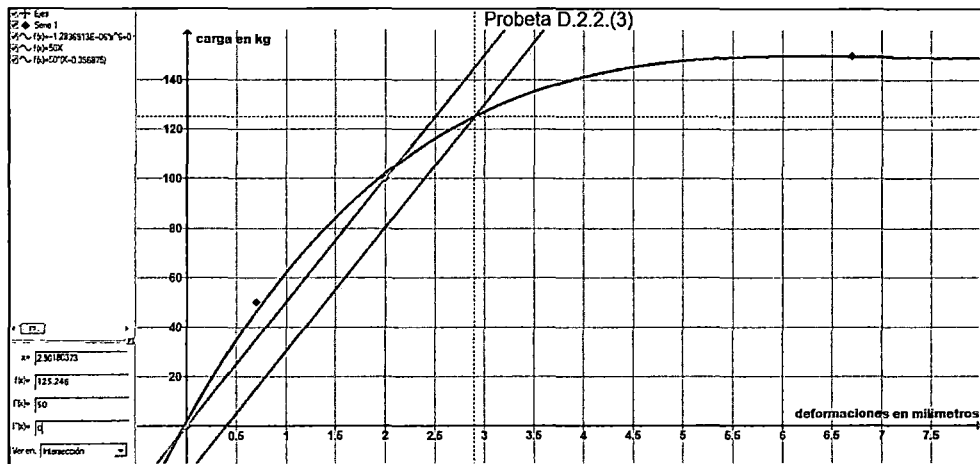
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



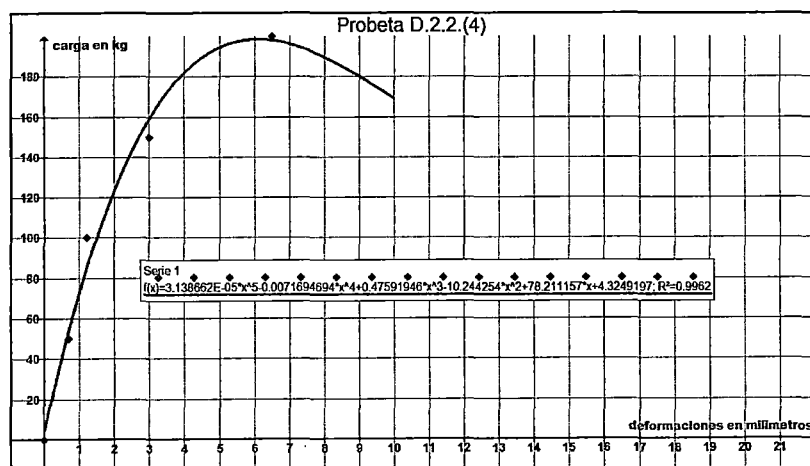
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



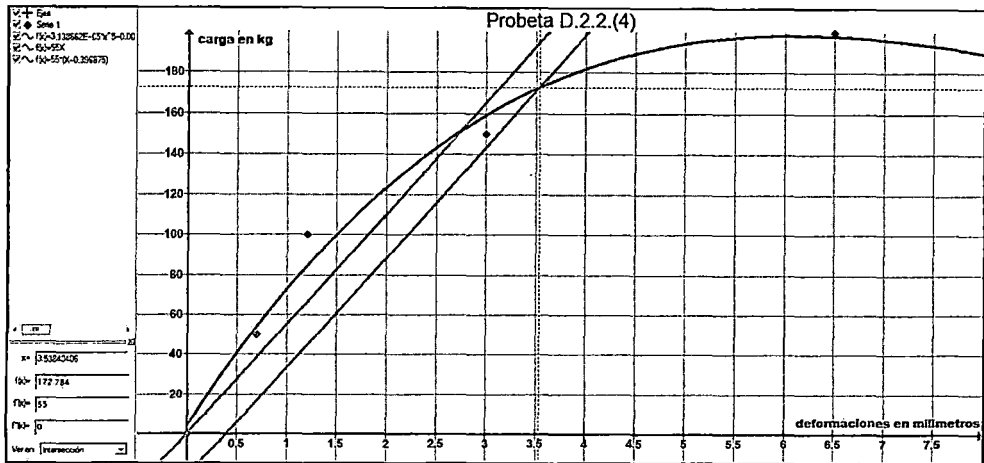
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



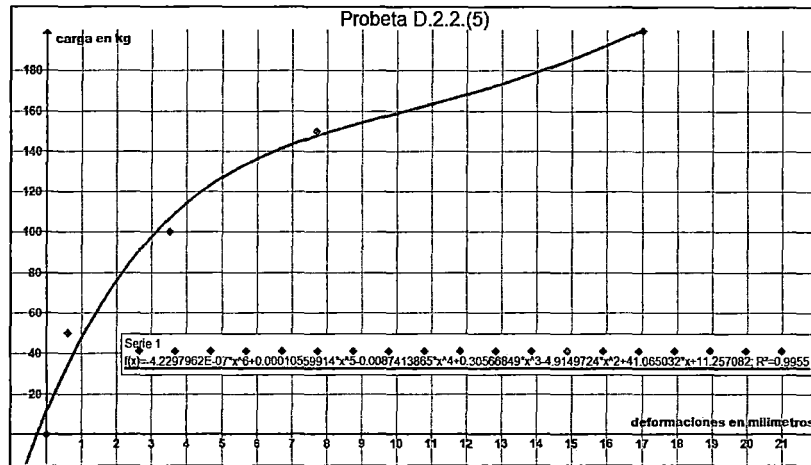
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



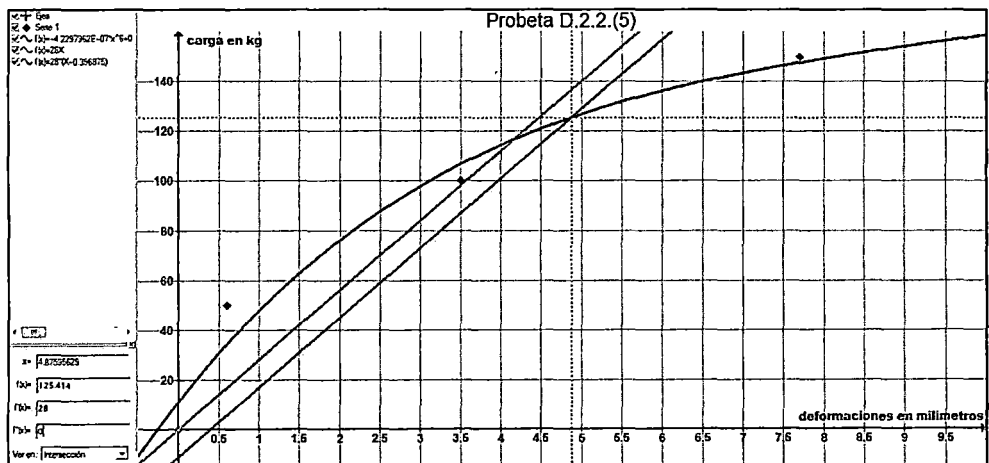
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



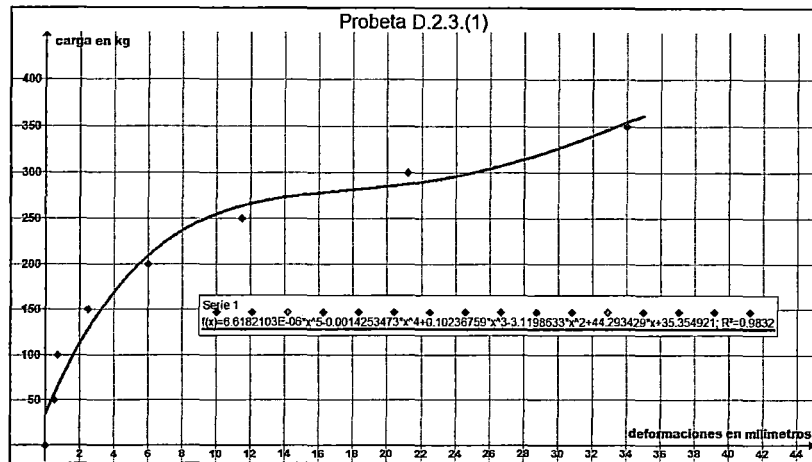
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



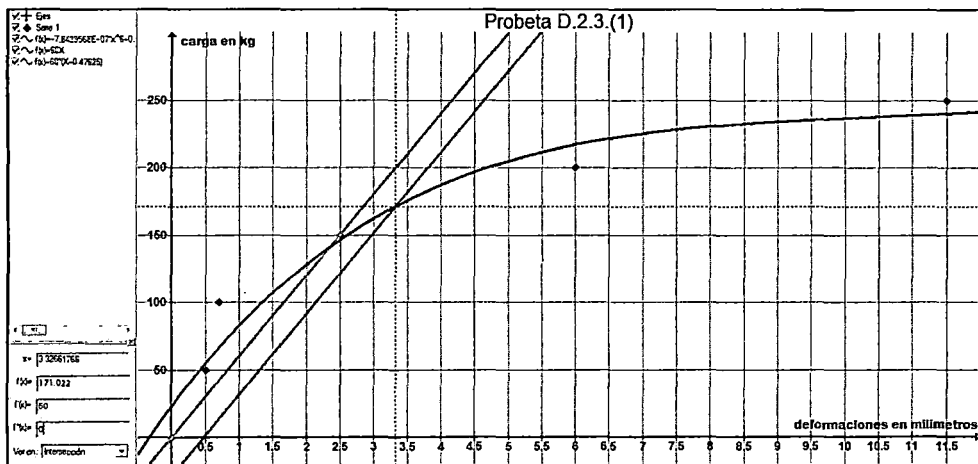
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



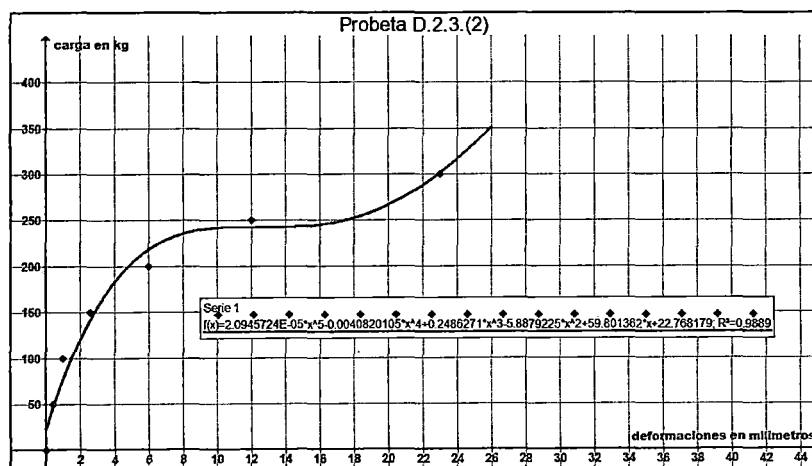
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



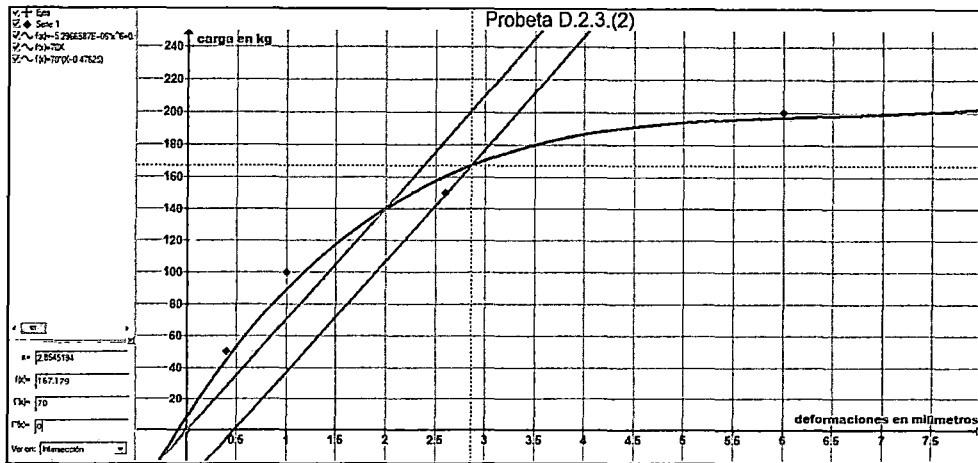
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



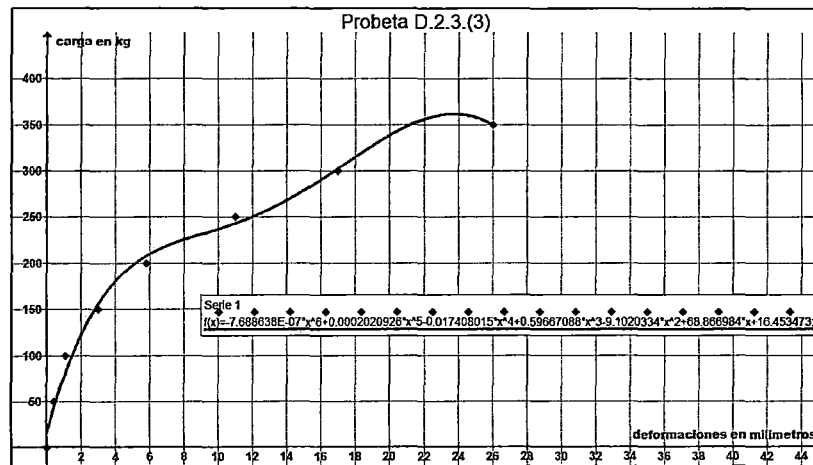
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



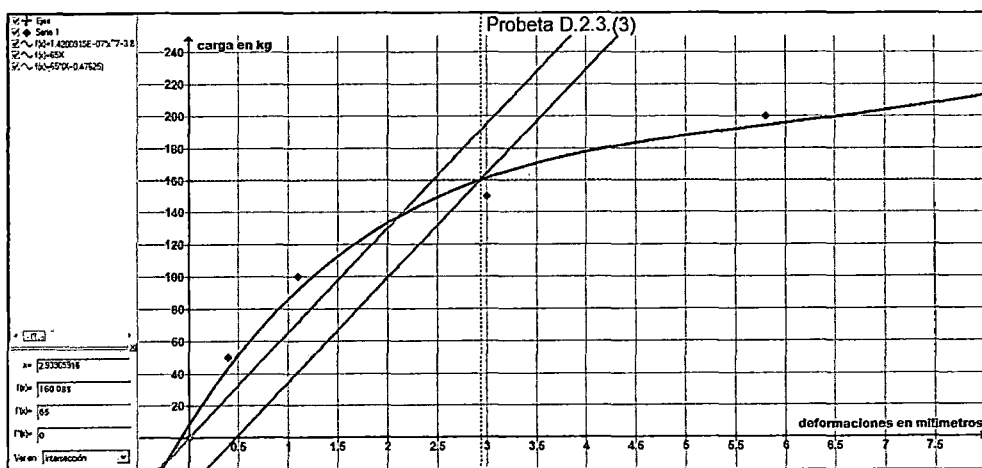
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



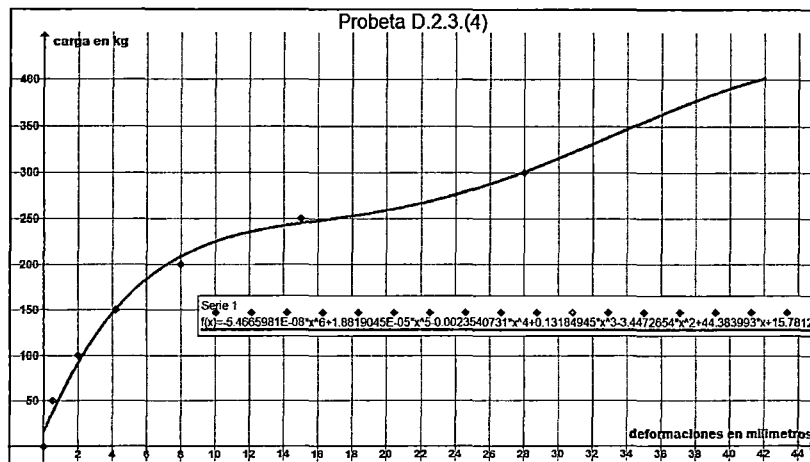
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



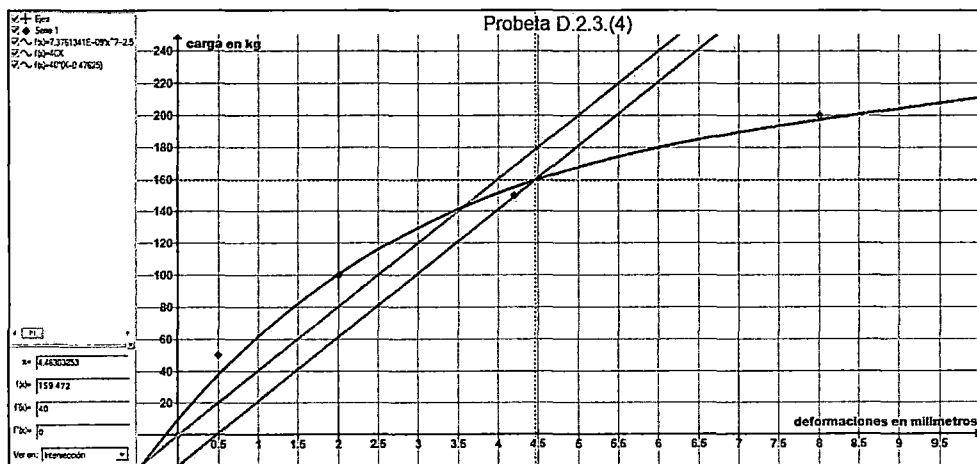
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



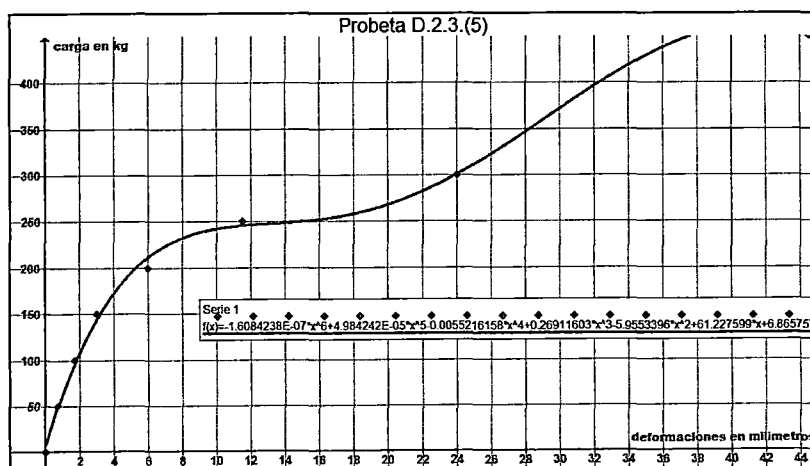
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



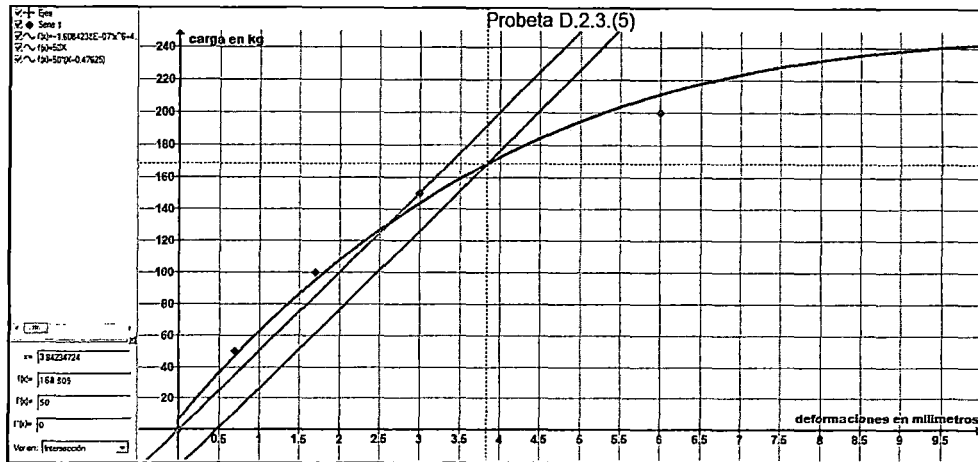
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



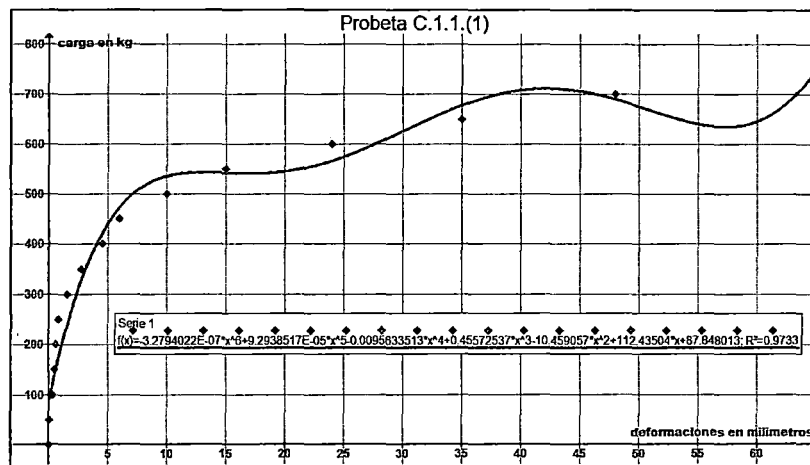
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



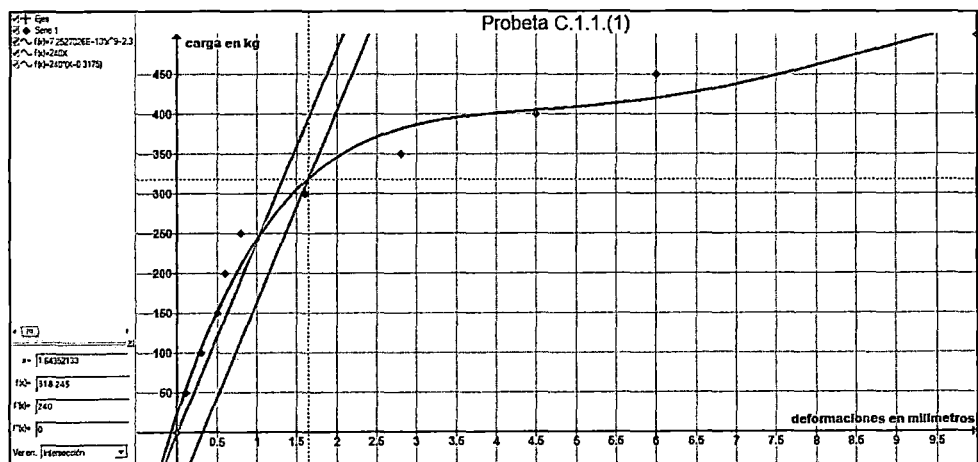
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



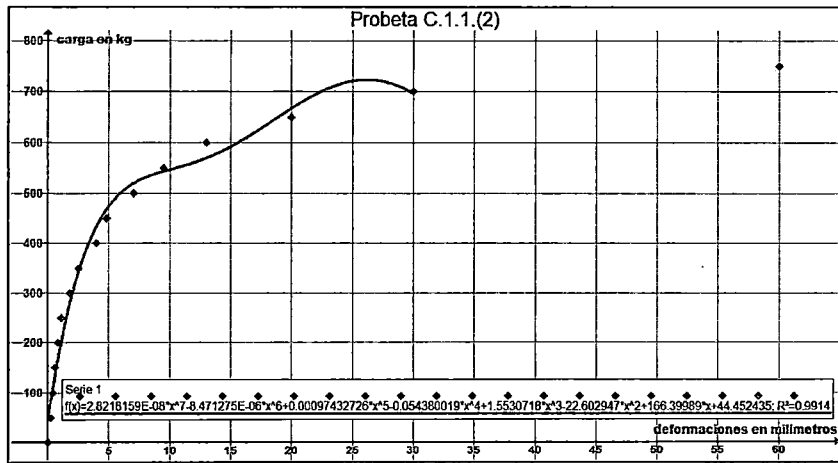
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



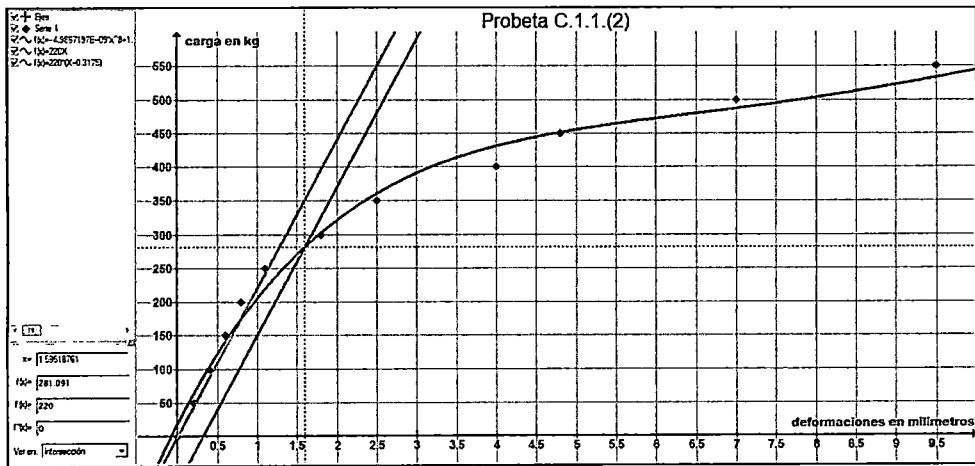
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



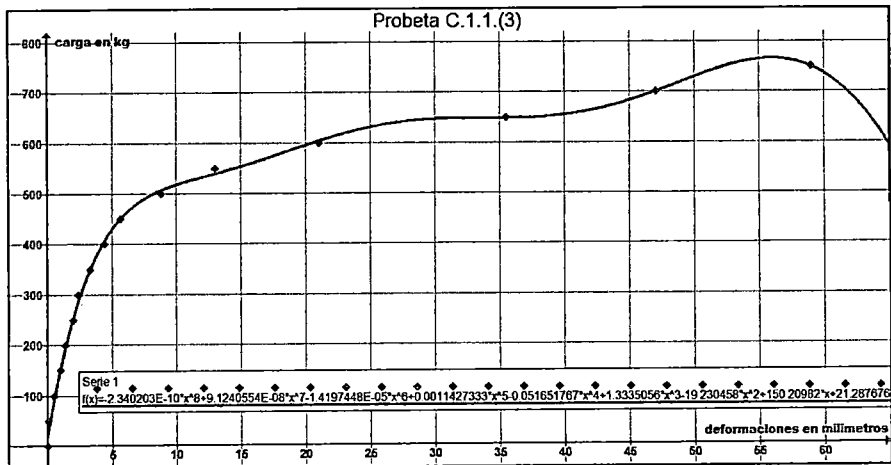
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



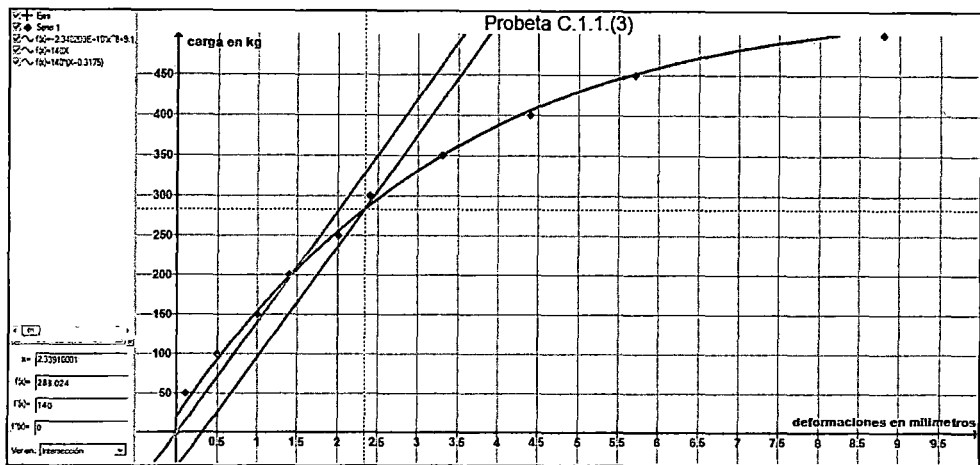
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



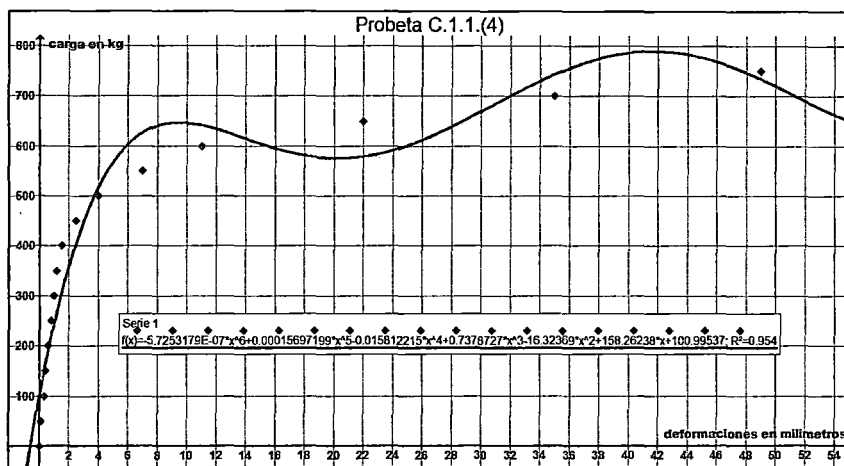
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



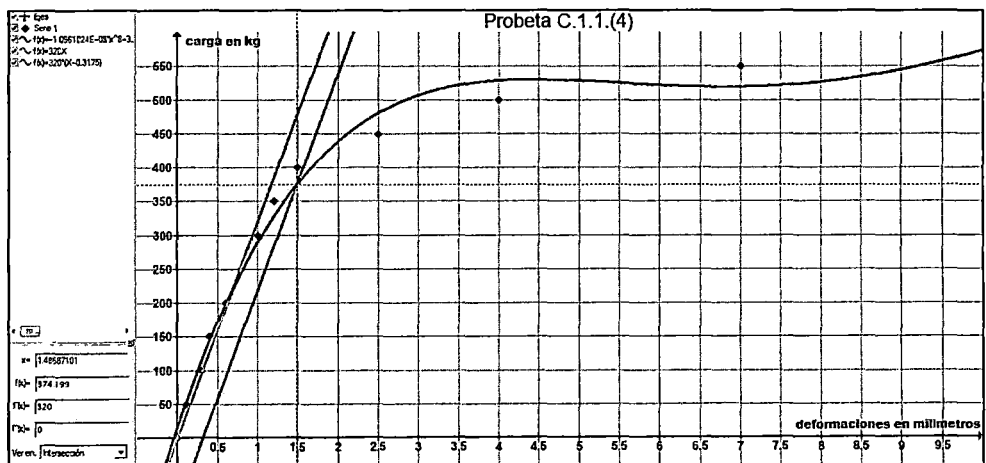
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



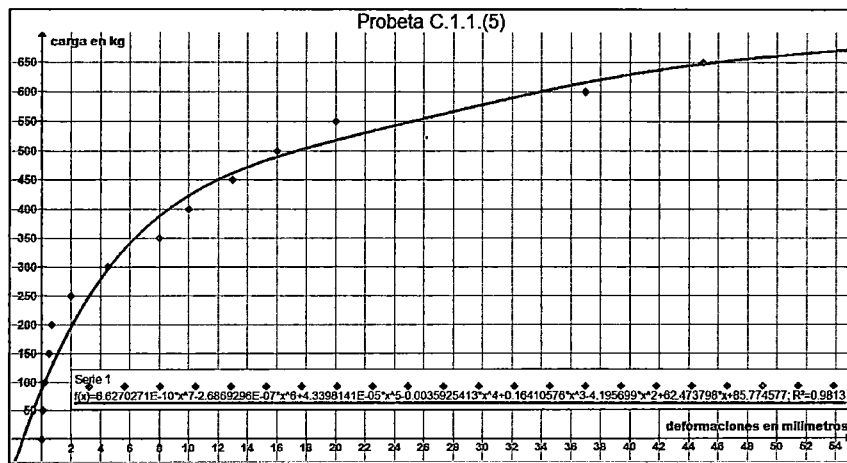
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



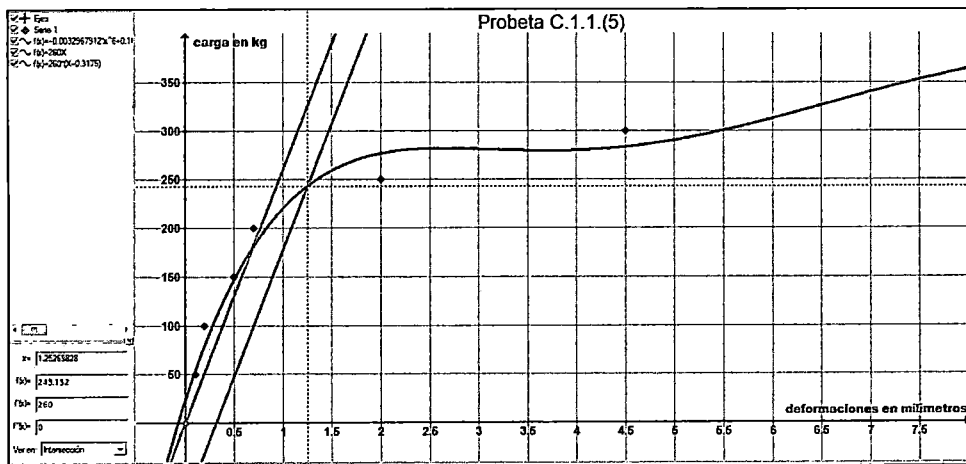
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



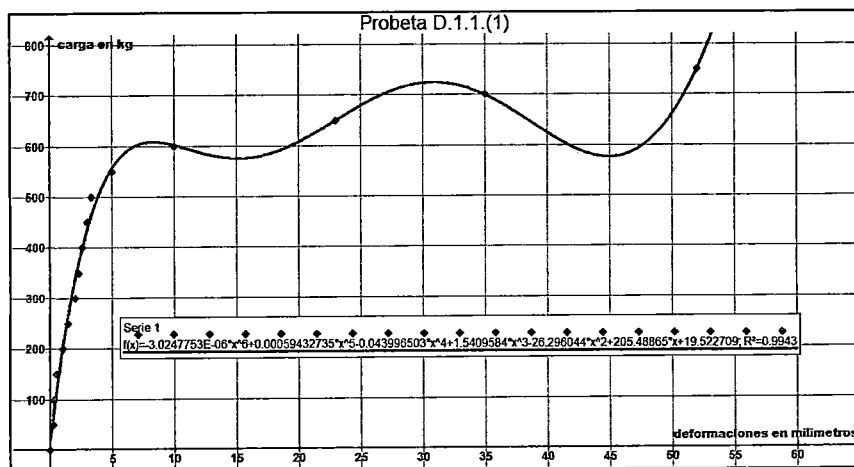
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



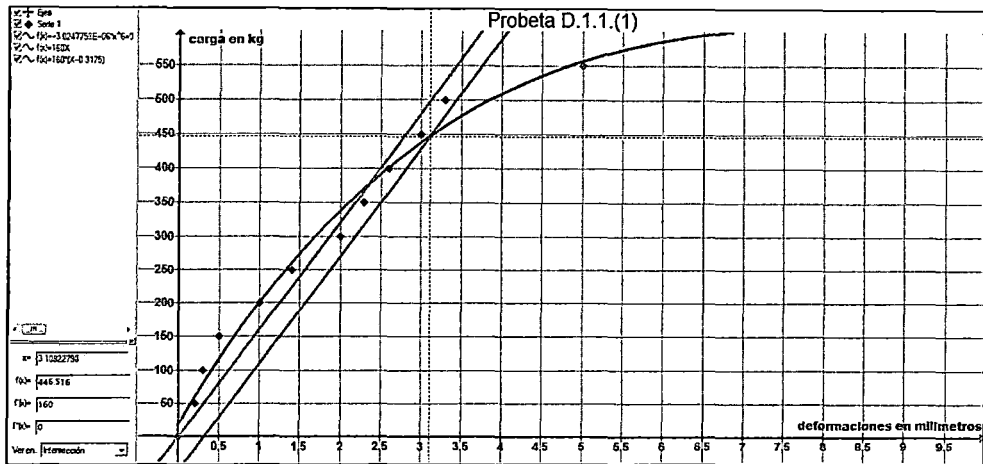
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



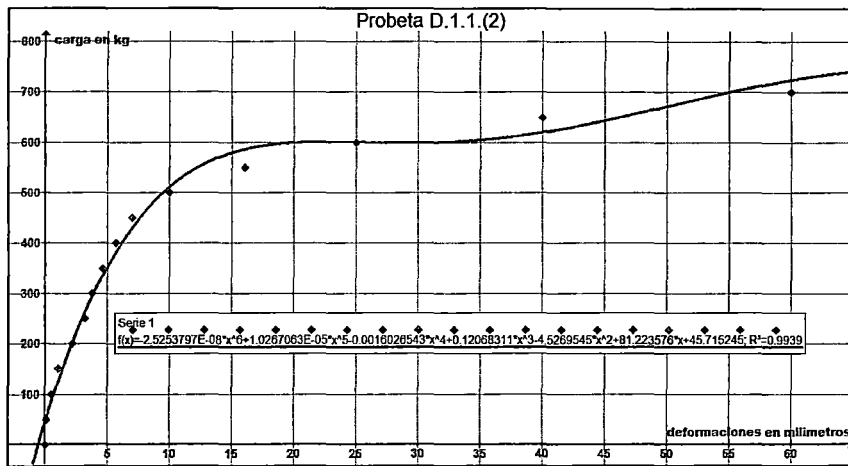
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



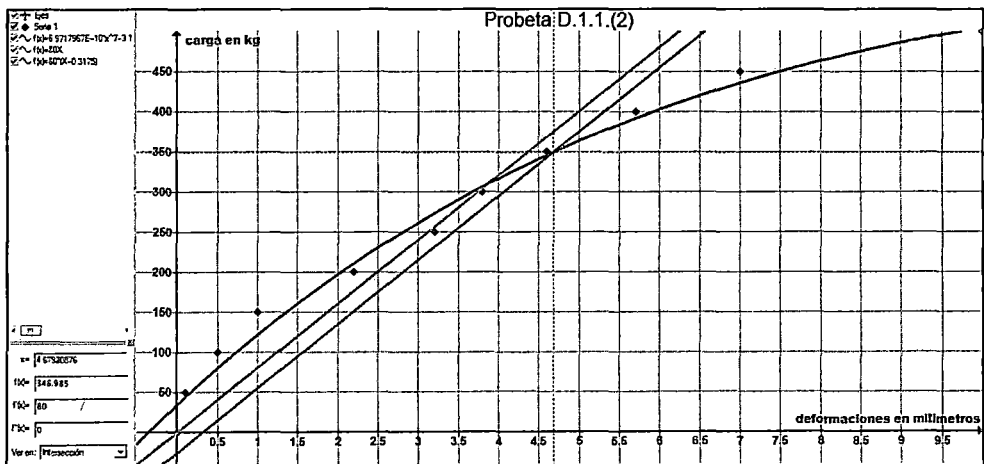
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



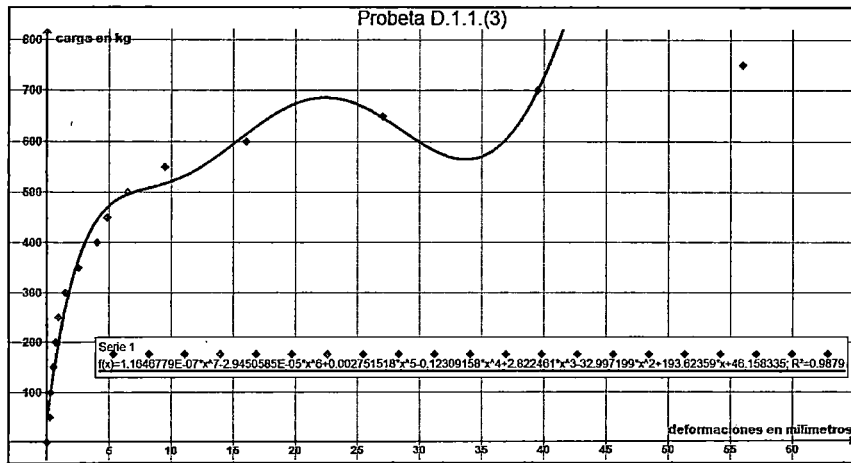
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



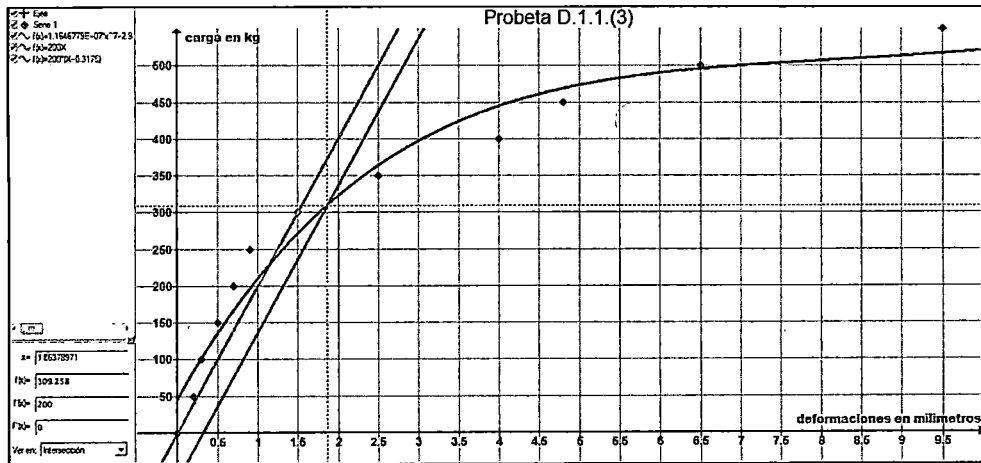
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



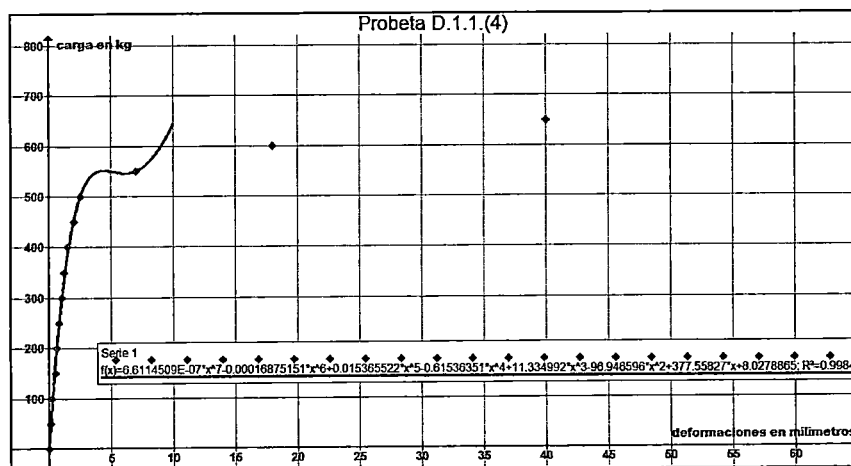
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



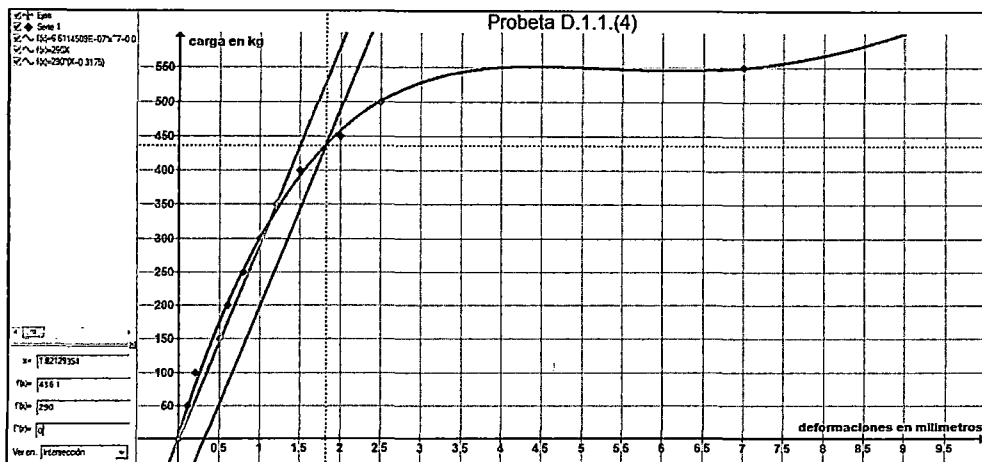
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



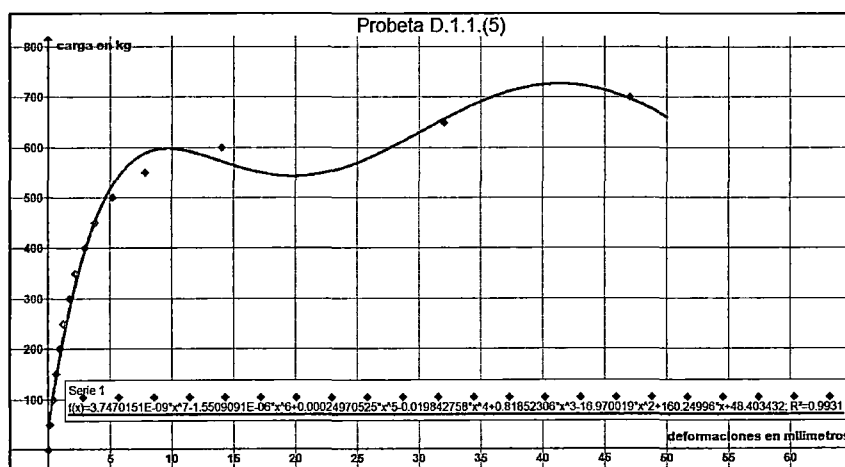
COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



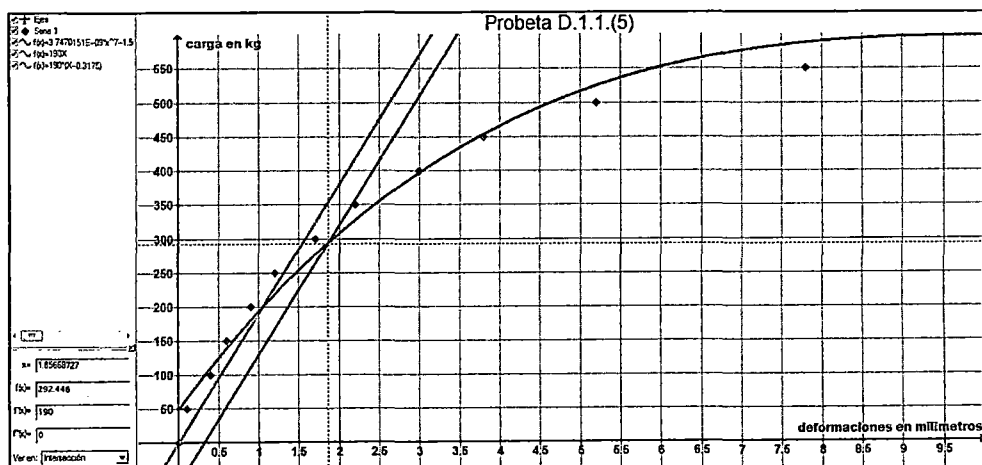
COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



COMPORTAMIENTO TOTAL A CARGA MÁXIMA



COMPORTAMIENTO DE AJUSTE AL LÍMITE PROPORCIONAL



ANEXO C: American Forest & Paper Association, NDS National Design Specification Commentary, 2005 Edition

C10 MECHANICAL CONNECTIONS

C10.1 General

C10.1.1 Scope

C10.1.1.2 See C3.1.3, C3.1.4, and C3.1.5.

C10.1.1.3 The adequacy of alternate methods or procedures for designing and verifying the reference design values of connections that differ from those in the Specification is the responsibility of the designer or the authority accepting or approving such alternate methods or procedures. This responsibility includes providing for appropriate margins of safety; assuring the applicability of load duration, wet service, and other adjustment factors in the Specification; and confirming the applicability of test results to field fabrication and service conditions (see C1.1.1.3).

C10.1.2 Stresses in Members at Connections

All connection designs should be checked for conformance of structural members to the net section area requirements of NDS 3.1.2 and the shear design provisions of NDS 3.4.3 (see C3.1.2 and C3.4.3). All single shear or lapped joints also should be checked to determine the adequacy of the member to resist the additional stresses induced by the eccentric transfer of load at the joint (see NDS 3.1.3). Often this will involve bending and compression or bending and tension interaction where the bending moment induced by the eccentric load at the joint results in bending about the weak axis of the member.

Where multiple fasteners are used, the capacity of the fastener group may be limited by wood failure at the net section or by tear-out around the fasteners caused by local stresses. One method for evaluating member strength for local stresses around fastener groups is outlined in NDS Appendix E.

C10.1.3 Eccentric Connections

Fastener eccentricity that induces tension perpendicular to grain stresses in the main wood member at the connection should be avoided. Where multiple fasteners occur with eccentricity, fasteners are to be placed, insofar as possible,

such that the wood between them is placed in compression rather than in tension (see NDS Figure 10A).

In 1948, provisions for shear design of bending members at connections were introduced in an attempt to limit tension perpendicular to grain stresses at eccentric connections. In 1982, a provision was added prohibiting eccentric connections that induce tension perpendicular to grain stresses unless it has been shown by analysis or testing that such joints can safely carry all applied loads. The determination of the type and extent of the analysis and/or testing required to demonstrate the adequacy of eccentric connections that induce tension perpendicular to grain stresses in the wood members is the responsibility of the designer. Use of stitch bolts or plates to resist such stresses when they can not be avoided is a common practice.

It is to be emphasized that tension design values perpendicular to grain are not given in the Specification (see C3.8.2).

C10.1.4 Mixed Fastener Connections

The individual fasteners in a connection should generally be of the same size to assure comparable load-slip or stiffness characteristics. Such equivalency is required to obtain appropriate distribution of load among fasteners in the connection and is a condition for use of the group action factor, C_g , of NDS 10.3.6.

It is recognized that some designers have used different fastener types in the same connection where the addition of one or more fasteners of the type being used is precluded by area restrictions or is considered uneconomical. Such mixed-type connections, for example, the use of a single 1/2" bolt with three split ring connectors or the use of a 16d nail with two 1/2" bolts, are not covered by the design provisions of the Specification. Because of the different load-slip behavior of different fastener types, the allowable load on such connections can not be assumed to be the sum of the allowable loads for each fastener type, even when the different types are in different rows.

Allowable loads for connections employing more than one type or size of fastener shall be based on analyses that account for different connection stiffnesses, on test results, or on field experience (see C1.1.1.3). It is the designer's responsibility to assure that load capacities assigned to such connections contain adequate margins of safety and are achievable under field conditions.

C10.1.5 Connection Fabrication

Design values for connection joints have been applied to connections having both tight and loose nuts. This provision is based on the original bolted joint tests used to establish design values in which the nuts were intentionally not tightened in order to simulate the additional shrinkage that can occur during service (146). It is to be noted that these provisions only apply to the loosening of nuts that may occur from shrinkage and not the effects of moisture on bearing strength or the effects of checks and cracks that may occur from seasoning after fabrication. Reduction of connection design values for these factors is required when connections are assembled with wet or partially seasoned wood (see NDS 10.3.3).

C10.2 Reference Design Values

C10.2.1 Single Fastener Connections

Reference lateral design values for dowel-type fasteners (bolts, lag screws, wood screws, nails, and spikes) are based on a yield limit model which specifically accounts for the different ways these connections can behave under load. These behavior patterns or modes (see NDS Appendix I) are uniform bearing in the wood under the fastener, rotation of the fastener in the joint without dowel bending, and development of one or more plastic hinges in the fastener (67, 122). Equations have been developed for each mode relating the joint load to the maximum stresses in the wood members and in the fastener (67, 21). The capacity of the connection under each yield mode is keyed to the bearing strength of the wood under the fastener and the bending strength of the fastener, with the lowest capacity calculated for the various modes being taken as the design value for the connection.

The yield limit model provides a consistent basis for establishing the relative effects of side and main member thickness and bearing strength, and fastener bending strength on the load-carrying capacity of connections involving dowel-type fasteners. Because the yield strength of a wood connection is not well defined on the load-deformation curve for a connection, the limiting wood stresses used in the yield model are based on the load at which the load-deformation curve from a fastener embedment test intersects a line represented by the initial tangent modulus offset 5 percent of the fastener diameter (120). This

nominal yield point is intermediate between the proportional limit and maximum load for the material and for the connection.

Reference lateral design values for connections in previous editions of the Specification represented nominal proportional limit values. For purposes of transition and to build on the long record of satisfactory performance obtained with these previous values, short-term design values based on direct application of the yield limit equations have been reduced to design levels published in previous editions for connections made with equivalent species and member sizes. This calibration was accomplished by establishing average ratios of previous Specification design values to yield limit model design values for each yield mode and direction of loading (parallel and perpendicular to grain). This soft conversion procedure retained historical safety levels while resulting in some design values for each fastener type being somewhat higher and some lower than previous values depending upon the fastener diameter and the thickness of main and side member.

C10.2.2 Multiple Fastener Connections

The reference design value for a connection containing two or more fasteners is obtained by summing the reference design values for each individual fastener. It is to be understood that this provision requires application of the group action factor of NDS 10.3.6 to the individual fastener reference design value wherever a row of two or more split ring connectors, shear plate connectors, or dowel-type fasteners are involved.

Summation of individual fastener reference design values to obtain a total reference design value for a connection containing two or more fasteners is limited to designs involving the same type and the same size of fastener (see C10.1.4). Fasteners of the same type, diameter, and length joining the same members and resisting load in the same shear plane may be assumed to exhibit the same yield mode.

C10.2.3 Design of Metal Parts

Metal parts, including fasteners, are to be designed in accordance with national standards of practice and specifications applicable to the material. Tension stresses in fasteners as a result of withdrawal loads, shear in cross sections of

fasteners, bearing of fasteners on metal side plates, tension and shear of plates, and buckling of plates and rods are included under this provision.

Standard metal design practices are not to be used to account for bending stresses occurring in dowel-type fasteners in wood connections subject to lateral loads. These stresses are accounted for in this Specification under the provisions for the particular fastener type involved. Where the design value for a connection involving metal fasteners is limited by the provisions of this Specification, the adjustment factors of NDS 10.3 are to be applied. Where the design value of the connection is limited by the strength of the metal fastener or part, the adjustment factors of NDS 10.3 are not to be applied.

C10.2.4 Design of Concrete or Masonry Parts

Concrete or masonry parts are to be designed in accordance with national standards of practice and specifications applicable to the material.

C10.3 Adjustment of Reference Design Values

C10.3.1 Applicability of Adjustment Factors

Applicable adjustment factors for connections are specified in NDS Table 10.3.1.

C10.3.2 Load Duration Factor, C_D (ASD Only)

See C2.3.2. Reference design values for wood connections derived from the results of standard short-term tests (5 to 10 minute duration) and/or calculated using properties derived from short-term tests include a 1.6 reduction to account for the potential effects of long-term loading. When wood connections are used to resist short-term loads, the reference design values can be increased by a factor of up to 1.6 based on the provisions of NDS 2.3.2. Load duration factors greater than 1.6, including the impact load duration factor of 2.0, are not to be applied to design loads for connections.

C10.3.3 Wet Service Factor, C_M

The wet service factors in NDS Table 10.3.3 for bolts and lag screws, split ring and shear plate connectors, wood screws, and nails were recommended as part of early research on wood connections (184, 181).

The 0.80 factor for metal plate connectors installed in partially seasoned or wet lumber is based on the results of both truss and tension in-line joint tests (1, 109, 195).

The factor of 0.40 in NDS Table 10.3.3 for multiple rows of dowel fasteners installed in partially seasoned wood used in dry conditions of service is based on limited tests of connections fabricated with unseasoned members joined at right angles to each other and tested after drying (181).

C10.3.4 Temperature Factor, C_t

The temperature adjustment factors for connections in NDS Table 10.3.4 are equivalent to those for bending, compression, and shear design values in NDS 2.3.3 (see C2.3.3). Bearing under metal fasteners is closely correlated with compression parallel to grain or compression perpendicular to grain properties.

C10.3.5 Fire Retardant Treatment

See C2.3.4.

C10.3.6 Group Action Factor, C_g

Modification factors for two or more split ring connectors, shear plate connectors, or dowel-type fasteners in a row were added to the Specification in the 1973 edition. Earlier tests of bolted and shear plate connector joints had shown that the load capacity of connections containing multiple fasteners in a row was not directly proportional to the number of fasteners, with those located near the ends of the row carrying a greater proportion of the applied load than those located in the interior of the row (35, 39, 40, 66, 72).

The tables of factors included in the 1973 edition to account for the non-uniform loads on a row of fasteners was based on a linear analysis wherein the direct stresses in the main and side members of the connection were assumed to be uniformly distributed across their cross section, and the relationship between fastener slip and fastener load was assumed to be linear (77). This analytical procedure showed that the transfer of load from side to main members and the proportion of the total load carried by each fastener were determined by the moduli of elasticity, E , and cross-sectional areas of the side and main members, the number of fasteners in a row, the spacing between fasteners, and the joint load-slip modulus.

Two tables of modification factors for joints containing two or more fasteners in a row were developed using the linear analysis: one for connections with wood side plates and one for connections with metal side plates. For purposes of simplicity, factors were tabulated only in terms of the number of fasteners in the row and the cross-sectional areas of the members being joined. Other variables were assumed to have the following values (156):

Wood to wood connections:

E of side and main members	1,800,000 psi
Load-slip fastener modulus	220,000 lb/in.
Spacing between fasteners	6.5 inches

Wood to metal connections:

E of main member	1,400,000 psi
Load-slip fastener modulus	330,000 lb/in.
Spacing between fasteners	5.75 inches

With the foregoing constant values, the analytical procedure was used to calculate modification factors for three to eight fasteners in a row and then results were extrapolated up to 12 fasteners and down to two fasteners in a row (156). The resulting tables of factors, ranging from 1.00 for two fasteners in a row to as low as 0.34 and 0.15 for 12 fasteners in a row in joints made with wood and metal side plates, respectively, were continued essentially unchanged through the 1986 edition. The group action factor equation given in NDS 10.3.6 consolidated the analytical procedure used to establish the modification factors given in previous editions (188). Concurrent with the development of the compact single equation for accounting for group action, more recent load-slip data for bolted joints and split ring and shear plate connectors have been used to establish new representative load-slip moduli for different types of connections (188).

It is to be noted that the variable A_s in the group action equation (NDS Equation 10.3-1) represents the sum of the cross-sectional area of the side members. Thus the equation accounts for single shear as well as double shear connections. For a connection with four or more members, each shear plane is evaluated as a single shear connection (see NDS 11.3.8). Where such a connection contains two or more fasteners in a row, a group action factor is calculated for each shear

plane using an A_s based on the thinnest member adjacent to the plane being considered.

Perpendicular to Grain Loading.- The number of fasteners in a row perpendicular to grain are generally limited in order to avoid splitting that can occur as a result of drying (see C10.3.3). When a row of multiple fasteners are used perpendicular to grain, it is standard practice to use the same group action factor as that for fasteners aligned parallel to grain. This practice is based on the assumption that use of the member and connection stiffnesses perpendicular to grain in NDS Equation 10.3-1 would result in similar group action factors.

C11 DOWEL – TYPE FASTENERS

C11.2 Reference Withdrawal Design Values

C11.2.1 Lag Screws

C11.2.1.1 NDS Equation 11.2-1 was used to establish the lag screw reference withdrawal design values given in NDS Table 11.2A. This equation was derived from the following equation based on research (181, 100):

$$W = K_w G^{3/2} D^{3/4} \quad (\text{C11.2.1-1})$$

Where:

- W = reference withdrawal design value per inch of thread penetration into main member, lbs
- K_w = 1800
- G = specific gravity of main member based on oven-dry weight and volume, where $0.31 < G < 0.73$
- D = lag screw thread diameter (equivalent to unthreaded shank diameter for full body diameter lag screws), in., where $0.25 < D < 1.25$

The value of K_w represents approximately 1/4 (1/5 increased by 20 percent) of the average constant at oven-dry weight and volume obtained from ultimate load tests of joints made with five different species and seven sizes of lag screw (100), increased by 20 percent; or

$$K_w = 1.2 \left(\frac{7500}{5} \right) \quad (\text{C11.2.1-2})$$

The 20 percent increase was introduced as part of the World War 11 emergency increase in wood design values, and then subsequently codified as 10 percent for the change from permanent to normal loading and 10 percent for experience (see C2.3.2).

When the reference withdrawal capacity of a lag screw is determined by multiplying the reference unit design value by the length of penetration of the threaded portion into the side grain of the main member, the length of the tapered tip of the screw is not to be included. This tapered portion at the tip of the lag screw was not considered as part of the effective penetration depth in the original joint tests (100). In addition, the thickness of any washer used between the lag screw head and the cleat or side member should be taken into account when determining the length of penetration of the threaded portion in the main member. Standard lag screw dimensions, including minimum thread length and length of tapered tip, are given in NDS Appendix L.

C11.1.2.1.2 Reference withdrawal design values for lag screws are reduced 25 percent when the screw is inserted in the end grain (radial-tangential plane) of the main member rather than the side grain (radial-longitudinal or tangential-longitudinal plane) based on lag screw joint tests (100). Because of the greater possibility of splitting when subject to lateral load, it has been recommended that insertion of lag screws in end grain surfaces be avoided (181, 96).

C11.2.1.3 See C10.2.3.

C11.2.2 Wood Screws

C11.1.2.2.1 NDS Equation 11.2-2 was used to establish the wood screw reference withdrawal design values given in NDS Table 11.2B. This equation was based on testing of cut thread wood screws in seven wood species (43):

$$W = K_w G^2 D \quad (\text{C11.2.2-1})$$

Where:

W = reference withdrawal design value per inch of thread

- penetration into main member, lbs
- K_w = 2850
- G = specific gravity of main member based on oven-dry weight and volume, where $0.31 < G < 0.73$
- D = wood screw thread diameter, in, where $0.138 < D < 0.372$

The value of K_w represents 1/5 (1/6 increased by 20 percent) of the average constant at oven-dry weight and volume obtained from ultimate load tests of joints (43) made with seven different species and cut-thread wood screw; or

$$K_w = 1.2 \left(\frac{14250}{6} \right) \quad (C11.2.2-2)$$

The 20 percent increase was introduced as part of the World War II emergency increase in wood design values, and then subsequently codified as 10 percent for the change from permanent to normal loading and 10 percent for experience (see C2.3.2).

Wood screw reference withdrawal design values are based on tests of cut thread wood screws. The shank or body diameter of a cut thread screw is the same as the outside diameter of the thread. The shank or body diameter of the rolled thread screw is the same as the root diameter. For the same nominal diameter of screw, both screw thread types have the same threads per inch, the same outside thread diameter, and the same thread depth. If the tensile strength of the screw is adequate and the lead hole provisions based on root diameter are used, the withdrawal resistance of rolled thread screws is considered equivalent to that of cut thread screws (182, 163).

The ANSI/ASME B18.6.1 standard states that the thread length is approximately 2/3 of the nominal screw length.

C11.2.2.2 Early tests of wood screws in withdrawal from end grain surfaces of oak, southern pine, maple, and cypress gave somewhat erratic results relative to those for withdrawal from side grain (43). These irregular results were attributed to the tendency of the screw to split the wood in the end grain configuration. Average ratios of end grain withdrawal resistance to side grain withdrawal resistance ranged from 52 to 108 percent (43). Because of this variability,

structural loading of wood screws in withdrawal from end grain has been prohibited.

C11.2.2.3 See C10.2.3.

C11.2.3 Nails and Spikes

C11.2.3.1 NDS Equation 11.2-3 was used to establish the nail and spike reference withdrawal design values given in NDS Table 11.2C. This equation was based on research (94, 95):

$$W = K_w G^{5/2} D \quad (\text{C11.2.3-1})$$

where:

- W = nail or spike withdrawal design value per inch of penetration in main member, lbs
- K_w = 1380
- G = specific gravity of main member based on oven-dry weight and volume, where $0.31 < G < 0.73$
- D = shank diameter of the nail or spike, in., where $0.099 < D < 0.375$

The value of K_w represents 1/5 (1/6 increased by 20 percent) of the average constant at oven-dry weight and volume obtained from ultimate load tests (184), increased by 20 percent; or

$$K_w = 1.2 \left(\frac{6900}{6} \right) \quad (\text{C11.2.3-2})$$

The 20 percent increase was introduced as part of the World War II emergency increase in wood design values, and then subsequently codified as 10 percent for the change from permanent to normal loading and 10 percent for experience (see C2.3.2).

For 8d, 10d, 16d, and 20d threaded hardened nails, reference withdrawal design values are the same as those for common wire nails of the same pennyweight class, although the wire diameters are slightly different (0.120", 0.135", 0.148", and 0.177" for threaded hardened nails versus 0.131", 0.148", 0.162", and 0.192" for common nails, respectively). Threaded hardened nail sizes of 20d,

30d, 40d, 50d, and 60d all have the same diameter (0.177") and, therefore, use the same reference withdrawal design value. Threaded hardened nail sizes of 70d, 80d, and 90d all have the same diameter (0.207") and use the same reference withdrawal design value as a 40d common nail.

Clinching.- Withdrawal resistance of smooth-shank nails can be significantly increased by clinching (29).

C11.2.3.2 Reduction of withdrawal design values up to 50 percent have been reported for nails driven in end grain surfaces (radial-tangential plane) as compared to side grain (radial-longitudinal or tangential-longitudinal planes) surfaces (184,118). When coupled with the effects of seasoning in service after fabrication, such reductions are considered too great for reliable design. On this basis, structural loading of nails in withdrawal from end grain has been prohibited.

C11.2.4 Drift Bolts and Drift Pins

C11.2.4.1 While specific provisions for determining withdrawal design values for round drift bolts or pins are not included in the Specification, the following equation has been used where friction and workmanship can be maintained (184,181):

$$W = 1200G^2D \quad (C11.2.4-1)$$

where:

- W = drift bolt or drift pin reference withdrawal design value per inch of penetration, lbs
- G = specific gravity based on oven-dry weight and volume
- D = drift bolt or drift pin diameter, in.

Equation C11.2.4-1 assumes the fastener is driven into a prebored hole having a diameter 1/8" less than the fastener diameter (184). The reference withdrawal design values calculated with Equation C11.2.4-1 are approximately 1/5 average ultimate test values (184, 181).

C11.3 Reference Lateral Design Values

Reference lateral design values for dowel-type fasteners (bolts, lag screws, wood screws, nails, and spikes) are based on a yield limit model which specifically

accounts for the different ways these connections can behave under load. These behavior patterns or modes (see NDS Appendix I) are uniform bearing in the wood under the fastener, rotation of the fastener in the joint without bending, and development of one or more plastic hinges in the fastener (67, 122). Equations have been developed for each mode relating the joint load to the maximum stresses in the wood members and in the fastener (67, 121). The capacity of the connection under each yield mode is keyed to the bearing strength of the wood under the fastener and the bending strength of the fastener, with the lowest capacity calculated for the various modes being taken as the reference design value for the connection.

Although the yield limit model represents significantly different methodology than that used previously to establish fastener design values, the relative effects of various joint variables shown by both procedures are generally similar (85, 86, 89, 121). Short-term design values obtained from application of the yield limit equations have been reduced to the average design value levels published in previous editions of the Specifications for connections made with the same species and member sizes.

Bolts: Reference design values for bolted connections are indexed to proportional limit estimates from bolted connection tests (44, 57, 146, 162) at reference conditions (seasoned dry, normal load duration).

Lag Screws: Reference design values for lag screw connections are indexed to average proportional limit estimates from short-term tests (100) divided by 1.875. The 1.875 factor is based on an original reduction factor of 2.25, increased 20 percent for normal loading and experience. The 20 percent increase was introduced as part of the World War II emergency increase in wood design values, and then subsequently codified as 10 percent for the change from permanent to normal loading and 10 percent for experience (see C2.3.2).

Wood Screws: Reference design values for wood screw connections are indexed to average short-term proportional limit test values (184, 70) divided by 1.33. The 1.33 factor is based on an original reduction factor of 1.6, increased 20 percent for normal loading and experience. The 20 percent increase was introduced as part of the World War II emergency increase in wood design

values, and then subsequently codified as 10 percent for the change from permanent to normal loading and 10 percent for experience (see C2.3.2). Lateral design values for wood screw connections at reference conditions (seasoned dry, normal load duration) are about 1/5 of maximum, tested capacities (184).

Nails and Spikes: Reference design values for nailed connections are indexed to average short-term proportional limit test values (184, 50) divided by 1.33. The 1.33 factor is based on an original reduction factor of 1.6, increased 20 percent for normal loading and experience. The 20 percent increase was introduced as part of the World War 11 emergency increase in wood design values, and then subsequently codified as 10 percent for the change from permanent to normal loading and 10 percent for experience (see C2.3.2). Lateral design values for nail connections at reference conditions (seasoned dry, normal load duration) are about 1/5 of maximum tested capacities for softwoods and 1/9 of maximum tested capacities for hardwoods (184, 50).