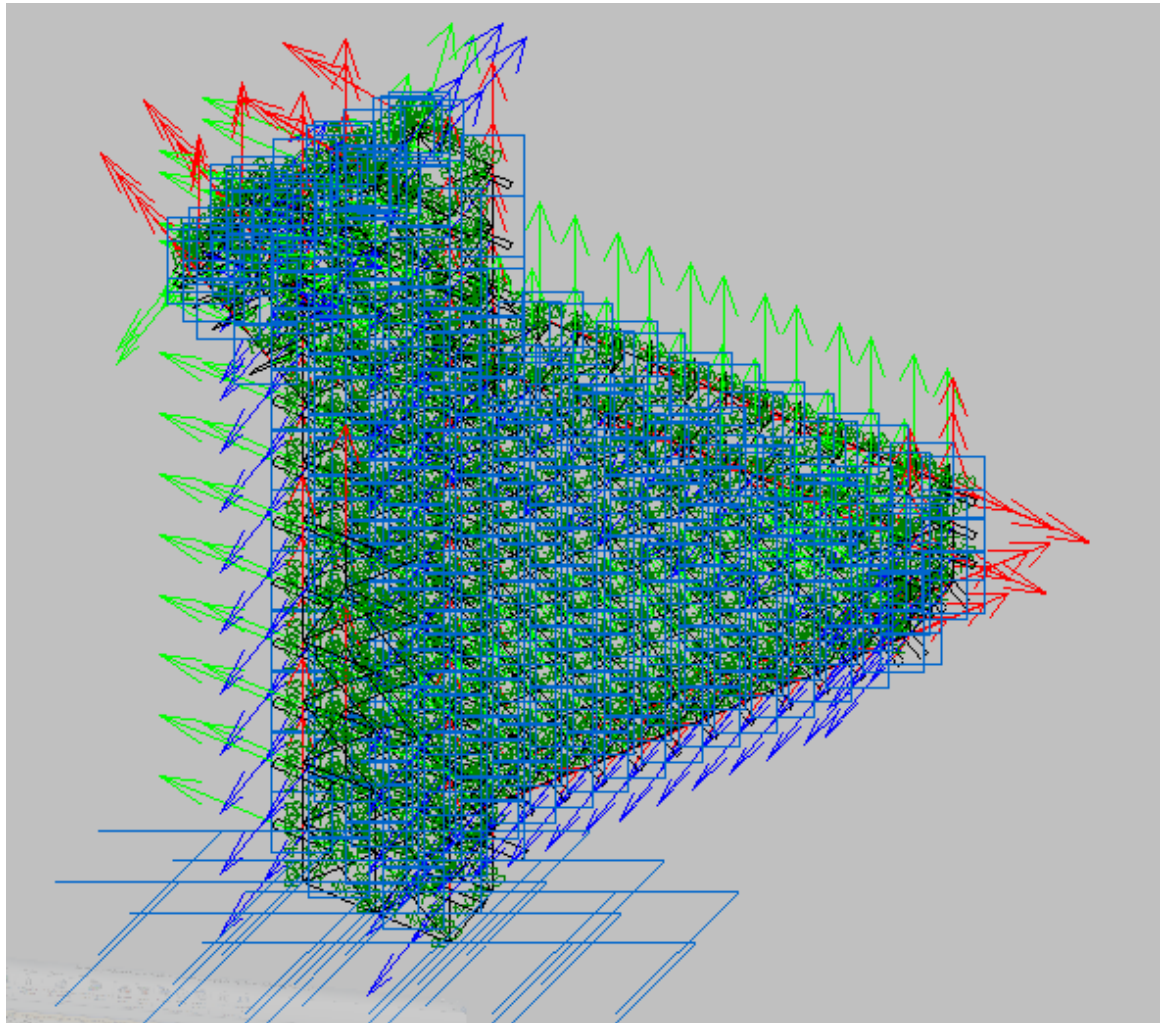


PROYECTO FIN DE CARRERA



PROYECTO DE DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA DE MADERA SIN MOVIMIENTO



INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL
Especialidad Mecánica

Autor: Alberto Alejo Serrano Remón
Director: Jorge Grasa Orús

Proyecto Final de Carrera
DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA
DE MADERA SIN MOVIMINETO





INDICE

PREFACIO.....	5
Origen del proyecto	5
Motivación	5
INTRODUCCION.....	5
Objetivos del proyecto	5
Metodología utilizada	6
Tipos de grúas.....	6
Grúas automontables.....	8
Descripción general de la grúa torre fija sin movimiento.....	8
ESTUDIO DE MATERIAL.....	12
Pruebas preliminares	13
Pruebas experimentales.....	18
Descripción geométrica de las probetas.....	18
Descripción de la máquina de ensayo	19
Objetivo de los Ensayos.....	20
Determinación de propiedades mecánicas	21
Prueba experimental: Flexión.....	21
Objetivos de ensayo	21
Descripción del ensayo	21
Análisis de resultados	23
Prueba experimental: Tracción.....	27
Objetivos de ensayo	27
Descripción del ensayo	27
Análisis de resultados	27
Prueba experimental: Cizalladura	30
Objetivos de ensayo	30
Descripción del ensayo	30
Análisis de resultados	31
Resistencia a compresión	33
Asignación de una clase resistente	33
Aplicación del DB SE -M	34
DISEÑO DE LA ESTRUCTURA	37
Descripción de diseño de la estructura.....	39
Mástil:	39
Flecha:	40
Contraflecha:	40
Portaflechas:	41
Cable:	41
Base:	41
Punto de apoyo del cable sobre la estructura:	41
Método de carga de la estructura:	42
SIMULACION EN CYPE	43
Modelo en Cype:	43
Descripción de los nudos y barras.....	44
Especificaciones especiales de diseño	46

Proyecto Final de Carrera
DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA
DE MADERA SIN MOVIMINETO



<i>Calculo de la estructura con diferentes cargas:</i>	46
<i>Definir condiciones:</i>	46
Clase de servicio:	46
Agrupar planos	47
Descripción de barras	47
Aplicación de la carga	48
<i>Aplicación de la carga</i>	49
Carga de 0.15 KN	49
Carga de 0.3 KN	49
Carga de 0.45 KN	49
Reducción	51
Carga de 0.55 KN	53
Carga máxima	55
<i>Resumen</i>	56
MONTAJE DE LA GRUA	57
Montaje Mástil:	57
Montaje Flecha:	58
Montaje Portaflechas:	58
Montaje Contraflecha	59
Conclusiones	60
Bibliografía	62
ANEXO A	67
ANEXO B	77
ANEXO C	86
Descripción de las pruebas preliminares visuales	86
Pruebas experimentales	87
DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS	87
ENSAYO DE FLEXION	89
Probeta 1	89
Probeta 2	90
Probeta 3	91
Probeta 4	92
Probeta 5	93
Recopilación de datos	94
ENSAYO DE TRACCION	95
Probeta 1	96
Probeta 2	98
Probeta 3	99
Probeta 4	100
Probeta 5	101
Recopilación de datos	102
ENSAYO DE CIZALLADURA	103
Probeta 1	104
Probeta 2	105
Probeta 3	106
Probeta 4	107
Probeta 5	108
Recopilación de datos	109



PREFACIO

Origen del proyecto

El presente proyecto tiene su origen a partir de la participación en el primer concurso nacional de grúas con palos de helado realizado el pasado día 24 de Abril del 2009 en la universidad Carlos III de Madrid. Partiendo de las dimensiones dadas por la organización y tras identificar todos los elementos estructurales, se ha procedido al ensayo de los materiales y el posterior diseño de la grúa.

Se ha escogido este proyecto debido a la participación en dicho concurso en la citada fecha y con el objetivo de poder mejorar el diseño realizado.

Motivación

La principal motivación para realizar este proyecto, es la posibilidad de diseñar un modelo de grúa donde intervienen todos los conceptos y metodologías fundamentales de la ingeniería mecánica como son los pertenecientes a la elasticidad, resistencia de materiales, y cálculo y diseño de estructuras.

Por último, ha sido relevante para elegir este proyecto la importancia de los aparatos de elevación en la sociedad actual donde la gran mayoría de edificaciones utilizan una grúa para agilizar los trabajos de construcción.

INTRODUCCION

Objetivos del proyecto

El objetivo del presente proyecto es el diseño, calculo y construcción de una maqueta de una grúa fija de madera sin movimiento de 2 kg máximo de peso. La grúa debe tener como máximo una altura útil de 1 metro, una longitud de 0.75 metros de pluma, y el material a utilizar para llevar a cabo su construcción son palillos de madera de medidas 114x10 mm de origen canadiense. Estas medidas vienen recogidas en el Primer Concurso Nacional de Grúas de Madera, realizado el pasado 24 de abril del 2009 en la universidad Carlos Tercero de Madrid.

El momento de ensayar la grúa, consistirá en aplicar una carga mínima, durante un tiempo cautelar (5 segundos), en que posteriormente se incrementara la carga, manteniéndola ese mismo espacio de tiempo, a lo que posteriormente se volverá a aumentar la carga, siguiendo este proceso hasta el colapso de la estructura.

Estas limitaciones suponen una nueva motivación para este proyecto, ya que pone unas características en el diseño, lo que supone un reto para el diseño y calculo.



Metodología utilizada

Se ha pretendido a lo largo del proyecto explicar y justificar todas las decisiones tomadas sin olvidar el carácter práctico que ha de tener el diseño de esta grúa y la construcción del modelo. Se ha indagado también en muchos aspectos teóricos al elaborar este proyecto utilizando conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, como nuevos conceptos de utilidad para un futuro profesional.

La metodología utilizada para el cálculo de la grúa se distingue en distintas partes:

- Estudio del material a través de ensayos experimentales.
- Diseño de un modelo base a través de AUTOCAD.
- Introducción de dicho modelo en CYPE.
- Carga de dicho modelo a través de CYPE
- Refuerzo de la grúa en aquellas partes o uniones más solicitadas y repitiendo el paso anterior hasta alcanzar la carga máxima.
- Construcción de la maqueta a escala real, cargando la grúa hasta el colapso para demostrar los cálculos realizados.

Tipos de grúas

Para el diseño y construcción de la grúa del presente proyecto, se ha de conocer antes los diferentes tipos de grúas para poder escoger el modelo que más se ajuste a nuestro propósito.

De todos los tipos de grúas (puente grúa, grúa pórtico, grúa consola,...) se describirán brevemente aquellas utilizadas para la edificación. Se pueden clasificar en tres tipos:

Grúas torre

Las grúas torre son las más utilizadas en la edificación ya que permiten una gran altura de trabajo así como una gran capacidad de carga. Otra ventaja importante es el poco espacio que requieren en la base, ya que el contrapeso está situado en la contraflecha y el mástil es fijo. Su principal inconveniente es el montaje largo y dificultoso, que obliga la mayoría de las veces a utilizar una grúa telescópica. La grúa del presente proyecto pertenece a este grupo.

La gama de grúas torre existentes en el mercado es muy extensa. Las tres principales características son alcance máximo, carga máxima en el extremo y





altura bajo gancho. De entre los líderes mundiales de fabricación de grúas torre como Potain o Liebherr estos valores varían entre 16m a 65m y un intervalo de cargas de entre 1.1 T. a 10 T.

Constructivamente se puede diferenciar varios tipos de grúas torre, de las cuales, si las clasificamos por su movilidad:

Fijas: Son las grúas que no incorporan en su funcionamiento maniobras de traslación, es decir, la capacidad de trasladarse a sí mismas de modo autónomo por medio de raíles u otros medios.

-Apoyadas: Son aquellas que centran su gravedad por medio de contrapesos o lastres situados en su base.

-Empotradas: Son aquellas que centran su gravedad en el suelo por medio de un primer tramo de su torre anclado al suelo encofrándose con hormigón en una zapata o con otros medios análogos.

Móviles: Son aquellas que poseen capacidad de movimiento autónomo.

-Con traslación: Por regla general por medio de raíles convenientemente situados en el suelo.



-Trepadora: Capaces de elevarse por medio de sistemas de trepado (con cables o cremalleras) firmemente hasta el edificio que se construye.

Telescópica: Capaces de elevarse sobre sí mismas alargándose por medio de tramos anchos y estrechos embebidos unos sobre otros.

Si las clasificamos por su pluma:

Grúa de pluma horizontal

Grúa de pluma abatible

Las grúas torres de pluma abatible son capaces de producir momentos de carga superiores



La grúa del presente proyecto pertenece a grúa torre fija apoyada con pluma horizontal sin rotación.

Grúas telescópicas

Las grúas telescópicas son utilizadas cuando se precisa un aparato de elevación para un corto espacio de tiempo. Suelen ir siempre montadas sobre un vehículo por lo que también reciben el nombre de grúas automóviles. Su desplazamiento es pues muy rápido. El tiempo de montaje es muy corto ya que basta con desplegar la pluma telescópica. Su principal inconveniente es el espacio de giro que ocupa al trabajar la pluma en una posición inclinada, Se usa principalmente para montar naves industriales.

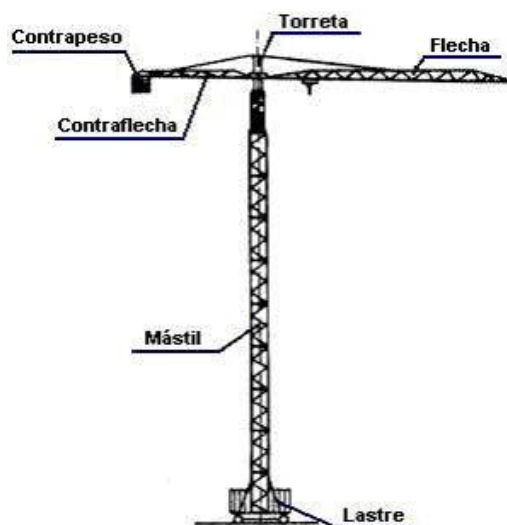
Grúas automontables

Su principal característica es la facilidad para su montaje. A diferencia de las grúas torres, el contrapeso está situado en la base ya que el giro se efectúa desde esta. La altura y el radio de alcance son inferiores a los de la grúa torre.



Descripción general de la grúa torre fija sin movimiento

La grúa torre fija es un tipo de aparato de elevación cuyo principal problema es el montaje de esta debido a lentitud y complejidad. Para ello se compone de distintos conjuntos comunes a todos los tipos de grúas torres. Estos conjuntos tal y como se ve en la posterior imagen son:





Mástil

Consiste en una estructura de celosía metálica de sección normalmente cuadrada, cuya principal misión es dotar a la grúa de altura suficiente. Normalmente está formada por módulos de celosía que facilitan el transporte de la grúa. Para el montaje se unirán estos módulos, mediante tornillos, llegando todos unidos a la altura proyectada. Su forma y dimensión varía según las características necesarias de peso y altura.

En la parte superior del mástil se sitúa la zona giratoria que aporta a la grúa un movimiento de 360° horizontales. También según el modelo puede disponer de una cabina para su manejo por parte de un operario.

Para el acceso de operarios dispondrá de una escala metálica fijada a la estructura.

Flecha

Es una estructura de celosía metálica de sección normalmente triangular, cuya principal misión es dotar a la grúa del radio o alcance necesario. Su forma y dimensión varía según las características necesarias de peso y longitud. También se le suele llamar pluma.

Al igual que el mástil suele tener una estructura modular para facilitar su transporte.

Para desplazarse el personal especializado durante los trabajos de montaje, revisión y mantenimiento a lo largo de la flecha, dispondrá de un elemento longitudinal, cable fijador, al que se pueda sujetar el mosquetón del cinturón de seguridad.

Contraflecha

La longitud de la contraflecha oscila entre el 30 y el 35 % de la longitud de la pluma. Al final de la contraflecha se colocan los contrapesos. Esta unido al mástil en la zona opuesta a la unión con la flecha. Está formada una base robusta formada por varios perfiles metálicos, formando encima de ellos una especie de pasarela para facilitar el paso del personal desde el mástil hasta los contrapesos. Las secciones de los perfiles dependerán de los contrapesos que se van a colocar.

Contrapeso

Son estructuras de hormigón prefabricado que se colocan para estabilizar el peso y la inercia que se produce en la flecha grúa. Deben estabilizar la grúa tanto en reposo como en funcionamiento.

Tanto estos bloques como los que forman el lastre deben de llevar identificado su peso de forma legible e indeleble.



Lastre

Puede estar formada por una zapata enterrada o bien por varias piezas de hormigón prefabricado en la base de la grúa. Su misión es estabilizar la grúa frente al peso propio, al peso que pueda trasladar y a las condiciones ambientales adversas (viento).

Carro

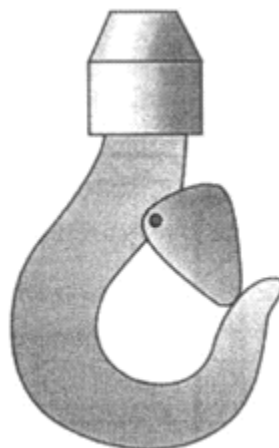
Consiste en un carro que se mueve a lo largo de la flecha a través de unos carriles. Este movimiento da la maniobrabilidad necesaria en la grúa. Es metálico de forma que soporte el peso a levantar.



Cables y gancho

El cable de elevación es una de las partes más delicadas de la grúa y, para que dé un rendimiento adecuado, es preciso que sea usado y mantenido correctamente. Debe estar perfectamente tensado y se hará un seguimiento periódico para que, durante su enrollamiento en el tambor no se entrecruce, ya que daría lugar a aplastamientos.

El gancho irá provisto de un dispositivo que permite la fácil entrada de cables de las eslingas y estrobos, y de forma automática los retenga impidiendo su salida si no se actúa manualmente.





Motores

La grúa más genérica está formada por tres motores eléctricos:

Motor de elevación: permite el movimiento vertical de la carga.

Motor de distribución: da el movimiento del carro a lo largo de la pluma.

Motor de orientación: permite el giro de 360°, en el plano horizontal, de la estructura superior de la grúa.



ESTUDIO DE MATERIAL

El objetivo principal en este apartado es determinar las propiedades mecánicas del material que vamos a utilizar en la construcción de nuestra grúa, para así poder diseñar una estructura que se adopte a estas propiedades.

Para esta determinación hay que seguir la normativa vigente, UNE EN 338, la cual hace referencia al término clase resistente.

Esta asignación de clase resistente es debida a la variabilidad de los tipos de calidades de las maderas utilizadas, la diversidad de sus aplicaciones y de las capacidades de producción de las industrias de la madera de cada región, lo que origina una multiplicidad de combinaciones de especies y calidades con propiedades mecánicas diferentes, lo que complica el cálculo y la especificación de las estructuras de madera. Un sistema de clases resistentes reagrupa a la vez las calidades y las especies que tengan niveles de resistencia similares, haciéndolas de esta forma intercambiables. Esto permite al calculista prescribir una clase resistente determinada y utilizar los valores característicos de dicha clase para el diseño y el cálculo. Por lo que se realizó un agrupamiento de las diferentes propiedades de las maderas bajo una clasificación de clases resistentes.

La normativa UNE EN 338 hace referencia a la normativa UNE EN 14081-1:2006, la cual explica y asigna los diversos métodos que existen para dicha asignación.

Recopilando información de la UNE EN 14081-1:2006, explica que existen fundamentalmente dos métodos de clasificación estructural de la madera: La clasificación visual y la clasificación mecánica.

Respecto a la clasificación visual, hay muchos reglamentos diferentes en Europa. Estos responden a diferentes criterios, entre ellos los siguientes:

- Diferentes especies o grupos de especies;
- Procedencias geográficas;
- Diferentes requisitos dimensionales;
- Requisitos variados para diversas utilizaciones;
- Calidad del material disponible;
- La práctica histórica o las costumbres.

Y la clasificación mecánica es de uso común en diversos países. En estos países utilizan dos sistemas básicos conocidos como máquina controlada y control de la producción. Los dos sistemas requieren un control visual previo para evaluar las características reductoras de la resistencia que no son detectadas automáticamente por la máquina.

- El sistema de control de la producción es adecuado cuando las máquinas se ubican en los aserraderos que clasifican un número limitado de tamaños, especies y calidades en lotes de producción repetidos que se corresponden
-



- con un turno o más de producción. Esto permite controlar el sistema ensayando probetas de madera extraídas de la producción diaria. Estos ensayos junto con los procedimientos estadísticos, permiten controlar y ajustar los parámetros de la máquina con el fin de mantener las propiedades de resistencia especificadas para cada clase resistente. Con este sistema es posible rebajar las exigencias de aceptación de las máquinas así como la utilización de equipos del mismo tipo con prestaciones y características diferentes.
- El sistema de máquina controlada se ha desarrollado en Europa. Debido a la gran diversidad de tamaños, especies y calidades utilizadas, no ha sido posible realizar ensayos de control de calidad sobre probetas extraídas de la producción. El sistema se basa, por tanto, en la premisa de que las máquinas estén estrictamente ajustadas y controladas, y en esfuerzos de investigación considerables para ajustar los parámetros de la máquina que permanecen constantes para todas las máquinas de un mismo tipo.

Según el Anexo A, el material es Chopo procedente de Canadá, que según el método de clasificación visual no admite este origen, ya que esta especie solo se contempla procedente de Francia, por lo que se ha decidido seguir el método de clasificación mecánica, más específicamente, el de máquina controlada y los datos obtenidos de los diferentes ensayos, deben ser iguales o mayores al valor de la clase resistente a asignar, según la norma UNE-EN 338.

Haciendo referencia a la normativa UNE-EN 14081-1:2006 en su apartado de pruebas mecánicas para la clasificación mecánica, esta establece un procedimiento a seguir en este proceso. Primero se debe realizar unas pruebas preliminares, las cuales consisten en una inspección visual de la madera, con el objetivo de determinar una calidad mínima de la madera y posteriormente, después de haberlo clasificado visualmente, se procede al cálculo de sus propiedades mecánicas a través de los ensayos determinados en la normativa vigente.

A través de estos comentarios se puede determinar que el estudio de material tiene como objetivo principal el asignar una clase resistente al material, a través de los ensayos impuestos en la normativa UNE-EN 14081-1:2006, cuyas características mecánicas resultantes deben ser iguales o mayores a las características mecánicas del grupo a asignar expuestos en la normativa UNE-EN 338.

Pruebas preliminares

Estas pruebas preliminares, que consisten en pruebas visuales (UNE-EN 14081-1:2006), que no tienen como objetivo determinar la clase resistente de la madera, si no determinar la calidad de la madera para su posterior clasificación mecánica.

La calidad de la madera hace referencia al número y tamaño de imperfecciones que tiene cada varilla de madera.



Esta calidad debe ser como mínima, la calidad expuesta en la tabla 1.

Tabla 1
Requisitos visuales preliminares

Clase resistente conforme a la norma europea EN-338		C18 o inferior	C18 o superior
		Las fendas menores a la mitad del grosor pueden despreciarse	
Longitud máxima de las fendas	Fendas no pasantes	Menor o igual a 1,5 m, o la mitad de la longitud de la pieza, la que sea menor	Menor o igual a 1 m, o 1/4 de la longitud de la pieza, la que sea menor
	Fendas pasantes	Menor o igual a 1 m, o 1/4 de la longitud de la pieza, la que sea menor. En los extremos, longitud no mayor de dos veces el ancho de la pieza.	Se admiten solo en los extremos y de una longitud no mayor al ancho de la pieza
Deformaciones máximas en mm por cada 2 mm de longitud	curvatura longitudinal de la cara	20 mm	
	curvatura de canto	12 mm	
	alabeo	2mm/25mm de anchura	
	abarquillado	Sin limitación	
Gemas		Las gemas no deben reducir las dimensiones del canto o la cara de la pieza más de un tercio.	
Pudrición y mohos (véase En 844-10)		No se admite pudrición blanda Se admite el moho	No se admiten ni pudrición blanda ni moho*
Daños de insectos		No se admiten ataques activos. No se admiten orificios. Los orificios de ataque y picaduras deben evaluarse como defectos anormales	
Defectos anormales		Cuando la reducción de la resistencia provocada por un defecto anormal es claramente inferior a la originada por otros defectos admitidos en esta tabla, la pieza puede aceptarse siempre que el defecto sea de un tipo que no aumente después de la transformación y el secado.	

Se decidió hacer las pruebas visuales a la totalidad del material a utilizar en la construcción y aunque un número reducido de palillos tuviesen defectos mínimos,

Proyecto Final de Carrera
DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA
DE MADERA SIN MOVIMINETO



, se excluyó cualquier palillo que tuviese cualquier defecto, indiferentemente del tamaño de este, para mayor seguridad de la construcción y así poder asignar una clase resistente superior a C18.

Tabla 2
Requisitos preliminares visuales en los tramos clasificados mecánicamente de forma incompleta

	CLASE RESISTENTE SEGÚN EN-338	
	C18 o inferior	C18 o superior
Diámetro de los nudos sobre la cara	½ de la anchura de la pieza	¼ del grosor de la pieza
Diámetro de los nudos sobre el canto	¾ del grosor de la pieza	½ del grosor de la pieza
Desviación de la fibra	1:6	1:10
Nota 1: Estos límites máximos solo se aplican cuando el tamaño de los nudos y de la desviación de la fibra del tramo clasificado mecánicamente de forma incompleta superan el tamaño de las características similares del tramo de la misma pieza clasifica mecánicamente		
Nota2: El diámetro del nudo se mide perpendicularmente al eje longitudinal de la pieza de madera. Para los nudos de arista, las limitaciones aquí establecidas se aplican a la parte visible del nudo sobre la cara o el canto considerados.		

Respecto a estas pruebas, se realizó las mismas exclusiones sobre cualquier material que presentase cualquier defecto.

Todos estos resultados son expuestos en el Anexo C.

Posteriormente de haber realizado estas pruebas visuales preliminares, los métodos de ensayo y evaluación deben ser conformes con la Tabla 3, en referencia a la normativa UNE-EN 14081-1:2006



Tabla 3
Normativa de clasificación según propiedad

Propiedad	Requisitos	Método	Numero de probetas	Criterios de conformidad
Resistencia característica: <ul style="list-style-type: none"> - Flexión - Compresión - Tracción - Cortante - Densidad 		Véase norma europeas En-408, o para clasificación mecánica , norma europea EN-14081-2	Véase norma europeas En-384, o para clasificación mecánica , norma europea EN-14081-2	Los valores característicos estimados según la norma En- 384 no deben ser menores a los declarados. Para la clasificación mecánica véase norma En- 14081-2
Módulo de elasticidad		Véase norma europeas En-408, o para clasificación mecánica , norma europea EN-14081-2	Véase norma europeas En-384, o para clasificación mecánica , norma europea EN-14081-2	Los valores característicos estimados según la norma En- 384 no deben ser menores a los declarados. Para la clasificación mecánica véase norma En- 14081-2
Durabilidad natural	Hongos: Clases 1-5; Termitas, insectos perforadores de la madera y xilófagos marinos: Clases D, M y S. Coleópteros Clases D,S,SH			
Madera tratada contra agentes biológicos				

Proyecto Final de Carrera
DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA
DE MADERA SIN MOVIMINETO



Según la normativa vigente, nos dirige hacia la norma EN-14081-2:2005, pero debido al caso excepcional de nuestro material, tanto de forma de las probetas que son de tamaño reducido, como de la forma, (pequeño espesor y planas), se ha decidido, de acuerdo con el supervisor del proyecto, realizar las pruebas en la máquina de ensayos reglamentada en la Universidad de Zaragoza (Departamento de Ingeniería Mecánica) y a partir de los resultados, calcular los datos necesarios para poder asignar la clase resistente según la normativa correspondiente. (UNE EN-338), según la tabla 4:

Tablas 4
Clases resistentes. Valores característicos

	Coníferas y chopos												Fronosas					
	C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70
Propiedades de resistencia (N/mm²)																		
Flexión	14	16	18	20	22	24	27	30	35	40	45	50	30	35	40	50	60	70
Tracción paralela a la fibra	8	10	11	12	13	14	16	18	21	24	27	30	18	21	24	30	36	42
Tracción perpendicular a la fibra	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Compresión paralela a la fibra	16	17	18	19	20	21	22	23	25	26	27	29	23	25	26	29	32	34
Compresión perpendicular a la fibra	2	2,2	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	8	8,4	8,8	9,7	10,5	13,5
Cortante	1,7	1,8	2	2,2	2,4	2,5	2,8	3	3,4	3,8	3,8	3,8	3	3,4	3,8	4,6	5,3	6
Propiedades de rigidez (en KN/mm²)																		
Modulo de elasticidad medio paralelo a la fibra	7	8	9	9,5	10	11	11,5	12	13	14	15	16	10	10	11	14	17	20
Modulo de elasticidad paralelo a la fibra (5° percentil)	4,7	5,4	6	6,4	6,7	7,4	7,7	8	8,7	9,4	10	10,7	8	8,7	9,4	11,8	14,3	16,8
Modulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra	0,23	0,27	0,3	0,32	0,33	0,37	0,38	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,64	0,69	0,75	0,93	1,13	1,33
Modulo medio de cortante	0,44	0,5	0,56	0,59	0,63	0,69	0,72	0,75	0,81	0,88	0,94	1	0,6	0,65	0,7	0,88	1,06	1,25
Densidad (en kg/m³)																		
Densidad	290	310	320	330	340	350	370	380	400	420	440	460	530	560	590	650	700	900
Densidad media	350	370	380	390	410	420	450	460	480	500	520	550	640	670	700	780	840	1080



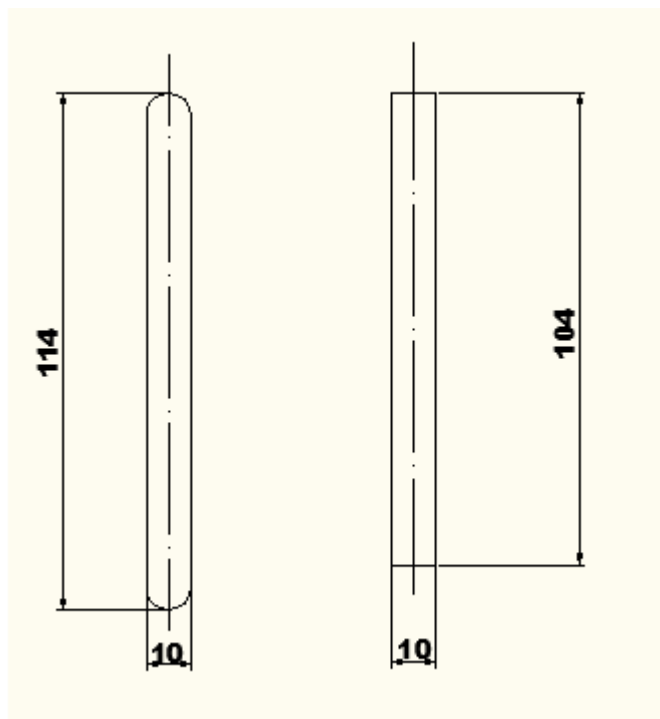
Pruebas experimentales

Este capítulo describe las pruebas experimentales que consisten en someter a un número representativo de probetas del material a diferentes esfuerzos con el objetivo de determinar diferentes características mecánicas, y a través de estas, poder asignar una clase resistente a través de la tabla 4. Además, después de haber comparado y obtenido estos valores, se introducirán en Nuevo Metal 3D, módulo de CYPE, donde será necesaria la clasificación resistente del material, A partir de esta clasificación, el programa asignara una serie de características mecánicas determinadas, y así será posible obtener los diferentes esfuerzos a los que se encuentre sometido el modelo creado.

Descripción geométrica de las probetas

En las siguientes pruebas se va a realizar los ensayos sobre la misma geometría de probeta. El material es recibido de fábrica en cajas de 10000 Uds. cada una, en las cuales cada varilla tiene forma rectangular de medidas 114 x10x2mm, acabando en los extremos en forma de semicircunferencia (VER ANEXO B. Planos).

Esta forma de acabado en los extremos de los elementos de la estructura impide un total apoyo entre los palillos. Por ello se decidió realizar en todas las varillas un corte perpendicular, eliminando así los extremos de las varillas y convirtiéndolas en rectángulos, para asegurar el contacto total de todas las varillas.





Por ello, las medidas finales de los palos, y por tanto de las probetas será de 104x10x2mm. Posteriormente se realizara otro corte de 45° en los extremos para los palos de unión entre cerchas. Este tipo de corte se comentará posteriormente en la fase de construcción.

Observando las pruebas preliminares, (para comentarios sobre este hecho ver el ANEXO C) se puede comprobar que una gran parte de la población comprobada carece de fallos, por lo que se ha determinado que realizar cada prueba experimental con una población de 5 probetas será una representación suficiente de la serie entera.

Descripción de la máquina de ensayo

La máquina que va a realizar los ensayos se trata del modelo INSTRON8874 Axial-Torsión-Fatiga, que siendo un sistema servo hidráulico, viene equipado con el sistema informático de la serie 8800. Para los diferentes ensayos, se debe cambiar los sistemas de utillajes utilizados en la máquina. Para el ensayo de flexión se deben instalar tres rodillos, dos en la parte inferior para apoyos y el ultimo en la parte superior para aplicar la carga en la parte central de la probeta.

En el ensayo a tracción, se deberán instalar dos mordazas, las cuales estarán una en la parte inferior sujeta a la base, mientras la otra aplicara la carga. Este mismo sistema se utilizara para el ensayo de cizalladora del adhesivo, pero en vez de utilizar una probeta, se compondrá de dos probetas unidas por un adhesivo, a través de una pieza del mismo material. Las mordazas amarrarán los extremos libres de cada probeta, haciendo el mismo sistema que en tracción, pero creando esfuerzo de cizalladora sobre el adhesivo.

Todas estas pruebas son controladas por un sistema informático de control, el cual recogerá en todo momento la fuerza aplicada sobre la probeta y desplazamiento de sus extremos entre otros parámetros.

Esta máquina puede aplicar cargas de hasta 25 KN de fuerza axil y 100 Nm de torsión, transmitiendo todos los datos al sistema de control.

El control impuesto sobre la máquina para todos en los ensayos realizados en la máquina es similar.

Imponiendo a la mordaza móvil un desplazamiento a velocidad constante (control en desplazamiento) durante un periodo de tiempo (hasta el momento de rotura).



Máquina de control INSTRON 8874



Objetivo de los Ensayos

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo de estos ensayos es el poder determinar la clase resistente de la madera a utilizar. Por ello, y observando la tabla 4 de clases resistentes, se asignara la clase a través de los siguientes ensayos:

- Flexión para poder determinar la resistencia a dicho esfuerzo.
- Tracción para poder determinar la resistencia a dicho esfuerzo y el módulo de Young longitudinal de la fibra.



Determinación de propiedades mecánicas

Prueba experimental: Flexión

Objetivos de ensayo

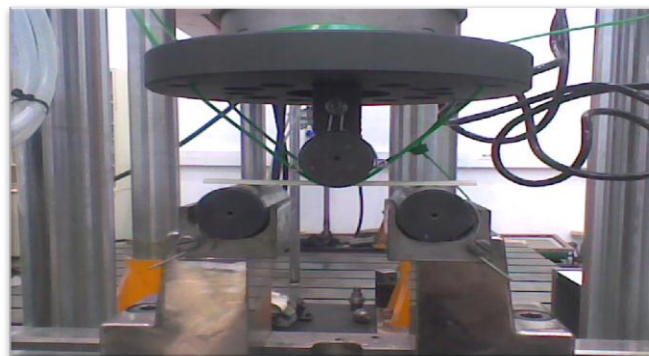
Los objetivos de este ensayo principalmente son dos:

- Determinar una curva fuerza-desplazamiento del material a flexión tres puntos.
- Determinar a través de los ensayos, la resistencia a flexión media.

El primer objetivo es más sencillo de conseguir, ya que únicamente hay que someter la varilla a flexión y representar los datos obtenidos, pero el segundo objetivo es más difícil, ya que hay que interpretar los datos obtenidos para poder determinar la resistencia a flexión.

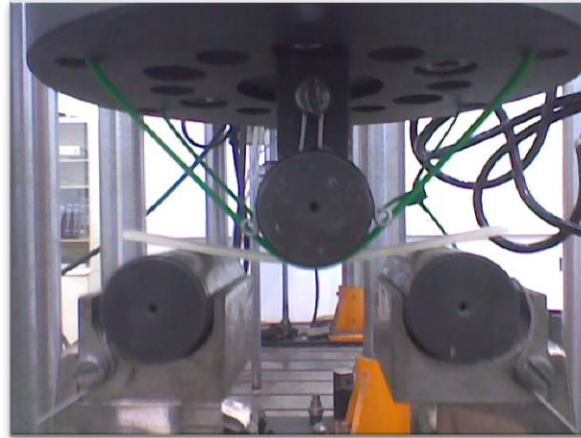
Descripción del ensayo

Esta prueba consiste en someter la varilla apoyada en dos puntos a una carga en el centro de su longitud hasta su rotura.





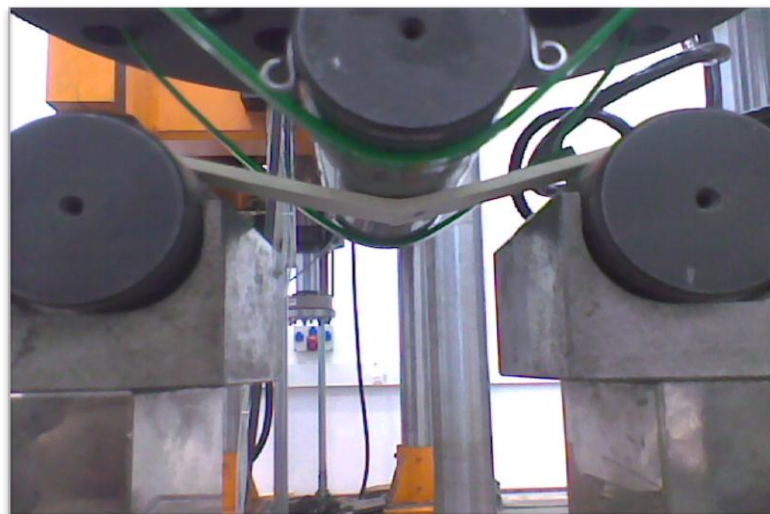
Mientras la varilla está apoyada libremente sobre dos apoyos, el cilindro central descende a velocidad constante, sometiendo así al palillo a un esfuerzo de flexión máximo en el punto de aplicación de la carga.



Las observaciones que se pueden realizar en esta prueba son dos:

Por una parte, al descender el cilindro para crear la flexión sobre el material, va cambiando su posición, por ello, en el momento de la rotura, la diferencia entre la posición original de partida y la posición final de rotura, se interpreta como la flecha máxima de la varilla.

La fuerza última aplicada en el momento de rotura permite determinar el momento flector máximo capaz de resistir el palillo.





Análisis de resultados

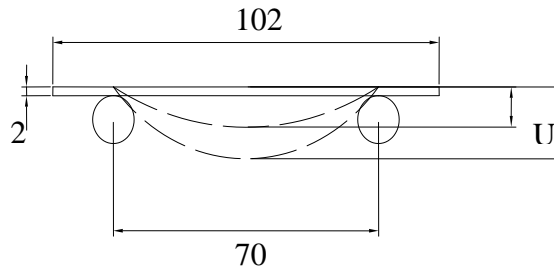
En la siguiente tabla se observa los datos recogidos de forma reducida:

TABLA 5
DATOS ENSAYO A FLEXION

	Posición inicial (mm)	Carga fluencia(KN)	Posición rotura (mm)	Carga rotura (KN)	Flecha rotura (mm)
Nº Probeta					
Probeta 1	-47,061	-0,044	-53,112	-0,062	-6,051
Probeta 2	-47,684	-0,019	-52,933	-0,03	-5,249
Probeta 3	-47,56	-0,039	-54,11	-0,05	-6,55
Probeta 4	-47,396	-0,009	-50,873	-0,035	-3,477
Probeta 5	-11,6777	-0,125915	-12,4591	0,336471	-0,7814
Promedios		-0,02775		-0,04425	-5,33175

En referencia a la tabla anterior, la diferencia entre la posición inicial del actuador de la máquina y la posición final (momento de la rotura) se considera la flecha máxima, ya que es el recorrido del rodillo desde el contacto con la probeta hasta la rotura de esta.

También se debe comentar el valor negativo que tienen los valores. Esto se debe a que el movimiento del rodillo que ejerce la fuerza creando la flexión, es vertical descendente, mientras los ejes de referencia de la máquina de control es vertical ascendente el signo positivo, por ello tanto la posición y fuerza es de valor negativo. No obstante, para el cálculo consideraremos estos valores en valor absoluto.



Observando los diferentes resultados obtenidos en el ensayo sobre las probetas, destaca la diferencia de resultados de la quinta probeta respecto al resto.

Si comparamos la flecha obtenida en la zona de fluencia del ensayo, se observa que las demás probetas oscilan entre 3.477 y 6.051 mm, mientras la probeta 5 tiene 0.7814mm, un 12.9% respecto la mayor flecha.

Si lo comparamos a través de la carga máxima, el rango oscila entre 0.035 y 0.062 KN en las cuatro primeras probetas, mientras la quinta consigue aguantar hasta 0.336471 KN, un 542% superior respecto la mayor carga obtenida entre las cuatro primeras probetas.

Por estas razones se decide excluir esta probeta de los posteriores cálculos, ya que no se considera representativa de la serie entera.

A partir de los datos obtenidos, se observa valores de resistencia del material a flexión, de valores que oscilan de 0,03 KN a 0,062 KN, con una media de 0,04425 KN. Estos datos nos indican que en el diseño de la grúa se deberá evitar tanto como se puedan los esfuerzos a flexión, y en aquellos lugares donde no se pueda evitar, reforzar al máximo esas zonas para poder resistir esta flexión.

A partir de los promedios calculados, se procederá a calcular las tensiones y cargas máximas a través de la ecuación:

$$\sigma = \frac{M_z}{I_z} \text{ máx.} = \frac{M_z}{W_z}$$

Y sabiendo que el módulo resistente para una sección rectangular maciza es

$$W_z = \frac{bh^2}{6} = \frac{10 \cdot 2^2}{6} = 6.667 \text{ mm}^3$$



Y el momento flector máximo en un sistema biapoyado libre en ambos extremos será

$$M_{f,m\acute{a}x} = \frac{P*L}{4};$$

Y con esta ecuación aplicada en cada ensayo en el Anexo C, se obtiene la siguiente tabla:

Tabla 6
Calculo,

	Carga fluencia (KN)	Carga rotura (KN)	Longitud (mm)	Flecha fluencia (mm)	Flecha rotura(mm)
N° Probeta					
1	-0,044	-0,062	70	-3	-6,051
2	-0,019	-0,03	70	-2,6	-5,249
3	-0,039	-0,05	70	-3,299	-6,55
4	-0,009	-0,035	70	-0,61	-3,477
Promedios	-0.02775	-0.04425	70	-2.37725	-5,33175

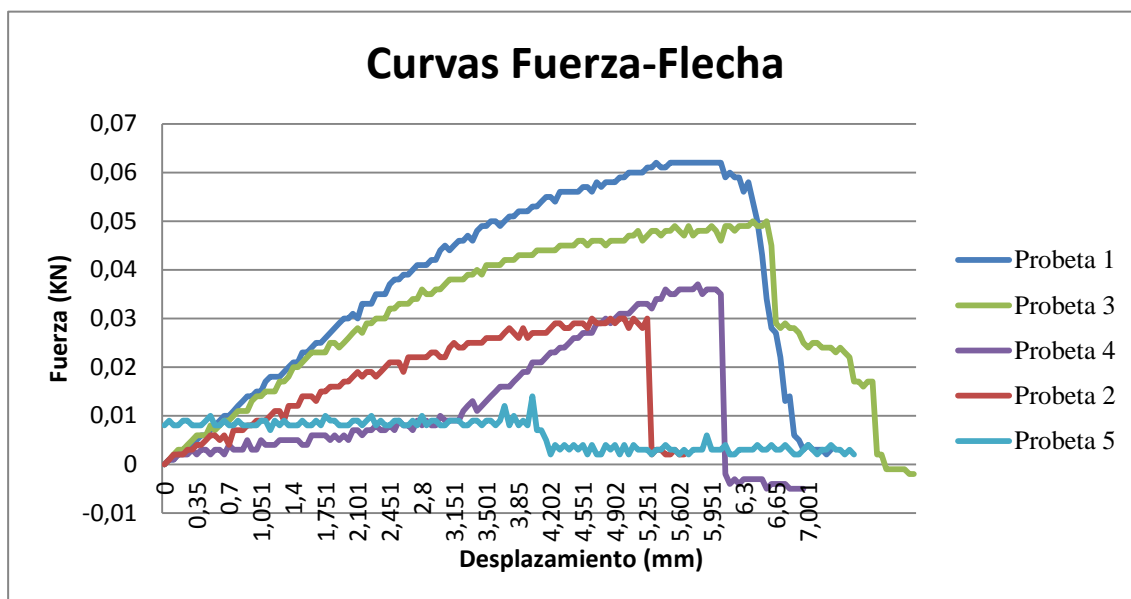
Nota: Los valores negativos son explicados anteriormente.

Y respecto la tensión máxima

	Probeta	1	2	3	4	Promedi o
$\sigma_{fluencia}(\frac{KN}{mm^2})$		0.115	0.0499	0.102	0.0236	0.0726
$\sigma_{m\acute{a}xima}(\frac{KN}{mm^2})$		0.163	0.0787	0.102	0.0919	0.1161



Nota: Las tensiones creadas en el ensayo 5 no se representan debido a que este ensayo se considerara no representativo, y por lo cual, descartado para cualquier calculo posterior.



En estas gráficas (VER ANEXO C) se observa que al final de cada ensayo, antes de la rotura, sufren una reducción de la inclinación de la curva, produciéndose únicamente deformación plástica con una tensión prácticamente constante y posteriormente la rotura.

Los valores negativos representados en el diagrama anterior, se deben al momento en que es retirada la probeta del ensayo, por lo que el sistema recoge que la mordaza se mueve en dirección contraria y por lo cual una fuerza aplicada en esa misma dirección, quedando recogido en el ensayo.

Considerando lo anterior, se escoge como resultados medios los promedios de la Tabla 6, por lo que los resultados finales son:

$$u_{y,fluencia} = 2.37725 \text{ mm}$$

$$u_{y,m\acute{a}xima} = 5.33175 \text{ mm}$$

$$F_{f,fluencia} = 0.02775 \text{ KN}$$

$$F_{f,m\acute{a}xima} = 0.04425 \text{ KN}$$

$$\sigma_{fluencia} = 0.0726 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{m\acute{a}xima} = 0.1161 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$



Objetivos de ensayo

Los objetivos de este ensayo son principalmente dos:

- Conseguir la resistencia máxima a tracción del material.
- Obtener el módulo de Young longitudinal a través de los datos obtenidos

El primer objetivo se consigue únicamente a través de los datos proporcionados por la máquina y hacer una media de todos los datos. El segundo requiere otro cálculo posterior a través de los datos obtenidos.

Descripción del ensayo

Para el siguiente ensayo, será necesario la sustitución del cabezal de la máquina; Habrá que sustituir los cabezales de rodillo por dos mordazas, las cuales por sistema neumático, agarran los extremos de la probeta, para que posteriormente, la mordaza móvil una realice un alejamiento de su posición original, creando tensión sobre la probeta.

Análisis de resultados

En la siguiente tabla se recoge los datos más relevantes obtenidos en el Anexo C:

TABLA 7
Datos ensayo tracción

	Fuerza máxima (KN)	Alargamiento (mm)
Nº Probeta		
Probeta 1	2.022	1.902
Probeta 2	1.267	1.365
Probeta 3	3.06	3.058
Probeta 4	1.681	1.53
Probeta 5	1.289	1.489
Promedios	1.8638	1.8688

Proyecto Final de Carrera
DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA
DE MADERA SIN MOVIMINETO



Lo mismo que en el caso a flexión, la posición original no es cero, ya que esa posición se considera la distancia entre la mordaza móvil con su punto de origen, y como esta se regula para el amarre, esta varia. Por ello se considera el alargamiento como la diferencia entre la posición inicial con la posición final

Respecto a la fuerza soportada, el rango oscila entre 3.06 KN y 1.267 KN, por lo que la media de 1.8638 KN resultante también se considera aceptable.

Y para calcular tanto el módulo de Young longitudinal como la tensión admisible, se debe aplicar las siguientes igualdades:

$$E_l = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Para el cálculo ha habido que definir tanto tensión como deformación, que se definirá como:

$$\text{Tensión producida: } \sigma = F_{\text{aplicada}}/S$$

$$\text{Deformación producida: } \varepsilon = \Delta L/L_0$$

Siendo:

F = Fuerza aplicada en ese instante

S = Superficie de la probeta

E = Modulo de Young longitudinal

L_0 = Longitud entre las mordazas

ΔL = Variación desde posición inicial a posición final

Estas ecuaciones se van a aplicar a las 5 probetas, escogiendo los valores en la zona de fluencia y la aproximación lineal del módulo del módulo de Young:



Tabla 8
Cálculo de módulo de Young longitudinal

	Deformación rotura	Tensión rotura ($\frac{KN}{mm^2}$)	E_l ($\frac{KN}{mm^2}$)
Ensayo			
1	0.0305	0.1011	4.72
2	0.0285	0,06335	3.09
3	0.05096	0,153	3.426
4	0.0255	0,08405	3.95
5	0.02482	0,06445	3.11
Promedios	0.0321	0.09319	3.739

Recopilando los datos anteriores, podemos definir que la resistencia máxima a tracción de **$0.09319 \frac{KN}{mm^2}$** con una deformación máxima de **0.0321** y con un $E_l = 3.739 \frac{KN}{mm^2}$;



Respecto la probeta 3 se comprueba que tiene una deformación mucho mayor que el resto de las probetas, al igual que la tensión, la cual tiene gran diferencia de hasta 0.05 KN respecto al ensayo 4, y esto queda reflejado en el módulo de Young, de cómo la inclinación de la gráfica entre los valores escogidos en el Anexo C, tiene una mayor inclinación que el resto.



Objetivos de ensayo

El objetivo de este ensayo es calcular la resistencia a la cizalladura de las juntas solapadas, es decir, calcular la resistencia del adhesivo que se va a emplear en el proceso de construcción.

Descripción del ensayo

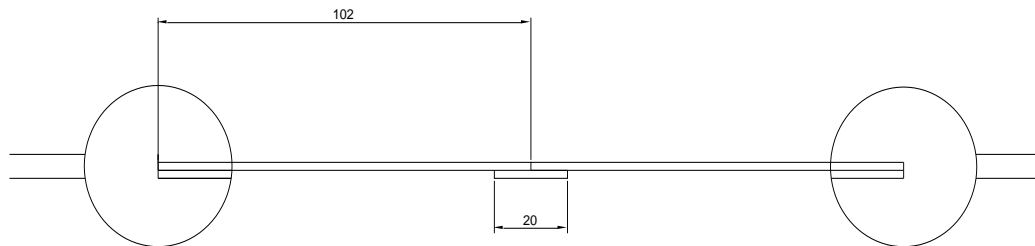
El ensayo consiste en 5 pruebas, las cuales cada una se compone de 3 probetas solapadas y aplicando un esfuerzo de tracción sobre estas, creando así cizalladura sobre el adhesivo.

El sistema se compone de la siguiente manera:

Con una sección cortada de probeta de medidas 20x10x2 (ANEXO B), se deposita el adhesivo de forma uniforme y ocupando toda la superficie de una cara de esta sección. Posteriormente se apoya sobre esta cara dos probetas intactas, cada una ocupando una superficie de 10x10 y coincidiendo el extremo de cada varilla en el centro de la sección cortada con el adhesivo creando así un cambio de sección. Mediante presión manual, se deja reposar el solape durante 30 segundos y posteriormente se coloca en la máquina de ensayos. Las mordazas de la máquina son las mismas que en el ensayo de tracción, ya que esta debe presionar sobre los extremos libres de las probetas y aplicar tracción, haciendo así que el adhesivo trabaje a cizalladura.

Para el alineamiento de la sección de cizalladura está alineada con la dirección de tracción de la máquina, se han colocado en ambos extremos libres de las varillas una sección de palillo.

De no haber añadido estos elementos se produciría un desnivel entre los extremos libres de 4 mm (debido a que el grosor de cada pieza es de 2 mm), produciéndose así flexión en el solape, anulando la cizalladura.



El adhesivo empleado es el llamado Loctite “401” de la casa HENKEL. Que gracias a su base química de cianocrilato lo hace el indicado debido a su propiedad a superficies porosas, ya que gracias a su viscosidad, evita que este se infiltre entre los poros de la madera perdiendo así resistencia. (ANEXO A)

Análisis de resultados

Durante el ensayo se pudo observar que el fallo se producía antes en las varillas que en las uniones, muy próximo a la unión realizada, por ello en los cálculos realizados en el ANEXO C, la superficie utilizada es la de la probeta y no la de la sección de adhesivo.

El tiempo de adhesión de pegamento sobre la superficie también es un factor importante en la resistencia de esta, ya que se ensayó un varilla dejando únicamente 10 segundos de reposo, lo que provoco una fallo rápido en el solape, por lo que es completamente necesario dejar reposar el solape al menos 30 segundos, ejerciendo presión manual sobre esta para la máxima adhesión como indican los datos técnicos del Anexo A.

En la tabla siguiente se observa el comportamiento del solapamiento ante el esfuerzo de cizalladura:

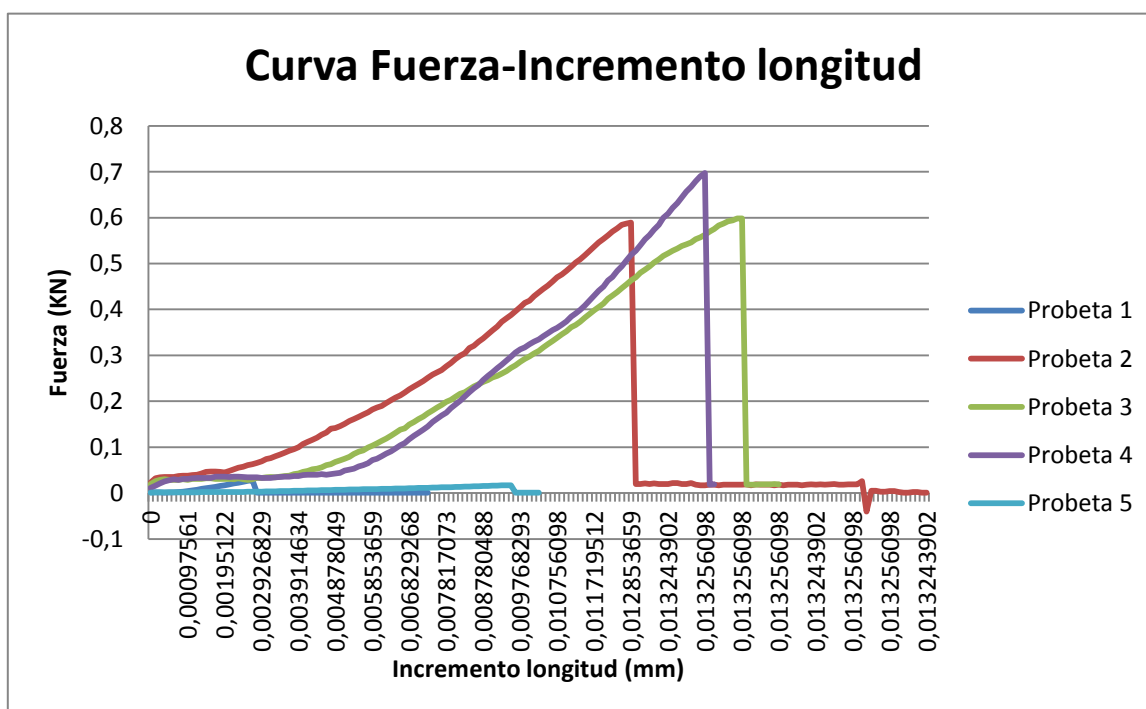


Tabla 9
Resistencia de las uniones frente cizalladura

	Deformación rotura	Tensión rotura ($\frac{KN}{mm^2}$)
Nº ensayo		
1	0,01584043	0.0279
2	0,0527	0.0249
3	0,0652	0.0299
4	0,0612	0.03485
5	0,0392	0.01705
Promedios	0.0468	0.026924

Como lo comentado anteriormente a esta tabla, se producía el fallo antes en las varillas que en las uniones, por ello el cálculo con una sección de 20x2.

Según lo que se va a comentar posteriormente, la fractura se va a producir más concretamente en la unión entre esta y el adhesivo, ya que en esta parte se produce un cambio de sección brusco, originándose un concentrador de tensiones. Por ello la tensión calculada es ligeramente inferior al valor de tensión calculado por tracción, En el siguiente diagrama podemos observar los resultados obtenidos:





Según la normativa vigente UNE 338, más concretamente la tabla 4, se le puede asignar unos valores característicos a compresión según la clase resistente asignada, por lo que estos ensayos no se realizaran, escogiendo los valores correspondientes.

Asignación de una clase resistente

Como se ha comentado en el inicio de esta memoria, se ha procedido al estudio del material no tanto con el objetivo de conocer el comportamiento del material frente a diferentes acciones, si no el poder asignar una clase resistente a este, para así tener un modelo normalizado europeo de tipo de madera, y poder identificarlo en el módulo Nuevo Metal 3D del programa CYPE 2010.D, que es el que se va a encargar del cálculo de la estructura.

Siendo el significado de los siguientes símbolos:

$f_{m,k}$ = resistencia máxima a flexión;

$M_{máx}$ = Momento máximo a flexión;

$f_{t,o,k}$ = Resistencia máxima a tracción;

E_0 = Modulo de Young longitudinal, obtenido en tracción.

Y siendo los datos recopilados

Flexión:

$$f_{m,k} : 0.1161 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2};$$

$$M_{máx} = 0.774 \text{ KN.mm};$$

Tracción:

$$f_{t,o,k} = 0.09319 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

$$E_0 = 3.739 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

La prueba de cizalladura no era necesaria para la clasificación de la madera, pero si necesaria para el conocimiento de las propiedades mecánicas del adhesivo, por lo cual no se incluyen en este apartado.

Así que comparando ambos estados según zona de estudio se puede clasificar el material:



Al inicio de los ensayos experimentales de las probetas, se hace referencia a que el método de ensayo no corresponde con los ensayos determinados en la normativa EN-14081-2:2005 debido al caso excepcional al que nos encontramos, obteniendo no obstante los valores característicos medios del material.

Con los valores ya obtenidos, el DB SE-M hace referencia a diferentes coeficientes de corrección de resistencia, el cual indica que para madera maciza

“factor de altura k_h : En piezas de madera aserrada de sección rectangular, si el canto en flexión o la mayor dimensión de la sección en tracción paralela es menor que 150 mm, lo valores característicos $f_{m,k}$ y $f_{t,o,k}$ pueden multiplicarse por el factor k_h .

$$k_h = (150/h)^{0.2} \leq 1.3$$

Siendo:

h = canto en flexión o mayor dimensión de la sección en tracción (mm).

En nuestro caso seria

Flexión:

$$h = 2 \text{ mm}$$

$$k_h = (150/h)^{0.2} = (150/2)^{0.2} \leq 1.3$$

$$k_h = 1.3$$

Tracción

$$h = 10 \text{ mm}$$

$$k_h = (150/h)^{0.2} = (150/10)^{0.2} \leq 1.3$$

$$k_h = 1.71 > 1.3, \text{ no se aplica este coeficiente.}$$

Así que ordenando los valores obtenidos en los ensayos y aplicando el coeficiente de reducción de resistencia, se puede asignar finalmente una clase resistente a la madera:

$$f_{m,k} : 0.1161 \times 1.3 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} = 0.150 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} = 150.34 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \text{ asignación C-50 } (f_{m,k} > 50 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2});$$

$$f_{t,o,k} = 0.09319 = 0.09319 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2} = 93.19 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}, \text{ Asignación C-50;}$$



$$(f_{t,o,k} > 30 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2});$$

$$E_{0,medio} = 3.739 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2}, \text{ No posible asignación } (E_{0,medio} < 7 \frac{\text{kN}}{\text{mm}^2})$$

Para poder asignar una clase resistente definitivamente, se deberá aplicar la normativa vigente (UNE-EN-338), la cual explica que

“Una población de madera puede asignarse a una clase resistente si los valores característicos de la resistencia a flexión y densidad son iguales o mayores que los valores establecidos en la tabla 1 para dicha clase resistente, y si el valor característico medio de su módulo de elasticidad en flexión es igual o mayor que el percentil del 95% del valor indicado en la tabla correspondiente para dicha clase resistente”

Por lo que si por resistencia a flexión le podríamos asignar una clase C-50, mientras por densidad seria:

$$\rho = \frac{M}{V} = \frac{0.001 \text{ Kg}}{0.114 * 0.01 * 0.002 \text{ mm}} = 438.60 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^3};$$

Lo podríamos clasificar según clase C-40.

Esta normativa y por lo cual todas las asignaciones que realiza, son para nivel europeo, y por lo cual para madera europea. Esta madera proviene de Canadá, y por lo cual sus características de rigidez y propiedades de resistencia pueden ser totalmente diferentes a los de Europa (debido a las situaciones climatológicas, calidad del suelo,...), por lo cual se decide aplicar una clase C-40, ya que dentro de la normativa, la densidad es el valor mínimo posible asignable.

Proyecto Final de Carrera
DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA
DE MADERA SIN MOVIMINETO



Por lo que asignándole una clasificación C-40, se definirán las propiedades mecánicas del material en la siguiente tabla (Tabla 9):

TABLA 9
Asignación de clase resistente

Propiedades de resistencia (N/mm²)			
Flexión			40
Tracción paralela a la fibra			24
Tracción perpendicular a la fibra			0,6
Compresión paralela a la fibra			26
Compresión perpendicular a la fibra			2,9
Cortante			3,8
Propiedades de rigidez (en KN/mm²)			
Módulo de elasticidad medio paralelo a la fibra			14
Módulo de elasticidad paralelo a la fibra (5° percentil)			9,4
Módulo de elasticidad medio perpendicular a la fibra			0,47
Modulo medio de cortante			0,88
Densidad (en kg/m³)			
Densidad			420
Densidad media			500

Respecto a la tracción que pueda existir sobre las barras, le adjudica un valor de resistencia muy bajo, por lo que nos servirá como margen den seguridad respecto a este esfuerzo.

Respecto a este punto, habrá que tener en cuenta que el pandeo producido por compresión, el cual se dará sección más débil. Este caso se producirá en viguetas o diagonales poco reforzadas, por lo que este margen nos dará cierta fiabilidad en el ensayo real.

Respecto a la compresión se considera un valor aceptable, ya que si la resistencia a compresión suele ser ligeramente inferior a la tracción, en nuestro caso se cumple.



DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

La creación de este modelo se ha realizado a través de Auto CAD 2010, que teniendo en cuenta las especificaciones recogidas de los ensayos, se ha diseñado de tal manera que la estructura sufra lo más mínimo a flexión, intentado transformar esta en compresión-tracción.

También hay que tener en cuenta las medidas predefinidas recogidas en las bases del concurso (Véase Objetivos del Proyecto), cuyas condiciones son:

Las grúas se presentarán aseguradas sobre una tabla de madera taladrable de dimensiones 0.3 m x 0.3 m. Se realizarán cuatro taladros en sus esquinas con el fin de sujetar la grúa a una base firme.

La masa máxima total de la estructura será de 2 kg.

El elemento mástil podrá tener cualquier forma o disposición, no estando limitado su apoyo a un solo apoyo puntual. El mástil puede tener cualquier anchura y longitud, teniendo en cuenta que la distancia desde la base al punto más elevado de la pluma será de 1 ± 0.025 m (ver figura 3). Será opcional disponer de un portaflechas cuya longitud será como máximo 0.25 m medido desde el centro del mástil.

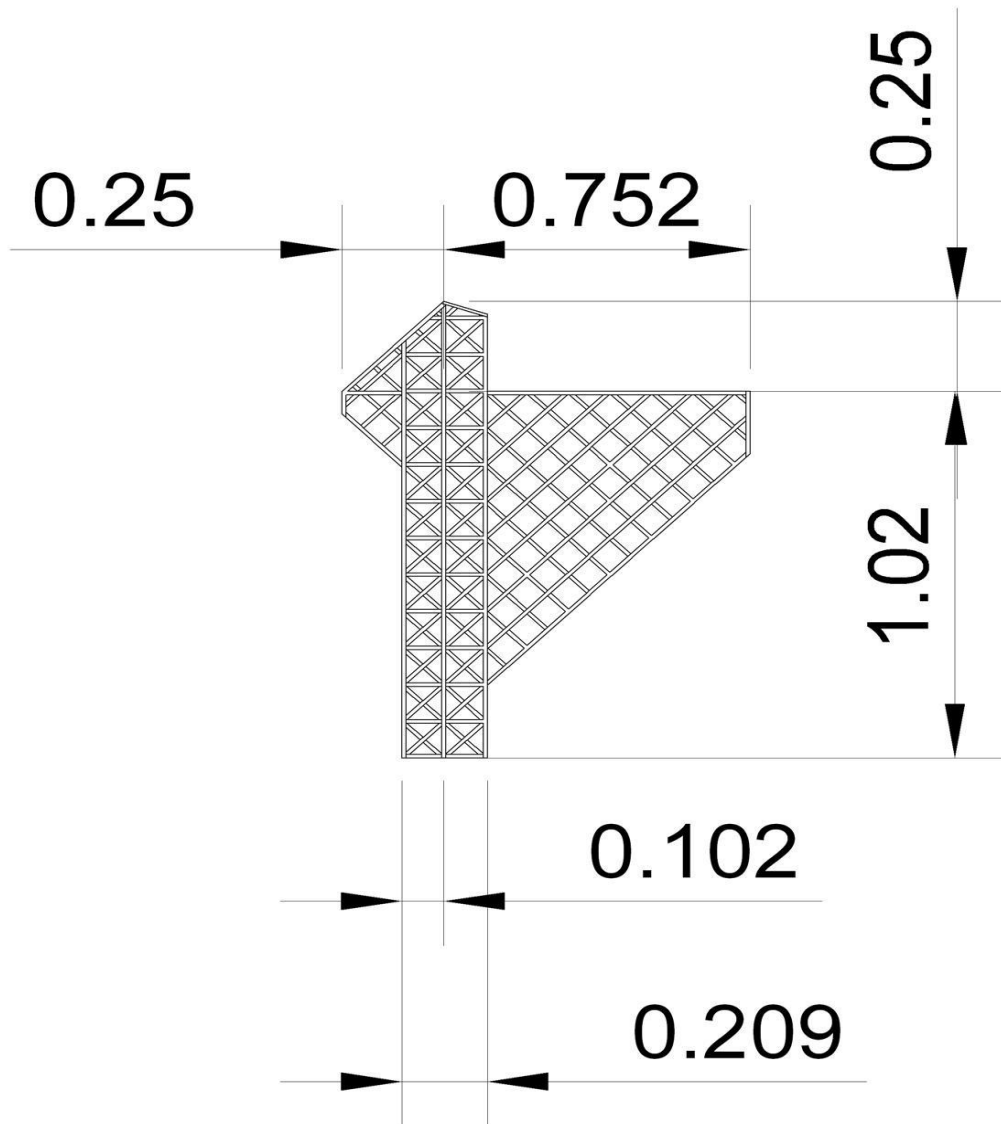
La longitud de la pluma será de 0.75 ± 0.02 m y la de la contrapluma de 0.25 m como máximo, ambos medidos desde el centro del mástil, siendo la contrapluma opcional.

El elemento pluma podrá tener cualquier forma o disposición.

La pluma puede tener cualquier anchura y altura.

Las dimensiones de la grúa serán: 1 ± 0.025 m desde la base al punto más elevado de la pluma, 0.75 ± 0.02 m de pluma, 0.25 como máximo de contrapluma, y 0.25 m como máximo de portaflechas, siendo contrapluma y portaflechas opcionales. La pluma, la contrapluma y el portaflechas se medirán tomando como referencia el centro geométrico del mástil

Por lo que en consideración con las restricciones anteriores, se propone el siguiente diseño:



Con este diseño, se ha pretendido quitar la máxima flexión, que se produciría en la pluma, creando un apoyo diagonal que convierta esa flexión en una compresión trasladándola a la torre.

Se ha acotado de tal manera para que el diseño creado cumpla las medidas requeridas por los objetivos del proyecto.



A partir del modelo gráfico creado anteriormente, se puede identificar en cierta manera los diferentes esfuerzos que sufrirán las partes de la estructura.

En primer lugar se observa que el mayor esfuerzo a flexión se concentrara en la parte inferior del mástil, mientras que en la flecha y contraflecha, el esfuerzo soportado será de compresión debido a la disposición de las celosías.

El portaflechas se considerara en la forma de diseño como continuación del mástil, de ahí su geometría.

La estructura se basa en sistema de celosía, la cual distribuirá las tensiones a lo largo de la estructura hasta llegar a la torre.

Descripción de diseño de la estructura

A continuación se describirá las diferentes partes de la estructura y el porqué de su disposición:

Mástil:

El mástil se compone básicamente de un módulo de medidas 208x104x104 mm, (VEASE ANEXO B), la cual estará compuesta de 6 columnas, 6 viguetas y 4 celosías. Las celosías estarán dispuestas en el plano paralelo a la fuerza, debido que en ese plano se producirá las tensiones.

El eje de la grúa se situara en la parte central de la torre, por lo que en el momento de carga, el vuelco se producirá alrededor de ese eje, por ello se ha diseñado una base rectangular de doble longitud que de anchura, además que los palillos estarán colocados de tal manera que el canto sea el que sufra los esfuerzos de flexión.

Cada columna se compone de 5 palillos unidos con adhesivo, por lo que se convertirá en una sección 104x50x10 mm, situándose de forma de canto en la dirección de vuelco. Esta parte de la estructura será la que más sufra la compresión-tracción, además de flexión, por ello se ha tomado la decisión de reforzarla.

Si cada columna se compone de 5 palillos y cada módulo tiene 4 columnas, esta parte de la estructura tendrá 20 palillos.

Cada diagonal se compondrá de 3 palillos unidos, por lo cual tendrá una sección de 104x10x6 mm, y se ha tomado esta decisión debido a que esta parte del módulo sufrirá tracción compresión y se encargara de distribuirlo a lo largo de las columnas, pero además, puede sufrir a pandeo, por ello se ha reforzado a 3 palillos.

Cada celosía se compone de 4 diagonales, y cada una de estas de 3 palillos, por lo que la totalidad de palillos en esta parte es de 24 palillos.



No se han instalado diagonales en el plano perpendicular a la fuerza, debido a que ese plano únicamente sufriría compresión o tracción, por lo que instalar diagonales carece de sentido, ya que las propias viguetas pueden evitar el efecto de pandeo o desplazamiento de las columnas.

Las viguetas serán las partes más débiles de la estructura, ya que sus funciones son de unión entre las diferentes diagonales o evitar el pandeo en las columnas, reduciendo la distancia entre apoyos, aumentando la rigidez a este efecto. Por ello esta parte de la estructura se compondrá de 2 palillos, siendo su sección 104x10x4 mm.

Si hay 4 viguetas con dos palillos cada una, tendrá esta parte de la estructura 8 palillos.

Por lo que recopilando el número de palillos de cada parte del módulo, suma una cantidad de 52 palillos por módulo, y si la torre con el portaflechas, que se compone también de este módulo, tienen 12 módulos, sale una cantidad de 624 palillos.

Esta recopilación se hace debido a que el peso máximo de la grúa es de 2 KG, y cada palillo tiene un peso de 1 gr (Ver ANEXO A), como máximo se pondrá instalar en la estructura 1900 palillos, ya que se reserva 100 gramos de peso para el adhesivo.

Flecha:

La Flecha se compone únicamente de diagonales, las cuales su función esta vez es de soportar la tracción-compresión ejercida por la carga y trasladarla a la torre, y no trasladar la compresión a la columna de tracción (la más alejada de la carga) y viceversa.

Estas diagonales estarán compuestas de 4 palillos unidos con adhesivo, con una sección final de 104x10x8, las cuales estarán unidas con el resto de diagonales con viguetas compuestas de 2 palillos, los cuales estarán unidos en la parte central con las diagonales con adhesivo en la parte central de estas, para evitar el fallo por pandeo.

La orientación de estas diagonales tendrá el plano del canto perteneciente a las varillas, perpendiculares al plano de la fuerza, aumentándose así la resistencia a flexión.

Esta parte de la estructura está compuesta de 162 diagonales, y si cada una de estas tiene 4 palillos, y de 162 viguetas de 2 palillos cada una, por lo que la totalidad de los palillos de esta parte de la estructura es de 972 palillos.

Contraflecha:

La contraflecha se compondrá de 12 diagonales de igual función que las diagonales de la flecha con un total de 48 palillos.

En la parte exterior de la grúa, es decir, en las partes exteriores de la flecha, portaflechas y contraflecha, las diagonales se unirán con columnas que harán de cierre de la estructura. Estas columnas estarán compuestas de 5 palillos de canto, con una totalidad de 15 columnas de dimensiones iguales a las de la torre, sumaran una cantidad de 75 palillos.



Por lo que en total la grúa se compondrá de 1719 palillos, quedando un excedente de 181 palillos. Estos palillos se reservan a posible refuerzo de la estructura.

Para ver con detalle las dimensiones de la estructura, véase ANEXO B.

Portaflechas:

Esta parte de la estructura se considerara como parte del mástil, ya que la forma de esta es continuación del mástil, siendo innecesaria la descripción de esta.

Cable:

El cable será una sirga de metal que soporte la carga máxima a aplicar, ya que en las condiciones de la estructura, no hace mención alguna respecto a este apartado, por lo que se considerara como elemento libre, definiéndola como un elemento resistente que soporte la carga máxima.

Esta ira empotrada al suelo, debido a que la base tendrá un agujero del mismo diámetro que esta sirga, asegurando así que la base actúe como empotramiento fijando la sirga.

Base:

La base de 0.3x0.3 m taladrada en sus esquinas, será de madera conglomerada de alto espesor, ya que este parámetro no se define, por lo que se considerara libre.

Esta base tendrá además un agujero del diámetro de la sirga, donde esta pasara por este agujero, para asegurar una perfecta perpendicularidad entre la base y el cable y además impedir el desplazamiento de esta a lo largo de la grúa, efecto que podría causar torsión sobre la estructura, esfuerzo muy perjudicial sobre esta.

Esta base tendrá en su parte central un hueco no pasante de las mismas dimensiones de la base de la grúa, para poder introducir esta y anclarla, siendo el efecto producido el de empotramiento.

El anclamiento se producirá introduciendo la base del mástil de la grúa dentro del agujero de la base, ya que son de iguales dimensiones, y se adherirá a este con el mismo adhesivo que el utilizado en la construcción de la grúa.

Punto de apoyo del cable sobre la estructura:

La parte más delicada de unión entre cable y estructura son las extremos de la flecha, contraflecha y porta flecha, ya que estas partes soportaran la carga íntegramente.

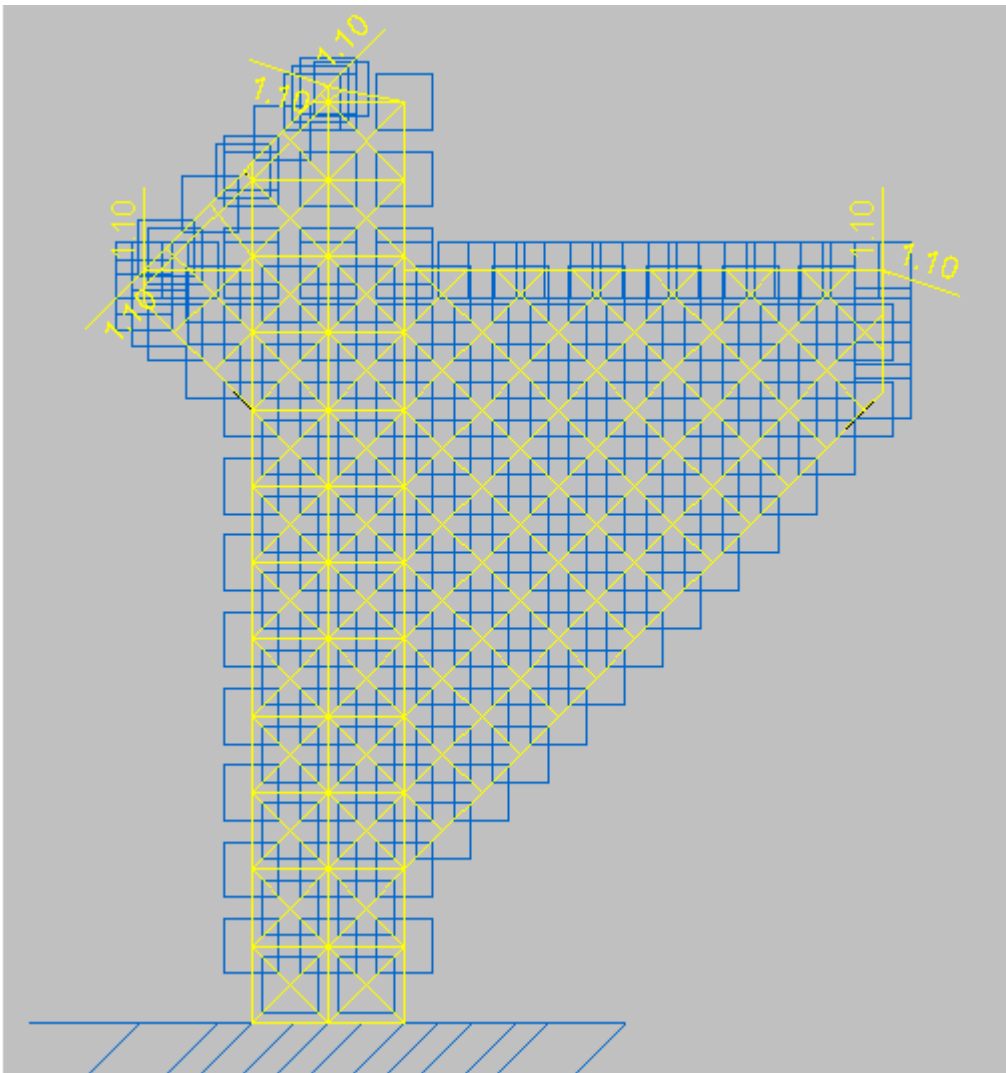


Por ello la organización del concurso permitió la colocación de algún elemento de madera maciza en aquellas partes donde se produjese este efecto, así que se colocara 1 rodillo de

madera de pequeño diámetro para poder soportar la carga y distribuirla a lo largo de la estructura en todos aquellos lugares donde se produjese este efecto.

Método de carga de la estructura:

La carga se aplicará sobre la sirga, y esta sobre los rodillos, distribuyéndose a lo largo de la estructura (véase Simulación en CYPE). Esta carga será creada por una serie de cargas suministradas una a una sumándose así los esfuerzos.



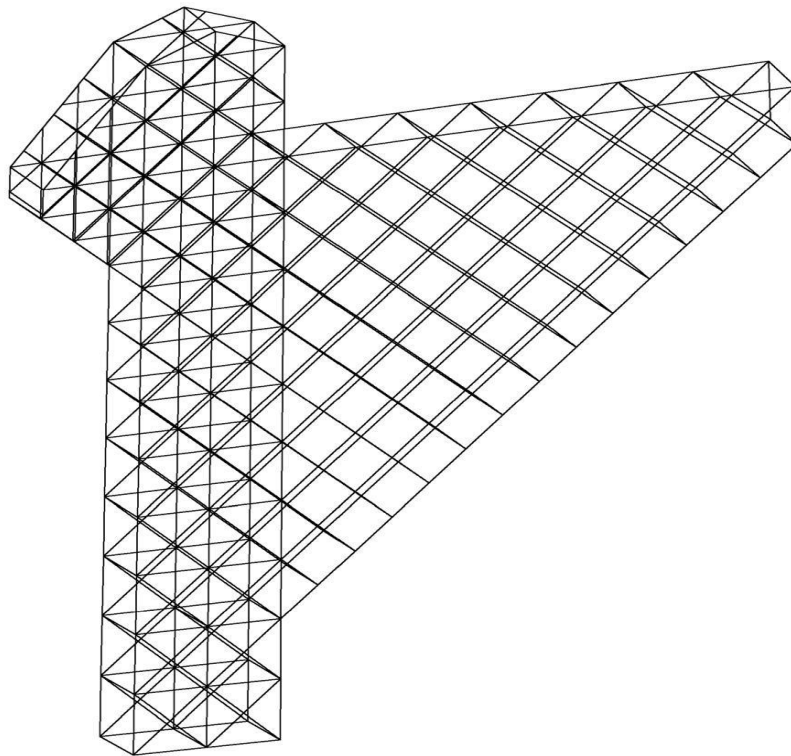


SIMULACION EN CYPE

A continuación se procederá a la simulación de la estructura base al programa CYPE, el cual comprobara la viabilidad de la estructura así como poder comprobar la máxima carga que se puede aplicar a la grúa asignándole una clase resistente C-40.

Modelo en Cype:

Para crear el modelo, se decidió crear una plantilla en Auto CAD en 3d, ya que este programa tiene mejores condiciones de dibujo que Cype:





Con esta plantilla se consigue ahorrar el trabajo de tener que dibujar la estructura en el programa Cype.

Descripción de los nudos y barras

Con el modelo ya creado, se necesita definir las propiedades de cada nudo de unión entre las diferentes barras, además de definir estas barras, tanto material, perfil y orientación.

Los nudos son definidos de la siguiente manera:

- Los seis nudos de la base, se consideran unión exterior, en los cuales se impondrá la condición de empotrados sin libertad de movimiento en un eje.
- Los nudos restantes, se consideraran como nudos empotrados.

Respecto a las barras se procederá de la siguiente manera:

Se describirá el material como madera aserrada procedente de chopo clase resistente C-40, según lo expuesto en el punto de ensayos experimentales.

Se describirá diferentes perfiles editables según su localización, como lo comentado en el punto anterior Diseño de la estructura, los cuales son:

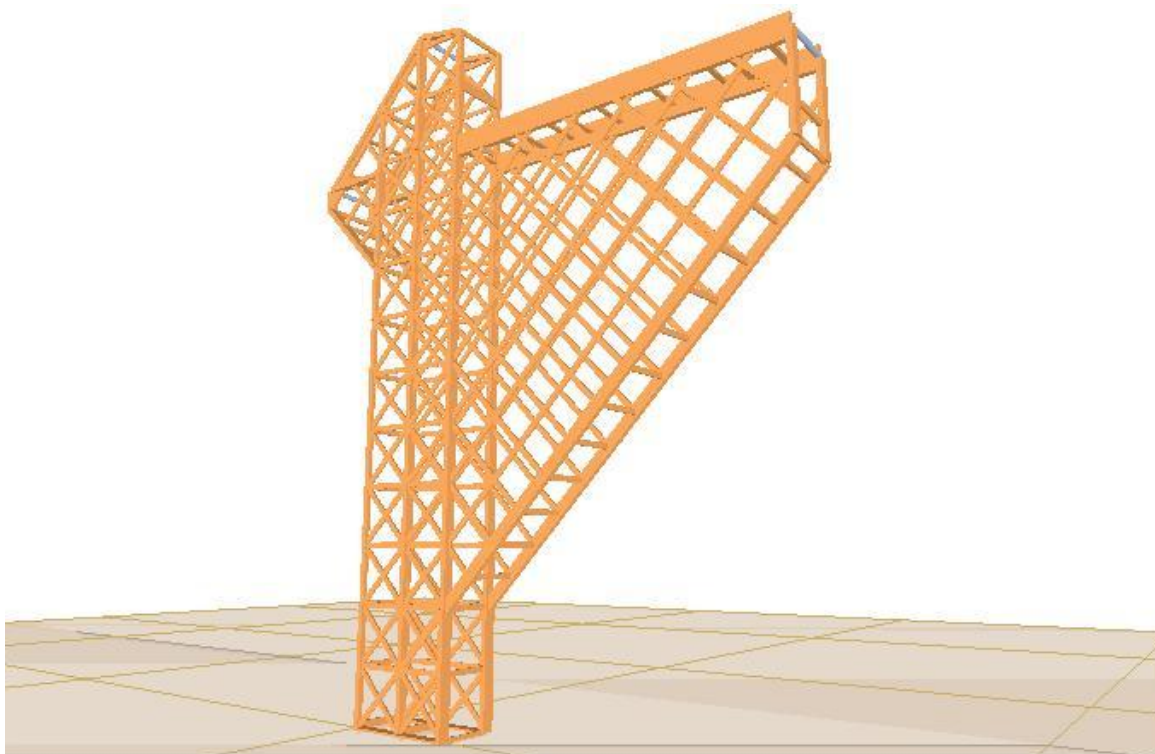
- Mástil, Portaflechas :
 - Columnas: 104x10x10 mm;
 - Diagonales: 104x10x6 mm;
 - Viguetas: 104x10x4 mm;
- Flecha:
 - Diagonales: 104x10x6 mm;
 - Columnas exteriores: 104x10x10 mm;
- Contraflecha:
 - Columnas exteriores: 104x10x10 mm;
 - Diagonales: 104x10x6 mm;
 - Viguetas: 104x10x4 mm;



Quedando la distribución entonces del peso de la grúa de la diferente manera:

Numero de palillos		Mástil Portaflecha		Flecha		Contraflecha		Grúa
Columna		430		270		50		
Diagonales		536		574		16		
Viguetas		92						
Total		1058		844		66		1968

La orientación de todas estas barras deberán ser de tal manera que el canto de las partes de la estructura sea plano paralelo a la fuerza, aumentando así la resistencia a flexión.





Especificaciones especiales de diseño

La columna superior horizontal de la flecha sufrirá tanto compresión debido a la tensión que reparta el cable en dirección al portaflechas, como flexión ya que debe soportar el peso y esfuerzos de las celosías, por lo que se ha decidido poner una sección de 10x10.

No debemos olvidar la forma de carga de nuestra estructura. Esta se carga a través de un cable, que este, conectado con la flecha, portaflecha y contraflecha, soportara la carga. A través de sus conexiones en las partes de la estructura, estas transmitirán los esfuerzos al mástil.

En las conexiones con las partes de la estructura, se colocará 1 cilindro de madera, ya que si no colocásemos estos cilindros, las varillas de estos extremos serían las primeras en fallar, ya que soportarían toda la carga, siendo así inútil la estructura completa.

Estos rodillos se ha decidido definirlos en Cype como perfiles de acero redondos de diámetro 9.9, de aluminio extruido de material EN AW-5083, ya que Cype nos deja estos elementos especiales en los extremos. Con esto se asegura que nunca se romperá estas barras transmitiendo los esfuerzos a la estructura, a la vez que describiéndola como aluminio, el peso propio será mínimo transmitiendo los esfuerzos a la estructura.

La unión exterior superior de la flecha con el mástil, se pondrá 9 varillas, con una superficie de 90x18, ya que es la unión entre dos partes importantes de la estructura, por lo que será las primeras partes en fallar, así que se refuerza de esta manera.

Calculo de la estructura con diferentes cargas:

En el inicio de esta memoria, se comenta que el objetivo del proyecto es el cálculo y diseño de una grúa con unas medidas predefinidas, y observar cuál es la carga máxima que pueda resistir esta antes del colapso. El procedimiento será el inicio del ensayo con una carga de 10 kg, y después de un periodo de tiempo de 5 segundos de reposo, se volverá a cargar con 10 kg más. Siendo este procedimiento el mismo hasta el momento de rotura que nos indique Cype.

Definir condiciones

Al introducir el modelo en CYPE, se deberá concretar diferentes ambientes de trabajo a la vez que diferentes características

Clase de servicio:

En el momento de carga y cálculo se deberá especificar la clase de servicio de la estructura, que se adjudica a partir de la tabla siguiente:



Clase de servicio	Condiciones
CS 1	Cubierto y cerrado/ 20° y > 65% de humedad
CS 2	Cubierto y abierto / 20 ° y > 85 % de humedad
CS 3	Abierto a la intemperie / Humedades superiores a CS 2

Esta clase de servicio se debe adjudicar debido a que la resistencia y el módulo de elasticidad de la madera disminuyen cuando aumenta la humedad, por lo que las condiciones de servicio se deben especificar, y por lo tanto, si tanto el almacenamiento de madera como el lugar donde se va a realizar el ensayo son salas cerradas con una humedad superior al 65 % pocas semanas al año, lo clasificaremos como CS1.

Agrupar planos

Para la rapidez del trabajo, se agruparán ambos planos de la estructura, es decir, las dos caras de iguales dimensiones y propiedades , ya que agrupando ambos planos de la estructura, al definir únicamente una barra de esta, quedarán definidas de esa misma manera todas aquellas barras que estén agrupadas, evitando así definir una a una.

Descripción de barras

Se describirán los diferentes perfiles de madera según lo comentado al inicio de este ensayo, y según a la parte de la estructura que pertenezcan.

La disposiciones de estas será tal que ofrezca la mayor resistencia a flexión, es decir, todas estarán de canto orientadas con el plano de la fuerza.

Respecto a los coeficientes de pandeo, se ha consultado el DB SE-M del 2009.

Este especifica que para perfiles de madera en celosía, se debe asignar un valor de 0.8 o 1 según si la unión es semirrígida o articulada. En nuestro caso, como las celosías se introducen dentro del propio pilar, se considerara que son semirrígidas, por lo que se les asignara un coeficiente de pandeo de 0.8 en ambos planos (XY e XZ).

Lo mismo ocurre con los demás perfiles, que al tener uniones semirrígidas, ya que es muy difícil tener uniones totalmente rígidas, se asignara un valor de 0.8 en ambos planos.

Sobre los coeficientes de pandeo lateral, el cual es producido por el pandeo flexional natural puede ir acompañada de una torsión en la sección, no se producirá en nuestro caso, ya que al ser perfiles en su mayoría de gran semejanza con rectángulos, se definirá como que no compruebe esta posible aparición.



Respecto a la determinación de flechas máximas, no se definirá ninguna, ya que el propio programa asigna la máxima flecha que puede obtenerse de cada sección con una clase resistente asignada.

Aplicación de la carga

Respecto al diseño de la estructura, en la parte superior del portaflechas, el cable tensor va apoyado a lo largo de la estructura, pero sin realizar realmente algún tipo de esfuerzo sobre la estructura, ya que únicamente irá apoyado sobre los extremos de la grúa.

Este concepto no se puede definir en el programa, por lo que se ha decidido crear 2 fuerzas en cada extremo de contacto de la grúa con el cable tensor, así se consigue crear las fuerzas que en la realidad ejercería el cable sobre la grúa.

Para definir estas 6 cargas, el Cype necesita definir el módulo de esta carga y el vector unitario en el cual cada carga irá definida:

Los vectores unitarios irán definidos entonces como:

$$\begin{aligned}\text{Carga 1} &= \text{Eje } x = -\cos 18.38 \\ &\quad \text{Eje } z = \sin 18.38\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Carga 2} &= \text{Eje } x = \cos 71.62 \\ &\quad \text{Eje } z = -\sin 71.62\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Carga 3} &= \text{Eje } x = -\cos 45 \\ &\quad \text{Eje } z = -\sin 45\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Carga 4} &= \text{Eje } x = \cos 45 \\ &\quad \text{Eje } z = \sin 45\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Carga 5} &= \text{Eje } x = 0 \\ &\quad \text{Eje } z = -1\end{aligned}$$

Siendo la carga 5 la unión entre grúa y base, por lo que actuará de contrapeso.

Con esta distribución de los esfuerzos creados por la sirga alrededor de la estructura, se consigue la distribución real que crea esta sobre la maqueta.

En la siguiente tabla se muestra lo valores de los vectores unitarios a introducir a Cype.



	Carga (KN)	Carga aplicada	Carga 1	Carga 2	Carga 3	Carga 4	Carga 5
Eje							
X		0	-0.948	0.95	-0.71	0.71	0
Z		-1	0.315	-0.32	-0.71	0.71	-1

Aplicación de la carga

Carga de 0.15 KN

Sometiéndola a estudios según el DB SE-M el estado limite último, se puede comprobar que con 0.15 KN, ninguna barra trabaja más del 39 % de su capacidad, el cual se sitúa en la barra contigua de la carga en la flecha.

Pero más concretamente estudiaremos el mástil de la estructura, más específicamente en la columna más cercana a la carga, la cual está sufriendo más a pandeo en el eje z con un aprovechamiento de su resistencia del 27%. Además el programa no comprueba el pandeo al eje Y o eje X, ya que no existen esfuerzos en esos planos, justamente como se había previsto.

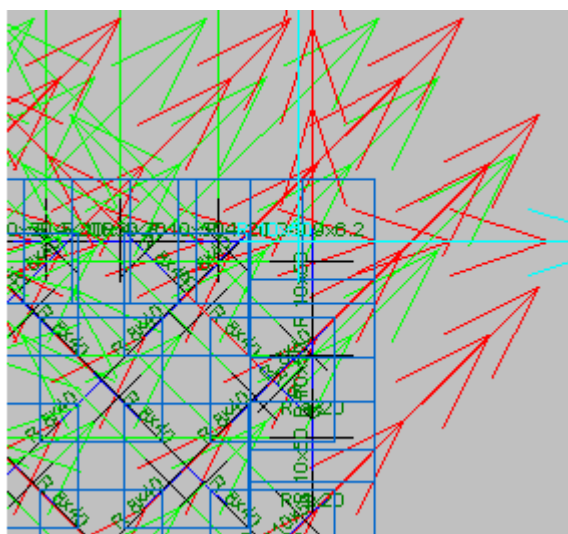
Carga de 0.3 KN

A esta nueva carga no aparece aun ningún problema, pero si aumenta más el aprovechamiento de trabajo de ciertas partes de la estructura, más concretamente en la base del mástil, situándose hasta el 51%, y la parte contigua al la flecha, con un aprovechamiento de 77.6%.

Continuamos cargando la estructura con un intervalo de 10 kg en cada carga, hasta que aparece la primera rotura con un carga de 0.45 KN.

Carga de 0.45 KN

Aparece la primera rotura en la punta de la flecha, en la columna superior horizontal, que es donde va justamente aplicada la carga



Este fallo se produce debido al cortante y flexión con compresión combinadas, ya que según el cálculo del DB SE-M

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-M)											Estado
	$N_{t,0,d}$	$N_{c,0,d}$	$M_{y,d}$	$M_{z,d}$	$V_{y,d}$	$V_{z,d}$	$M_{x,d}$	$M_{y,d}M_{z,d}$	$N_{t,0,d}M_{y,d}M_{z,d}$	$N_{c,0,d}M_{y,d}M_{z,d}$	$M_{x,d}V_{y,d}V_{z,d}$	
N71/N34	N.P.(1)	$\eta = 22.3$	N.P.(2)	$x: 0.044 \text{ m}$ $\eta = 98.7$	$\eta = 115.6$	$\eta = 33.7$	N.P.(3)	N.P.(4)	N.P.(5)	$x: 0.044 \text{ m}$ $\eta = 103.7$	N.P.(6)	NO CUMPLE $\eta = 115.6$

Notación:

$N_{t,0,d}$: Resistencia a tracción uniforme paralela a la fibra

$N_{c,0,d}$: Resistencia a compresión uniforme paralela a la fibra

$M_{y,d}$: Resistencia a flexión en el eje y

$M_{z,d}$: Resistencia a flexión en el eje z

$V_{y,d}$: Resistencia a cortante en el eje y

$V_{z,d}$: Resistencia a cortante en el eje z

$M_{x,d}$: Resistencia a torsión

$M_{y,d}M_{z,d}$: Resistencia a flexión esviada

$N_{t,0,d}M_{y,d}M_{z,d}$: Resistencia a flexión y tracción axial combinadas

$N_{c,0,d}M_{y,d}M_{z,d}$: Resistencia a flexión y compresión axial combinadas

$M_{x,d}V_{y,d}V_{z,d}$: Resistencia a cortante y torsor combinados

x : Distancia al origen de la barra

η : Coeficiente de aprovechamiento (%)

N.P.: No procede

Proyecto Final de Carrera

DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA DE MADERA SIN MOVIMIENTO



Resistencia a cortante en el eje y (CTE DB SE-M: 6.1.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{\tau_{v,d}}{f_{v,d}} \leq 1$$

$\eta: 1.156$ X

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 1.35·G.

Donde:

τ_d : Tensión de cálculo a cortante, dada por:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{|V_d|}{A \cdot k_{cr}}$$

Donde:

V_d : Cortante de cálculo

A : Área de la sección transversal

k_{cr} : Factor que tiene en cuenta la influencia de las fendas

$f_{v,d}$: Resistencia de cálculo a cortante, dada por:

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot f_{v,k} / \gamma_M$$

Donde:

k_{mod} : Factor de modificación por la duración de la carga (Permanente) y el contenido de humedad (Clase de servicio 1)

$f_{v,k}$: Resistencia característica a cortante

γ_M : Coeficiente parcial para las propiedades del material

$$\tau_{v,d}: 2.1 \text{ MPa}$$

$$V_{v,d}: 0.10 \text{ kN}$$

$$A: 1.00 \text{ cm}^2$$

$$k_{cr}: 0.67$$

$$f_{v,d}: 1.8 \text{ MPa}$$

$$k_{mod}: 0.60$$

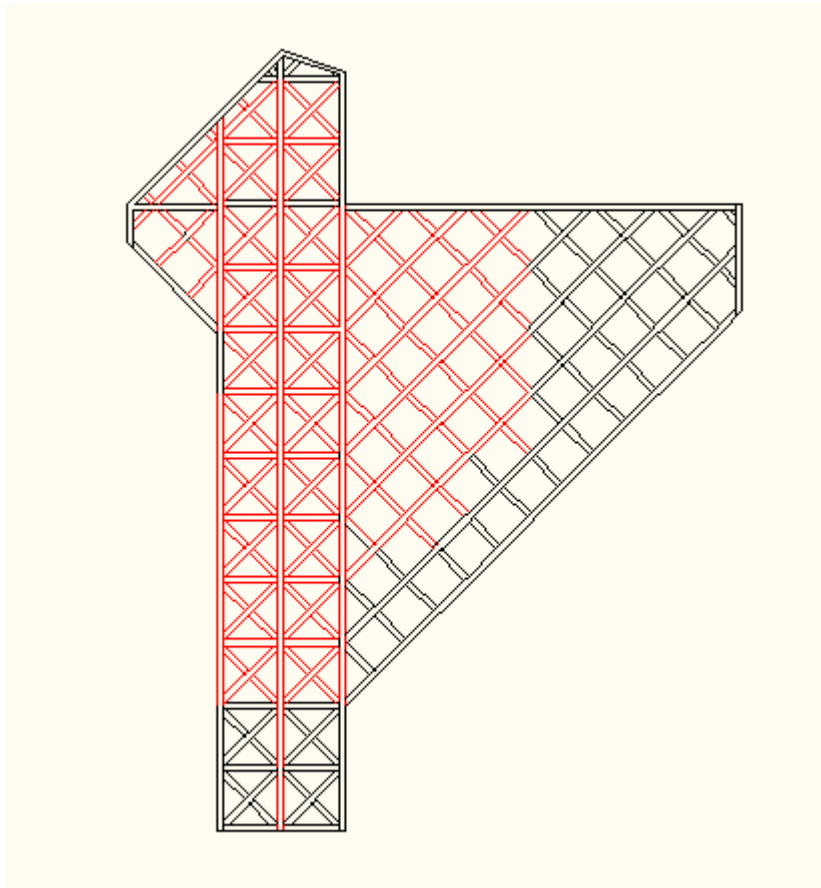
$$f_{v,k}: 4.0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M: 1.30$$

Debido a este fallo, se soluciona colocando únicamente 2 varillas de refuerzo a lo largo de toda la columna horizontal, para así evitar posibles fallos futuros solucionando así este fallo, y reduciendo su aprovechamiento al 98%, siendo necesaria su vuelta a reforzar pero como con este refuerzo, se incrementa el peso de la grúa en 48 gramos, situándonos en 2016 gr, un exceso de peso, habrá que reducir el peso de la grúa reduciendo aquellas partes que trabajen menos

Reducción

A continuación se va a señalar aquellas partes que tengan un aprovechamiento menor al 20 % de su capacidad, consideradas así para su reducción de sección



Todas estas partes señaladas en rojo, indican aquellas partes que no trabajan a más del 25 % y son susceptibles a su reducción, de la cual procederemos de la siguiente manera:

Las diagonales pertenecientes a la flecha, se reducirán hasta 4 x 10 mm, las mínimas dimensiones para asegurar las uniones entre ellas, ahorrando así, 120 gr.

Las diagonales pertenecientes al mástil y portaflechas se procede de la misma manera, ahorrando así 160 gr.

Las viguetas de las columnas se reducirán a una única varilla, de 2x10 mm, ahorrando así 36 gr.

Las columnas del mástil se reducirán en las partes seleccionadas a 8x10 mm, salvando así 46 gr.

Las diagonales pertenecientes a la contraflecha se procederá de la misma manera que para las pertenecientes a la flecha, siendo un ahorro de 16 gr.

Por ello, reduciendo todos estos perfiles, nos situamos en un peso total de 1638 gr.



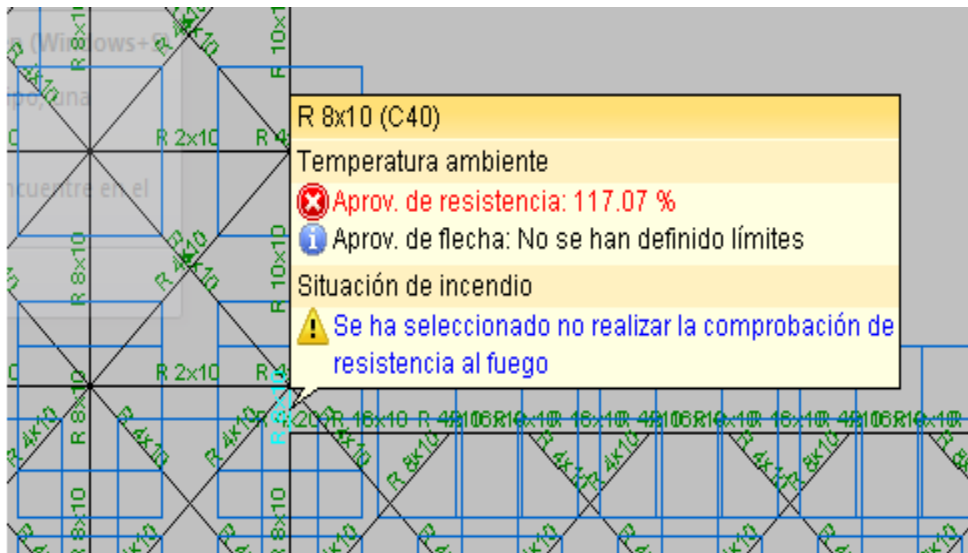
Definiendo estas nuevas secciones en Cype, se debe recalcular a 0.45 KN.

Y sin aparecer nuevos errores, se procede a reforzar la zona anteriormente comentada con 2 palillos más, aumentando así 48 gramos el peso total.

Se vuelve a aumentar la carga hasta la nueva aparición de esta que es con 0.55KN.

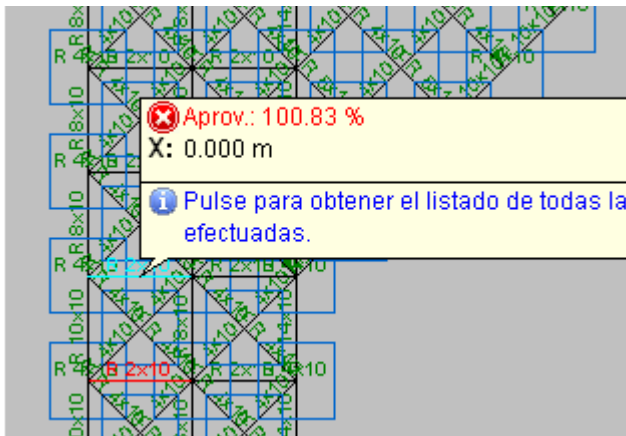
Carga de 0.55 KN

Con esta nueva carga se produce tres fallos:



Respecto al primer fallo se trata de la unión entre flecha y mástil el cual falla a cortante en el eje z (Compresión), y como sobrepasa de su aprovechamiento un 17,07%, de decide aumentar su sección con 2 varillas, siendo así de 14x10. Pero al igual que esta sección, también se deberá redimensionar todas las secciones inferiores de dicha columna, ya que así se asegurara un completa distribución de los esfuerzos hasta la base. Aumentando así el peso de la grúa a 1726gr.

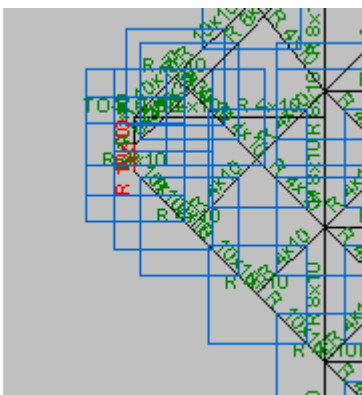
Recalculando la estructura a esta carga si haber redimensionado los demás perfiles aparecen 2 nuevos errores, situándose en 4:



Estas dos viguetas, las cuales se ocupan de evitar el pandeo de las columnas reduciendo su longitud de pandeo, como transmitir los esfuerzos horizontales, fallan por pandeo debido a compresión, por lo que se amplía su sección con una varilla, situándose en 4x10mm cada una, aumentado así un peso de 4 gramos, situándonos en 1730 gr totales.



El siguiente fallo es la parte anteriormente reforzada, que con un aprovechamiento del 106.73%, se decide aumentar su sección de 16x 10 mm a 20x10, para evitar así futuro fallos en esta parte de la estructura. Con este refuerzo se aportan 96 gr, ya que también hay que reforzar toda la columna horizontal para asegurar asu la distribución de tensiones.



El último fallo se produce en el apoyo de la carga sobre la flecha, por lo que esta barra teniendo un exceso de cortante, se decide ampliar su sección de 10x10 a una de 12x10, pero



también debiendo aumentar la sección de la columna diagonal, para asegurar la transmisión de dichos esfuerzos.

Con este nuevo refuerzo nos situamos en un peso total de 1834 gr.

Y recalculando a este mismo peso, no se detectan fallos, por lo que se sigue cargando, reforzando y reduciendo de la misma manera que las anteriores cargas, hasta alcanzar un límite de carga máxima en relación de peso de 1.1 KN;

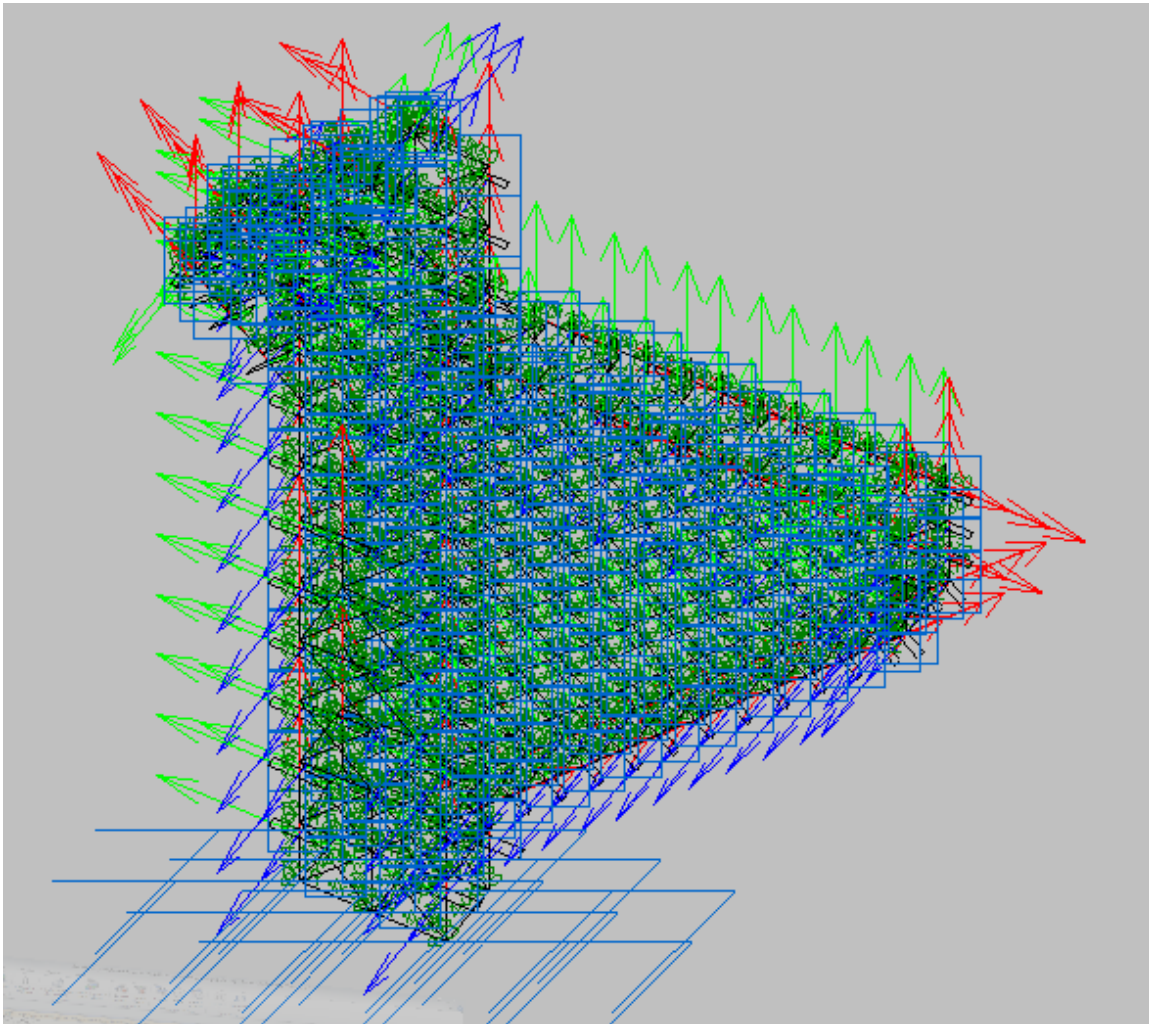
Carga máxima

La carga máxima se sitúa en 1.1 KN, con un peso de la de grúa de 1927 palillos, dejando un margen de 73 gramos de diferencia, ya que este peso está reservado al adhesivo, cuyo peso también influye en el peso total.

Es peso se ha decidido así y no cargar a 1.2 KN, debido a que muchas partes de la estructura se sitúa en un aprovechamiento alrededor del 90%, por lo que si se cargase con 10 kg más, deberíamos incluir mucho más peso, reforzando todas esas partes, y además si se tratase de compresión, reforzar también los elementos inferiores, superándose ampliamente el peso total incluyendo el adhesivo.



Resumen



A través de las cargas anteriormente expuestas, se ha llegado a la conclusión que con el dimensionado ultimo propuesto y la asignación del material como C-40 al inicio de este ensayo, se puede determinar que la carga máxima soportada es de 1.1 KN.



MONTAJE DE LA GRUA

Ya definida tanto la forma de la estructura como de las diferentes orientaciones de las varillas se procederá al montaje de esta.

Las varillas a usar tienen unas medidas 114x10x2 mm, pero estas varillas tienen un acabado de forma circular, por lo que al montar los diferentes elementos, como se deben montar unas varillas sobre otras, los diferentes elementos se apoyarán sobre una parte de la semicircunferencia, como lo comentado en el inicio de esta memoria. Por esto se ha decidido cortar estas circunferencias, para que en el momento de montaje, unas varillas sobre otras tengan total apoyo.

Esta modificación de varilla no modificará los datos obtenidos de los ensayos mecánicos, ya que si miramos por flexión, influye la distancia entre apoyos, pero como esta es menor que la distancia del modelo modificado, los resultados no se modificarán. Respecto a la resistencia a tracción, tampoco influirá, ya que la sección por la que se calculó la resistencia, se escogió la constante, es decir, la parte rectangular de la varilla.

Por ello, no influye modificar de forma reducida las varillas.

Por estas ideas se decidió modificar la longitud de los palillos, con una sección final de 104x10x2, llamando a esta modificación Varilla Tipo 1. Estos datos están representados en el ANEXO B PLANOS.

Para facilitar la explicación del montaje de la grúa, explicare uno a uno el montaje de las partes de la grúa

A veces se emplea la expresión “tiene...niveles”, esto hace referencia al número de palillos que tiene cada parte, ya que como hay que montar los unos sobre otros, cada nivel se considerará un palillo de altura en ejes referidos al canto de la sección.

Montaje Mástil:

Como se ha expuesto en el punto referente al mástil en el punto de Diseño de la estructura, se observa que básicamente la torre se compone de 12 módulos iguales incluyendo el portaflechas.

Estos módulos no se pueden montar por separado y unirlos posteriormente mediante adhesivo, ya que si no, este adhesivo sufrirá la flexión producida por la carga y como se ha comentado en el ensayo a cizalladura del ensayo, la flexión o cualquier otro tipo de esfuerzo que no sea longitudinal a la sección donde está el adhesivo, no está contemplado por dicho ensayo.

Por ello se ha decidido montar todos los módulos a la vez, es decir, cuando se produce el final de una varilla (104 mm) y deba apoyarse sobre otra varilla, en esta unión, se colocará en un nivel superior otra varilla, cerrando esta junta y evitando así todo el esfuerzo del adhesivo



En los puntos donde se deba introducir las diagonales en las columnas, se ha decidido crear dos tipos nuevos de varillas (Ver ANEXO B), los cuales tienen cortes de 45° en sus extremos, debido a que en la unión, se necesita un total apoyo sobre la comuna-diagonal. Siendo la dirección del corte la dirección hacia la que se vaya introducir en la columna.

Introduciendo las diagonales en las columnas, se consigue un total empotramiento sobre los nudos, condiciones que se han definido en el cálculo de la estructura.

En las parte centrales de las celosías, donde las diagonales se cruzan, se realiza en mismo proceso que en el montaje de las columnas. Dos varillas complementaran la diagonal, siendo la unión cerrada por otras dos varillas de la otra diagonal, y así sucesivamente hasta complementar las 3 varillas de cada diagonal.

Si se observa el ANEXO B, Plano Grúa, las 2 columnas más cercanas a la fuerza, las cuales sufrirán compresión, sus ejes tienen como inicio el final del módulo de la torre, es decir, estas tendrán 5 mm perteneciente a la torre, mientras otros 5 mm pertenecientes a la Flecha. Esto es necesario para poder empotrar las diagonales procedentes de la flecha, siguiendo el mismo método que con las diagonales.

Las viguetas pertenecientes al plano perpendicular al plano de la fuerza, se introducirán dentro de la columna para empotrar estos, mientras las viguetas pertenecientes al plano de la fuerza, únicamente se adherirán a las columnas, ya que estas están creadas para ofrecer apoyos y así evitar el fallo por pandeo de las columnas.

Montaje Flecha:

El montaje de esta parte de la grúa sigue el mismo procedimiento que el montaje de las diagonales, se irán montando las diferentes diagonales en los cruces, pero con la diferencia que estas tendrán 4 niveles y no como 3 niveles como tienen los de torre.

Las columnas en las partes exteriores de la flecha tienen como objetivo ofrecer un empotramiento al fin a las diagonales, además de estar orientadas de canto, ofrecerán mayor resistencia a flexión.

En la parte más exterior de la flecha, se situara un cilindro de madera, ya que si apoyase sobre varillas sin refuerzo, estas fallarían rápidamente.

Esta opción está contemplada por las especificaciones publicadas por la organización del concurso.

Montaje Portaflechas:

El montaje del portaflechas es similar al del mástil, ya que esta también está compuesta por sus modulo básicos, con la diferencia que esta tiene la parte exterior cerrada por dos columnas, que ofrecen un empotramiento a las diagonales.



En la parte superior de esta, se empotrara un cilindro de madera. La función de este cilindro es la misma que en la flecha, soportar la carga creada por la cuerda y evitar así la fácil rotura de las varillas.

Montaje Contraflecha

Igual montaje que portaflechas en lo referentes a las diagonales y columnas, pero esta vez el cilindro donde debe ir la cuerda, se colocara en la parte más exterior, ya que la cuerda deberá bajar hasta la base de la estructura, donde ira anclada ofreciendo así un contrapeso.



Conclusiones

Respecto a los ensayos mecánicos se han obtenido diferentes conclusiones:

Respecto al ensayo a flexión, sorprenden los resultados de la probeta número 5, la cual tiene propiedades superiores al resto, por ello se excluye, ya que no se considera representativa.

Respecto al ensayo a tracción, se comprueba la gran resistencia a este esfuerzo, ya que hay que considerar que el material proviene del sector de la alimentación, y viendo así estos resultados y comparándolos con los de flexión, se consideran aceptables. Respecto al módulo de Young calculado, se ha comprobado que este tipo de madera es muy poco rígida respecto a las que describe la normativa utilizada para elementos estructurales reales.

En los ensayos a cizalladura se comprobó lo que se esperaba, que con un adhesivo de gran popularidad como son los de la gama Loctite, se consigue una resistencia de la unión superior a la resistencia de la propia varilla. De esta forma se garantiza que el fallo se producirá en la varilla simplificando de esta forma los cálculos resistentes.

A lo largo de los diferentes momentos de carga de la estructura, se ha podido determinar cuáles son los esfuerzos máximos que actúan sobre la misma y en qué zonas:

Viguetas del mástil: Estas viguetas tenían una función importante debido a que evitaban que las columnas del mástil pandearan debido a la compresión, y además se ocupaban de transmitir los esfuerzos horizontales a lo largo del mástil y diagonales, y debido a estos esfuerzos que se traducían en compresión, solían fallar a pandeo producido por este.

Columnas del mástil y portaflechas: Estas según qué zona de la estructura trabajaban de una manera u otra. Si nos situamos en la base de la grúa, las columnas exteriores sufrían a compresión o tracción además de flexión, mientras el esfuerzo requerido en la columna central era despreciable. No ocurría así en la parte superior de la grúa(portaflechas), donde la columna central sufría tanto compresión como flexión mientras en las exteriores su trabajo era mínimo.

También, algunas partes que sufrían excesivamente debido a compresión eran aquellas de unión entre flecha y contraflecha, las cuales han debido ser fuertemente reforzadas.

Diagonales: Todas las diagonales pertenecientes a la grúa, fallaban debido a pandeo producido por la compresión ejercida. Este fallo se ha producido en diagonales pertenecientes al mástil, donde ha sido necesario reforzarlos únicamente con 1 varilla.



El resto de diagonales no sufrían casi esfuerzo, por lo que se ha podido reducir al mínimo sus dimensiones para así reducir el peso y utilizarlo en otras partes mas solicitadas.

El resto de diagonales no sufrían casi esfuerzo, por lo que se ha podido reducir al mínimo sus dimensiones para así reducir el peso y utilizarlo en otras partes mas solicitadas.

Columnas de la flecha: Estas columnas se podrían dividir en 2 grupos, la inferior y vertical, las cuales absorbían compresión producida por la carga, distribuyéndola a lo largo de las celosías, como se podía comprobar como el factor de aprovechamiento a lo largo de estas columnas se reducía a lo largo de esta.

Mientras tanto la columna superior absorbía el cortante y el flector producido por la reacción del cable, situándose como una de las partes mas reforzadas.

Columnas de la contraflecha: En este caso también se podría hacer la diferenciación entre columna superior e inferior. La superior no sufría casi esfuerzo debido a la gran cantidad de celosías que tenía adosadas, a la vez que el esfuerzo recibido vertical era distribuido en gran parte por la columna central del portaflechas o en la columna inferior de la contraflecha.

En cambio, la columna inferior sufría mucho más que la superior a compresión, debido a que era la encargada de distribuir la carga vertical que ofrecía el cable al ir a la base.

La carga máxima soportada se considera dentro de lo esperado, ya que en el primer concurso nacional de grúas, donde nació la idea de este proyecto, todos los participantes lograron que sus grúas soportasen un rango de 0.5-1.2 KN, por lo que la grúa del presente proyecto siendo de las mismas características y dimensiones, entra dentro del rango.

Durante la construcción de la maqueta, hay que prestar especial atención a las uniones, ya que con las nuevas dimensiones de la estructura, hay que hacerlo con la mayor atención. Además esta parte del proyecto es la más importante, ya que si no se hace las uniones entre varillas con un contacto perfecto, se produciría pequeñas separaciones entre estas, y por lo tanto la distribución de cargas no sería la calculada, reduciéndose así de forma notable la carga soportada de la grúa.



Bibliografía

UNE-EN 338:2003 Madera estructural. Clases resistentes.

UNE-EN 338:2003-Erratum Madera estructural. Clases resistentes.

UNE-EN 380- Estructuras de madera. Métodos de ensayo. Principios generales para los ensayos de carga estática.

UNE-EN 14081-1:2006- Estructuras de madera. Madera estructural con sección transversal rectangular clasificado por su resistencia.

Ejercicios de resistencia de materiales. Colección Textos Docentes. Autores: Begoña Calvo Calzada y Jesús Zurita Gabasa.

Problemas de elasticidad y resistencia de materiales. Biblioteca técnica universitaria. Autores: Antonio Argüelles e Isabel Viña





PROYECTO FIN DE CARRERA

**PROYECTO DE DISEÑO Y CÁLCULO DE
UNA GRUA FIJA DE MADERA SIN
MOVIMIENTO**

**ANEXO A
FICHAS TECNICAS**

FABRICA DE PALILLOS Y MONDADIENTES

Industrias BETIK, S.A.

20560 OÑATE

Lecesarri, 20
Apartado n.º 15
Teléfonos: 943.78.00.01 - 943.78.28.45
Telefax: 943.78.12.08
E-mail: comercial@palillosbetik.com

(Guipúzcoa)



FICHA TECNICA DE PRODUCTO

Código :	0120
Marca :	BETIK
Denominación :	MILLARES VARILLAS CALIBRADAS (114 x 2) A GRANEL

♦ CARACTERISTICAS:

Medidas:

Largo: 114 + 1/-2 mms.
Ancho: 10 + 0,2/-0,2 mms.
Grosor: 2 + 0,1/-0,2 mms.
Flecha de Curvatura: 2,7 mms.
Peso: 1 gramo

♦ PRESENTACION:

En cajas de cartón ondulado con 10.000 unidades, ordenadas horizontalmente. La caja tiene las medidas exactas para contener dicha cantidad, sin que el movimiento o el transporte los mueva de posición.

♦ PROCESO DE FABRICACION:

La madera en rollo y en verde, con toda la humedad natural, previamente descortezada y seleccionada, se corta en trozos de 53 cms. de largo y con un torno desenrollador se extrae de la misma en continuo una chapa de madera de 490 mms. de anchura y un espesor de 2,1 mms. y sin interrupción se troquelan automáticamente en prensa-cizalla rápida de paso exacto y fijo provista de la matricería de acero adecuada. El desenrollo se efectúa con una décima más de grosor en previsión de la contracción o merma que experimentará en el secado. Seguidamente pasan a un túnel de deshidratación circular continuo que gira con paso lento donde van volteándose las varillas mientras reciben aire caliente a 100º centígrados, y van corriendo hasta su salida una vez deshidratados. Sin que sean tocados por mano humana, pasan por "venturi" a un bombo pulidor, donde con el roce mutuo se pulen, abrillantan y romen las aristas. Las partículas y polvos son aspirados al final del tromel y en el comienzo de la preselección, y transportados al silo para su uso en generación de calor para los secaderos. Disponiendo de las varillas ya pulidas entran dosificadamente en una máquina transfer para ser sometidas a varios procesos.

♦ PRESELECCIÓN

Donde serán separadas las piezas torcidas y alabeadas.

♦ ORDENAMIENTO Y SELECCIÓN

Las varillas se posicionan sobre una base horizontal para ser arrastradas por unas cadenas de paso específico y exacto y pasan una a una por debajo de ojos electrónicos, que rechazan y sacan del circuito los que no alcanzan las cotas de idoneidad y tolerancias marcadas, como color, grosor, torcimiento, falta del contorno completo, etc.... La misma máquina cuenta, ordena e introduce en la caja la cantidad exacta de 10.000 unidades. Como previamente dentro de la caja se ha puesto un cinturón sobre el que se apoyan todas las varillas, es posible extraer de la caja mediante una polea neumática el total del contenido sujetado como si fuera una torta redonda. No conforme con la selección de la máquina que debe ser buena, todavía se efectúa esta maniobra para poner a la vista del operario el total del contenido de la caja, visualizarlo y chequearlo antes de proceder al cierre definitivo. Si se observara alguna pieza dudosa se suprime y anota en la hoja de control de calidad con el nombre del operario y el número de caja.

.. / ..

FABRICA DE PALILLOS Y MONDADIENTES

Industrias **BETIK, S.A.**

20560 OÑATE

Lecesarri, 20
Apartado n.º 15
Teléfonos: 943.78.00.01 - 943.78.28.45
Telefax: 943.78.12.08
E-mail: comercial@palillosbetik.com

(Gulpúzcoa)



2 / 2

Este control final es exhaustivo y determinante, y confiere al artículo la fiabilidad precisa. Así termina el ciclo, y la caja se cerrará por todos los lados abiertos, sin colas, únicamente con papel engomado de forma que cada caja quede inviolable.

♦ **MARCAJE**

El contenido de la caja es susceptible de ser entregada ordenadamente mediante vuelco a la tolva de otra máquina que por medio de un tambor con moldes candentes tallados con logotipos o leyendas, imprime al fuego sobre las varillas en su paso sincronizado.

♦ **MATERIALES:**

Madera de chopo canadiense "Populus canadensis". No olor. No sabor. Ningún ingrediente. Madera blanca. Fibra longitudinal resistente y grano de textura suave para el tacto y roce en labios y boca. Al no tener taninos concentrados por la juventud de las maderas utilizadas, ni resinas, ni vetas oscuras y carecer de gusto y olor hacen del "Populus canadensis" la más idónea madera para uso alimentario y sanitario. Deshidratado convenientemente y mantenido en lugar seco es un producto que no tiene caducidad en varios años.

♦ **CAJAS EXTERIORES:**

Cartón ondulado compuesto de tres capas.
Exterior bicolor marrón 150 gr.m2.
Central paja de 140 gr.m2.
Interno bicolor de 140 gr.m2.

♦ **CIERRE CAJAS:**

Papel engomado marrón de 70 mms. ancho cerrando la ranura de pliegue y ángulos laterales.



LOCTITE® 401

Mayo 2004

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

LOCTITE® 401 presenta las siguientes características:

Tecnología	Cianoacrilato
Tipo de Química	Cianoacrilato de Etilo
Aspecto (sin curar)	Transparente, incoloro a beige ^{LMS}
Componentes	Monocomponente -Sin mezclado
Viscosidad	Baja
Curado	Humedad
Aplicaciones	Unión
Sustratos clave	Madera, Papel, Cuero y Tejido

LOCTITE® 401 está diseñado para el montaje de materiales de unión difícil que requieren una distribución de la tensión uniforme y resistencia a tensiones fuertes y/o a cortadura. El producto proporciona una unión rápida de una gama amplia de materiales, incluyendo metales, plásticos y elastómeros. LOCTITE® 401 es especialmente adecuado para la unión de materiales porosos o absorbentes tales como la madera, papel, cuero y textiles.

PROPIEDADES TÍPICAS DEL MATERIAL SIN CURAR

Peso específico @ 25 °C	1,10
Punto de inflamabilidad- Consultar la HS	
Viscosidad, Cono & Plato, mPa·s (cP):	
T ^a : 25 °C, Velocidad Cortadura: 3 000 s ⁻¹	70 a 110 ^{LMS}
Viscosidad, Brookfield - LVF, 25 °C, mPa·s (cP):	
Husillo 1, velocidad 30 rpm	90 a 140

CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE CURADO

Velocidad de curado según el sustrato

La velocidad de curado depende del sustrato que se utilice. La siguiente tabla muestra el tiempo de fijación alcanzado en diferentes materiales a 22°C/50% de humedad relativa. Se define como el tiempo hasta desarrollar una resistencia a cortadura de 0,1 N/mm².

Tiempo de Fijación, ISO 4587, segundos:

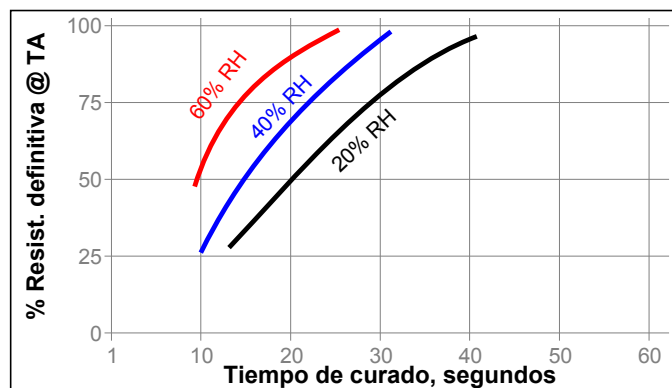
Acero (desengrasado)	5 a 20
Aluminio	2 a 10
Zinc Bicromatado	10 a 20
Neopreno	<5
Caucho de Nitrilo	<5
ABS	2 a 10
PVC	2 a 10
Polycarbonato	10 a 40
Fenólico	2 a 10
Madera (Balsa)	2 a 5
Madera (Roble)	90 a 180
Aglomerado	30 a 90
Textiles	2 a 20
Cuero	5 a 15
Papel	1 a 10

Velocidad de curado según la holgura

La velocidad de curado depende de la holgura de unión. Las líneas de unión delgadas dan como resultado velocidades de curado altas. Aumentando la holgura de unión se reduce la velocidad de curado.

Velocidad de curado según la humedad

La velocidad de curado depende de la humedad relativa ambiental. El siguiente gráfico muestra la resistencia a tracción desarrollada con el tiempo en caucho Buna N, a diferentes niveles de humedad.



Velocidad de curado según el activador

Cuando la velocidad de curado es excesivamente lenta debido a grandes holguras, la aplicación de un activador aumentará la velocidad de curado. No obstante, esto podría reducir la resistencia final de la unión por lo que se recomienda ensayar para confirmar el efecto.

PROPIEDADES TÍPICAS DEL MATERIAL CURADO

Curado durante 24 horas @ 22°C.

Propiedades Físicas:

Coefficiente de Dilatación Térmica, ASTM D 696, K ⁻¹	80×10 ⁻⁶
Coefficiente de Conductividad Térmica, ASTM C 177, W/(m·K)	0,10
Temperatura de Transición Vítrea, ASTM E 228, °C	120

Propiedades Eléctricas:

Resistencia Volumétrica, ASTM D 257, Ω·cm	1×10 ¹⁶
Resistencia Superficial, ASTM D 257, Ω	1×10 ¹⁶
Constante Dieléctrica / Factor de Disipación, ASTM D 150:	
100 Hz	2,75 / <0,02
1 kHz	2,75 / <0,02
10 kHz	2,75 / <0,02
Resistencia Dieléctrica, ASTM D 149, kV/mm	25

COMPORTAMIENTO DEL MATERIAL CURADO**Propiedades del adhesivo**

Curado durante 24 horas @ 22°C.

Resistencia a cortadura en placas, ISO 4587:

Acero (granallado)	N/mm ²	18 a 26
	(psi)	(2 610 a 3 770)
Aluminio (tratado)	N/mm ²	11 a 19
	(psi)	(1 595 a 2 755)
Zinc Bicromatado	N/mm ²	4 a 10
	(psi)	(580 a 1 450)
ABS	N/mm ²	6 a 20
	(psi)	(870 a 2 900)
PVC	N/mm ²	6 a 20
	(psi)	(870 a 2 900)
Fenólico	N/mm ²	5 a 15
	(psi)	(725 a 2 175)
Polycarbonato	N/mm ²	5 a 20
	(psi)	(725 a 2 900)
Nitrilo	N/mm ²	5 a 15
	(psi)	(725 a 2 175)
Neopreno	N/mm ²	5 a 15
	(psi)	(725 a 2 175)

Resistencia a la tracción, ISO 6922:

Acero (granallado)	N/mm ²	12 a 25
	(psi)	(1 745 a 3 625)
Buna-N	N/mm ²	5 a 15
	(psi)	(725 a 2 175)

Curado durante 10 segundos @ 22°C

Resistencia a la tracción, ISO 6922:

Buna-N	N/mm ²	≥6,90 ^{LMS}
	(psi)	(1 000)

RESISTENCIA TÍPICA MEDIOAMBIENTAL

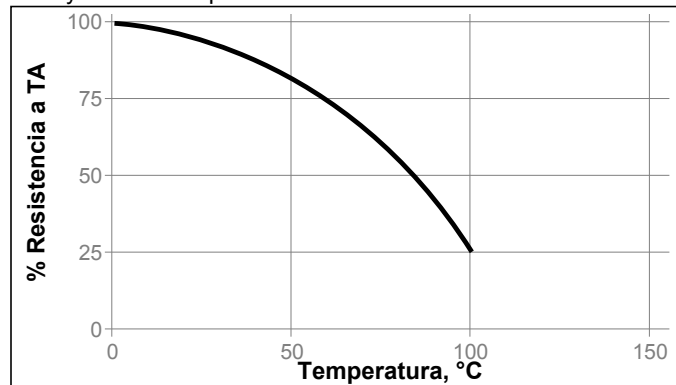
Curado durante 1 semana @ 22°C.

Resistencia a cortadura en placas, ISO 4587:

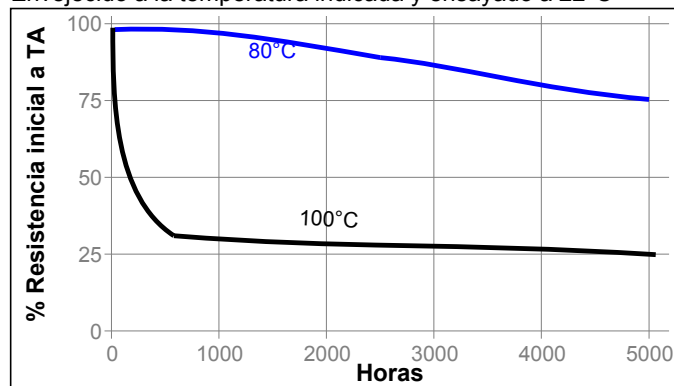
Acero (granallado)

Resistencia térmica

Ensayada a la temperatura indicada

**Envejecimiento térmico**

Envejecido a la temperatura indicada y ensayado a 22°C

**Resistencia a Productos Químicos/Disolventes**

Envejecido en las condiciones indicadas y ensayado a 22°C.

Medio Operativo	°C	% de resistencia inicial		
		100 hr	500 hr	1000 hr
Aceite de motor	40	95	95	95
Gasolina	22	100	100	100
Etanol	22	100	100	100
Alcohol Isopropílico	22	100	100	100
Freon TA	22	100	100	100
Calor/Humedad 95% HR	40	70	50	40
Calor/Humedad 95% HR en Polycarbonato	40	100	100	100

INFORMACIÓN GENERAL

Este producto no está recomendado para uso con oxígeno puro y/o sistemas ricos en oxígeno, y no se debe elegir como sellador de cloro u otros oxidantes fuertes.

Para información sobre seguridad en la manipulación de este producto, consultar la Hoja de Seguridad (HS).

Modo de empleo

1. Para un mejor comportamiento, las superficies a unir deben estar limpias y sin grasa.
2. Este producto se comporta mejor en holguras pequeñas (0,05 mm).
3. El exceso de adhesivo puede disolverse con disolventes limpiadores de Loctite, nitrometano o acetona.

Especificación del Material Loctite^{LMS}

LMS de fecha Diciembre 16, 2003. Se dispone de informes de ensayo para cada lote en particular, que incluyen las propiedades indicadas. A fin de ser usados por el cliente, los informes de ensayo LMS incluyen los parámetros de ensayo de control de calidad seleccionados, adecuados a las especificaciones. Asimismo, se realizan controles completos que aseguran la calidad y consistencia del producto. Determinados requisitos de especificaciones del cliente pueden coordinarse a través del Dpto. de Calidad Henkel Loctite.

Almacenamiento

Almacenar el producto en sus envases, cerrados y en lugar seco. La información sobre el almacenamiento puede estar indicada en el etiquetado del envase del producto.

Almacenamiento Óptimo: 2°C a 8°C. El almacenamiento a temperatura inferior a 2°C o superior a 8°C puede afectar de forma adversa a las propiedades del producto. El material que se extraiga del envase puede resultar contaminado durante su uso. No retornar el producto sobrante al envase original. Henkel Corporation no puede asumir ninguna responsabilidad por el producto que haya sido contaminado o almacenado en otras condiciones distintas a las previamente indicadas. Si se necesita información adicional, por favor contactar con el Departamento Técnico o su Representante local.

Conversiones

$(^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32 = ^{\circ}\text{F}$

$\text{kV/mm} \times 25,4 = \text{V/mil}$

$\text{mm} / 25,4 = \text{"}$

$\text{N} \times 0,225 = \text{lb}$

$\text{N/mm} \times 5,71 = \text{lb/"}$

$\text{N/mm}^2 \times 145 = \text{psi}$

$\text{MPa} \times 145 = \text{psi}$

$\text{N}\cdot\text{m} \times 8,851 = \text{lb}\cdot\text{"}$

$\text{N}\cdot\text{mm} \times 0.142 = \text{oz}\cdot\text{"}$

$\text{mPa}\cdot\text{s} = \text{cP}$

Nota

Los datos aquí contenidos se facilitan sólo para información, y se consideran fiables. No se pueden asumir responsabilidades de los resultados obtenidos por otros sobre cuyos métodos no se tiene control alguno. Es responsabilidad del usuario determinar la aptitud de los métodos de producción aquí mencionados para sus propios fines, y adoptar las precauciones que sean recomendables para proteger a toda persona o propiedad de los riesgos que pueda entrañar la manipulación y utilización de los productos. A la vista de lo anterior, Henkel Corporation declina específicamente todas las garantías explícitas o implícitas, incluyendo garantías de comercialización o instalación para un propósito en particular, producidas por la venta o uso de productos de Henkel Corporation. Henkel Corporation declina específicamente cualquier responsabilidad por daños de cualquier tipo, incidentales o derivados como consecuencia del uso de los productos, incluyendo la pérdida de ganancias. La exposición aquí ofrecida sobre procesos o composiciones, no debe interpretarse como una afirmación de que estos estén libres de patentes que obran en poder de otras firmas, o que son licencias de Henkel Corporation, que pueden cubrir dichos procesos o composiciones. Se recomienda a cada posible usuario que pruebe la aplicación propuesta antes de su utilización habitual, empleando estos datos como guía. Este producto puede estar cubierto por una o varias patentes estadounidenses o de otras nacionalidades, o por solicitudes.

Uso de la Marca Registrada

LOCTITE es una Marca Registrada de Henkel Loctite.

Referencia 1



Ficha de datos de seguridad:



Fecha de revisión: 19/07/2005
Fecha de edición: 06/08/2005
Version: 16

1. IDENTIFICACIÓN DE LA SUSTANCIA/PREPARADO Y DE LA SOCIEDAD/EMPRESA

Nombre del producto: LOCTITE(R) 401

Número de artículo/de IDH: 158401

Tipo de Producto: Cianoacrilato.

Región: Europa

Dirección

Henkel Adhesivos y Tecnologías, S.L. Igono Industrial Alparache, / Camino de Villaviciosa, 18-20 Navacalcarero, teléfono +34-91-860.90.00 número de FAX +34-91-811.2409 teléfono para Emergencias +353-1-4599301/+353-87-2629625/+353-1-4046444

2. COMPOSICION/INFORMACION SOBRE LOS COMPONENTES

Naturaleza: Adhesivo de cianoacrilato.

Componentes CAS No.	No. EINECS.	%	Clasificación
Etilcianoacrilato 7085-85-0	230-391-5	80 - 100	Xi;R36/37/38

Información adicional:

Para información sobre las frases de riesgo, consultar la Sección 16.

3. IDENTIFICACION DE LOS PELIGROS

Vía de Base Exposición: Ojos, Pulmones, Piel

Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

Pega la piel y los ojos en segundos. Fuerte reactivo al agua. (Ver la Sección 4 de Primeros Auxilios).

4. PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación:

Trasladar la persona afectada al aire fresco y si persiste la dolencia, llamar al médico.

Contacto con los ojos:

Si el ojo está cerrado y pegado, despegar las pestañas con agua templada cubriéndolas con una compresa húmeda templada.. El cianoacrilato se adhiere a la proteína del ojo causando efectos lacrimógenos que ayudarán a despegar el adhesivo.. Mantener el ojo tapado hasta que se despegue por completo. Normalmente en el transcurso de 1 a 3 días.. No abrir el ojo forzando. Consulte a un médico en caso de que las partículas sólidas de cianoacrilato atrapadas debajo del párpado causen lesiones..

Ingestión:

Asegurar que las vías respiratorias no estén obstruidas. El producto se polimerizará inmediatamente en la boca resultando casi imposible tragarlo. La saliva separará poco a poco de la boca el producto solidificado (varias horas)..

Número de artículo/de IDH: 158401

Nombre del producto: LOCTITE(R) 401

Contacto con la piel:

No despegar con tirones la piel pegada. Se puede despegar con cuidado con un objeto como una cuchara, preferiblemente después de mojarla con agua jabonosa templada.. Los cianoacrilatos desprenden calor al solidificarse. En raras ocasiones, una gota de gran tamaño podría generar suficiente calor como para producir una quemadura.. Después de eliminar el adhesivo de la piel, tratar las quemaduras en la forma habitual.. Si accidentalmente se pegan los labios, aplicar agua templada y humedecer y presionar al máximo con la saliva desde el interior de la boca.. Pelar o deslizar los labios para separarlos. No tratar de separar los labios tirando de ellos..

5. MEDIDAS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS

Medios de extinción adecuados:

Usar vaporizador de agua (nebulizar), en espuma resistente al alcohol, productos químicos en polvo o dióxido de carbono.

Procedimientos especiales de extinción de incendios: Los bomberos deben usar equipos autónomos de respiración.

Peligros de incendio o explosión poco comunes: Ninguno.

Los productos peligrosos combustión: Se podrían liberar cantidades pequeñas de emanaciones tóxicas y/o irritantes y se recomienda el uso de un respirador.

6. MEDIDAS QUE DEBEN TOMARSE EN CASO DE VERTIDO ACCIDENTAL

Precauciones para la protección del medio ambiente:

Ventilar el área. Impida que el producto penetre en desagües.

Métodos de limpieza:

No utilice paños para fregar. Vierta agua para completar la polimerización y retírelo del suelo. El material curado se puede eliminar como un residuo no peligroso.

7. MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO

Manipulación:

Se recomienda ventilación (nivel bajo) cuando se usan grandes volúmenes o cuando el olor es aparente (el umbral olor es aprox 1-2ppm). Se recomienda usar equipo de dosificación para minimizar el riesgo de contacto con la piel o los ojos..

Almacenamiento:

Almacenar en los envases originales a una temperatura entre 2 - 8°C (35.6 - 46.4 °F)..

8. CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Componentes CAS No.	ACGIH TLV	Austria	Bélgica	República Checa
Etilcianoacrilato 7085-85-0	0.2 ppm TWA	2 ppm MAK 9 mg/m ³ MAK		

Componentes CAS No.	Estonia	Greece	Finlandia	Francia	Hungría
Etilcianoacrilato 7085-85-0	10 mg/m ³ TWA 2 ppm TWA 20 mg/m ³ STEL 4 ppm STEL				

Componentes CAS No.	Alemania	Irlanda	Países Bajos	Normas administrativas noruegas:	Portugal
Etilcianoacrilato 7085-85-0		0.2 ppm TWA			0.2 ppm TWA

Componentes CAS No.	Polonia	España	Suecia	UK
Etilcianoacrilato 7085-85-0			10 mg/m³ LLV 2 ppm LLV 20 mg/m³ STV 4 ppm STV	0.3 ppm STEL 1.5 mg/m³ STEL

Protección respiratoria:

Protección respiratoria..

Protección de la piel:

Se recomienda el uso de guantes resistentes a los productos químicos, de nitrilo. Se recomienda llevar guantes de polietileno o polipropileno cuando se trabaja con grandes volúmenes.. No utilizar guantes de PVC, goma o nylon.. Téngase en cuenta que, en la práctica, la vida útil de los guantes resistentes a los productos químicos puede verse reducida considerablemente como resultado de la influencia de muchos factores (ej. la temperatura). Los riesgos que conlleva deberán ser sopesados por el usuario final. Reemplazar los guantes si se observan signos de desgaste o desgarro .

Protección para los ojos/la cara:

Proteger los ojos siempre que exista riesgo de salpicaduras.

9. PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado Físico:	líquido
Color:	incolore Transparente
Olor:	Agudo. picante
pH:	no aplicable
Presión de Vapor:	Inferior a 0.2 mm Hg
Temperatura de ebullición/rango:	Superior a 149°C (300°F)
Temperatura de fusión/rango:	indeterminado
Peso específico:	1.05
Densidad de vapor:	Aproximadamente 3
Punto de inflamabilidad:	80°C (176°F) a 93.4°C (200°F) Copa cerrada Tag
Temperatura de autoignición:	485°C (905°F)
Índice de evaporación:	No disponibles
Solubilidad en agua:	Polimeriza al contacto con agua.
Solubilidad en acetona:	miscible
Coefficiente de reparto (n-octanol/agua):	No aplicable
Contenido de COV:	< 3 % (Tal y como Tal e como se define na Directiva da Comissao 1999/13/EC se define en la Directiva de la Comisión 1999/13/EC)

10. ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad:	Estable bajo las condiciones de almacenamiento recomendadas.
Polimerización:	Se producirá una polimerización exotérmica en presencia de agua, aminas, álcalis y alcoholes.
Productos de descomposición peligrosos:	Ninguno(a)
Materias a evitar:	Agua, aminas, álcalis y alcoholes..
Condiciones a evitar:	Polimerización espontánea

11. INFORMACION TOXICOLOGICA

Inhalación:	Irrita las vías respiratorias. Prolonged exposure to high concentrations of vapours may lead to chronic effects in sensitive individuals. En atmósfera seca con <50% humedad relativa, los vapores podrán irritar los ojos y el sistema respiratorio..
Piel:	Irrita la piel. Une la piel en segundos. Se considera de baja toxicidad. LD50 dérmica aguda (conejo) >2000mg/kg.. Al polimerizar en la superficie de la piel, no se considera posible una reacción alérgica..
Los ojos:	Este producto es irritante para los ojos.. El producto líquido pega los párpados. Los vapores en atmósferas secas (HR<50%) provocan irritación y efecto lacrimógeno..
Ingestión:	Se considera que los cianoacrilatos tienen relativamente baja toxicidad. La LD50 es >5000mg/kg (rata). Es casi imposible tragarlos ya que polimerizan rápidamente en la boca..

12. INFORMACIONES ECOLOGICAS

Mobilidad:	Sin datos disponibles.
Bioacumulación:	Sin datos disponibles.
Efectos ecotoxicológicos:	Producto biodegradable de baja ecotoxicidad Las Demandas de Oxígeno Químico y Biológico (BOD y COD) son insignificantes.
Persistencia / Degradabilidad:	No disponibles
Alemania, clases de peligros del agua (wgk):	Not a water pollutant

13. CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACION

Producto:	
Sistema de eliminación:	Polimerizar vertiéndolo poco a poco al agua (10:1). Desecharlo como sustancia química sólida, no tóxica e insoluble en agua, en un vertedero aprobado o incinerar en condiciones controladas. . La contribución a desperdicios de este producto es muy insignificante en comparación al material con el que se utiliza.
Catálogo Europeo de Residuos:	08 04 09 residuos de adhesivos y selladores que contienen disolventes orgánicos y otras sustancias peligrosas.
Envases:	
Sistema de eliminación:	Elimínelo en un vertedero autorizado o incinérelo.

14. INFORMACION RELATIVA AL TRANSPORTE

ICAO/IATA (Aire):

Número de Identificación:	UN 3334
Denominación adecuada de envío:	Líquidos regulados para aviación, n.o.s. Greater than 500 ml
Clase o división de peligro:	9
Grupo de envasado:	Ninguna
Las excepciones:	(No más de 500ml) No restringido

IMO/IMDG (Mar)

Número de Identificación:	Ninguno
Clase o división de peligro:	Ninguno
Grupo de envasado:	Ninguno

Contaminante marino: ninguno

ADR/RID (Camino/Tren)

Número NU Ninguno
Denominación adecuada de envío: No restringido
Clase o división de peligro: Ninguno
Grupo de envasado: Ninguno
Código de clasificación: ninguno

15. INFORMACION REGLAMENTARIA

Contiene: Cianocrilato. Peligro. Se adhiere a la piel y a los ojos en pocos segundos. Manténgase fuera del alcance de los niños
Indicación de peligro: Xi - Irritante.



Frases Sobre El Riesgo:

Frases Sobre Combinacion de Riesgos: R36/37/38 - Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

Frases Sobre Medidas de Seguridad: S26 - En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
S23 No respirar los vapores.
S24/25 Evítese el contacto con los ojos y la piel.

Etiquetado adicional: Ninguno

Regulaciones Nacionales:
RD 255/2003, de 28 de Febrero
RD 1425/1998, de 3 de Julio
RD 363/1995, de 10 de Marzo
RD 1078/1993, de 2 de Julio

16. OTRAS INFORMACIONES

Compilado por: Vanessa Doherty PSRA Specialist, Product Safety & Regulatory Affairs - Europe

Las informaciones indicadas en esta hoja de datos de seguridad proceden de fuentes acreditadas y, a nuestro mejor saber y entender, es exacta y actual en la fecha indicada. Ni Loctite ni sus subsidiarias aceptan ninguna responsabilidad por el uso hecho de las informaciones aquí indicadas, o el empleo, aplicación o proceso del producto o productos descritos más arriba. Esta ficha de datos de seguridad está compilada de acuerdo a la Directiva de la Comisión 2001/59/EC, adaptándola al progreso técnico en su 28ª edición, según la Directiva del Consejo 67/548/EEC y la Directiva de la Comisión 1999/45/EC.

Definición de la Sección 2 Frases R.
R36/37/38 - Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias.

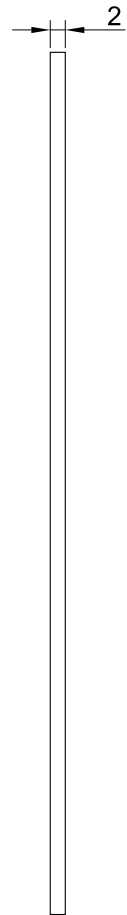
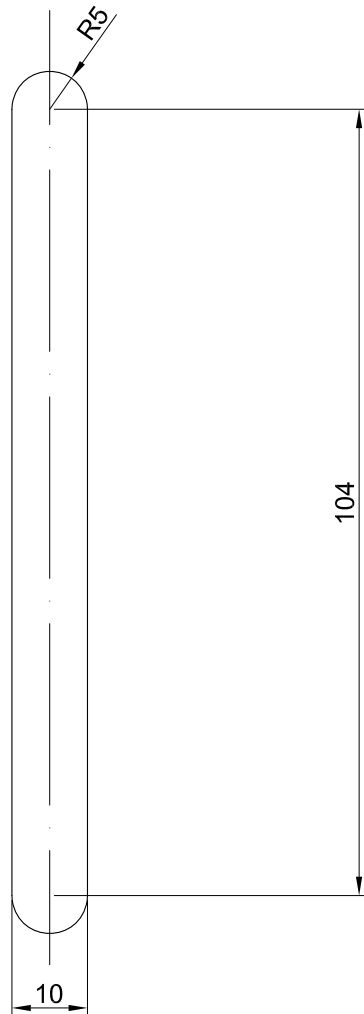
PROYECTO FIN DE CARRERA



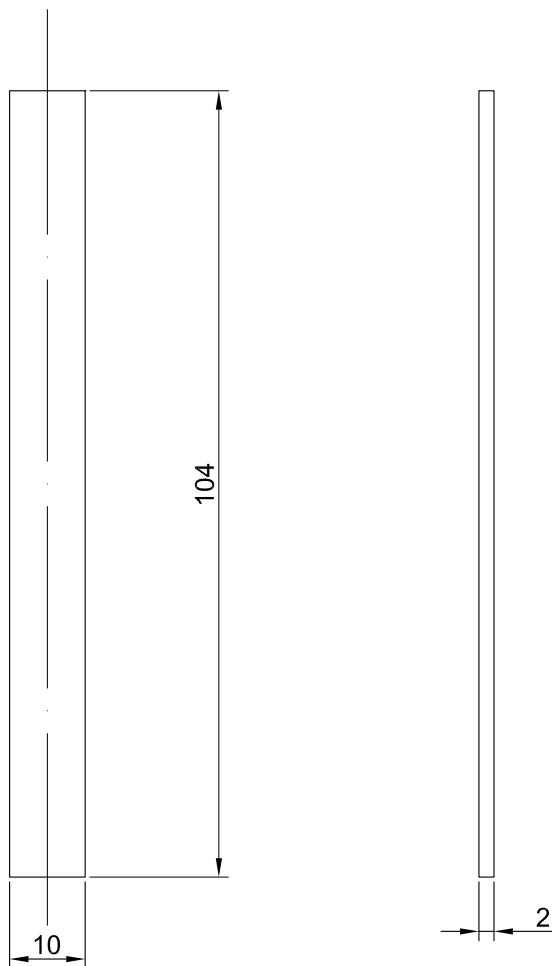
PROYECTO DE DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA DE MADERA SIN MOVIMIENTO

ANEXO B

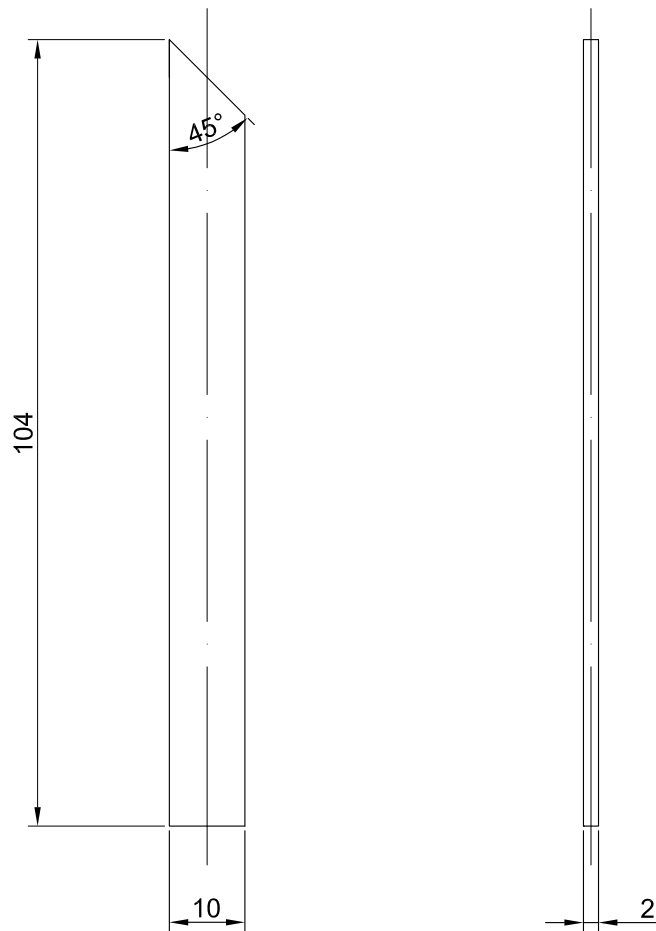
PLANOS



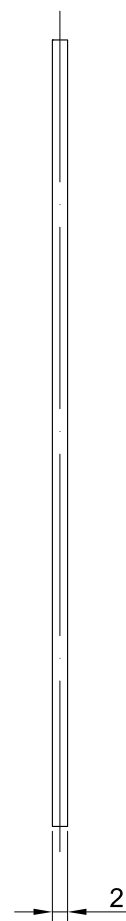
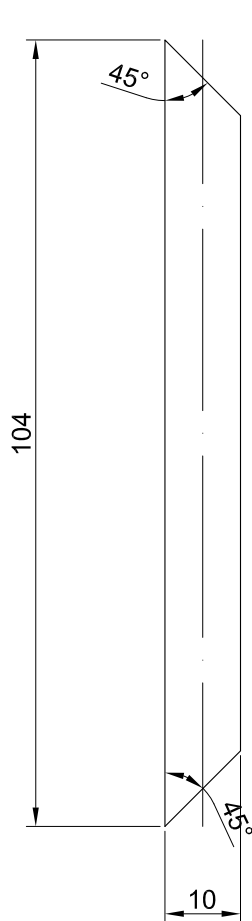
Nº PIEZAS : 1	FECHA	NOMBRE	FIRMA:	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
DIBUJADO		ALBERTO ALEJO SERRANO REMÓN			
COMPROBADO					
ID. NORMAS					
ESCALA				PLANO Nº: 1	
1:1		VARILLA ORIGINAL			



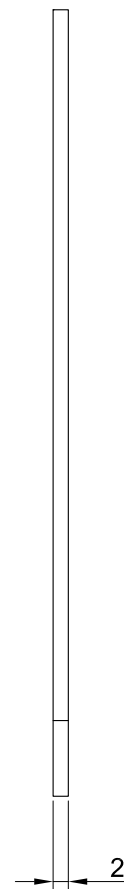
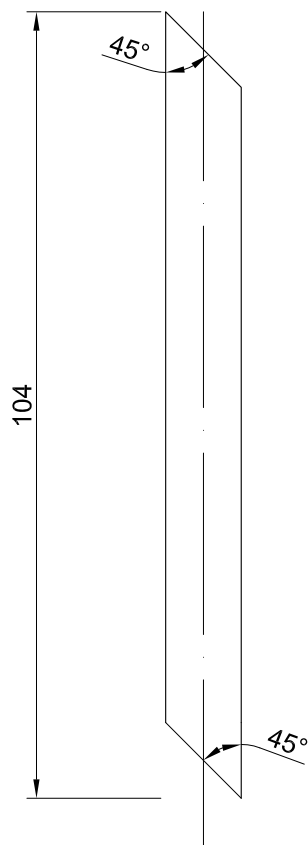
Nº PIEZAS : 1					
	FECHA	NOMBRE	FIRMA:	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
DIBUJADO		ALBERTO ALEJO SERRANO REMÓN			
COMPROBADO					
ID. NORMAS					
ESCALA					
1:1	VARILLA Tipo 1			PLANO Nº:	2



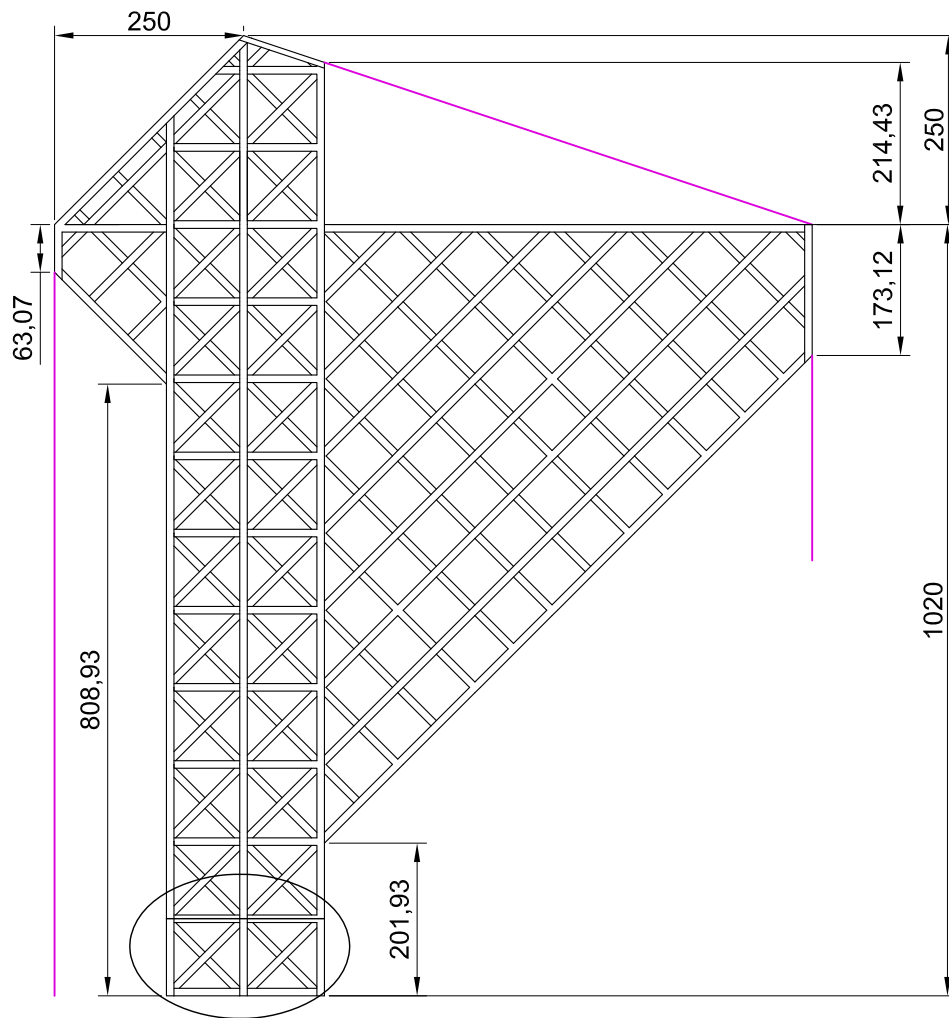
Nº PIEZAS : 1					
	FECHA	NOMBRE	FIRMA:	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
DIBUJADO		ALBERTO ALEJO SERRANO REMÓN			
COMPROBADO					
ID. NORMAS					
ESCALA					
1:1	VARILLA Tipo 2			PLANO Nº:	3



Nº PIEZAS : 1	FECHA	NOMBRE	FIRMA:	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
DIBUJADO		ALBERTO ALEJO SERRANO REMÓN			
COMPROBADO					
ID. NORMAS					
ESCALA				PLANO Nº:	
1:1	VARILLA Tipo 3			4	

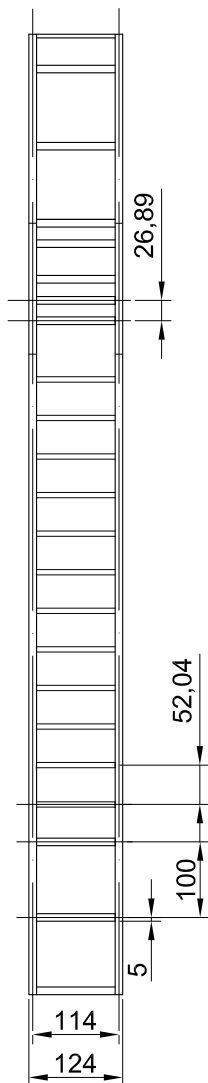


Nº PIEZAS : 1					
	FECHA	NOMBRE	FIRMA:	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
DIBUJADO		ALBERTO ALEJO SERRANO REMÓN			
COMPROBADO					
ID. NORMAS					
ESCALA					
1:1	VARILLA Tipo 4			PLANO Nº:	5

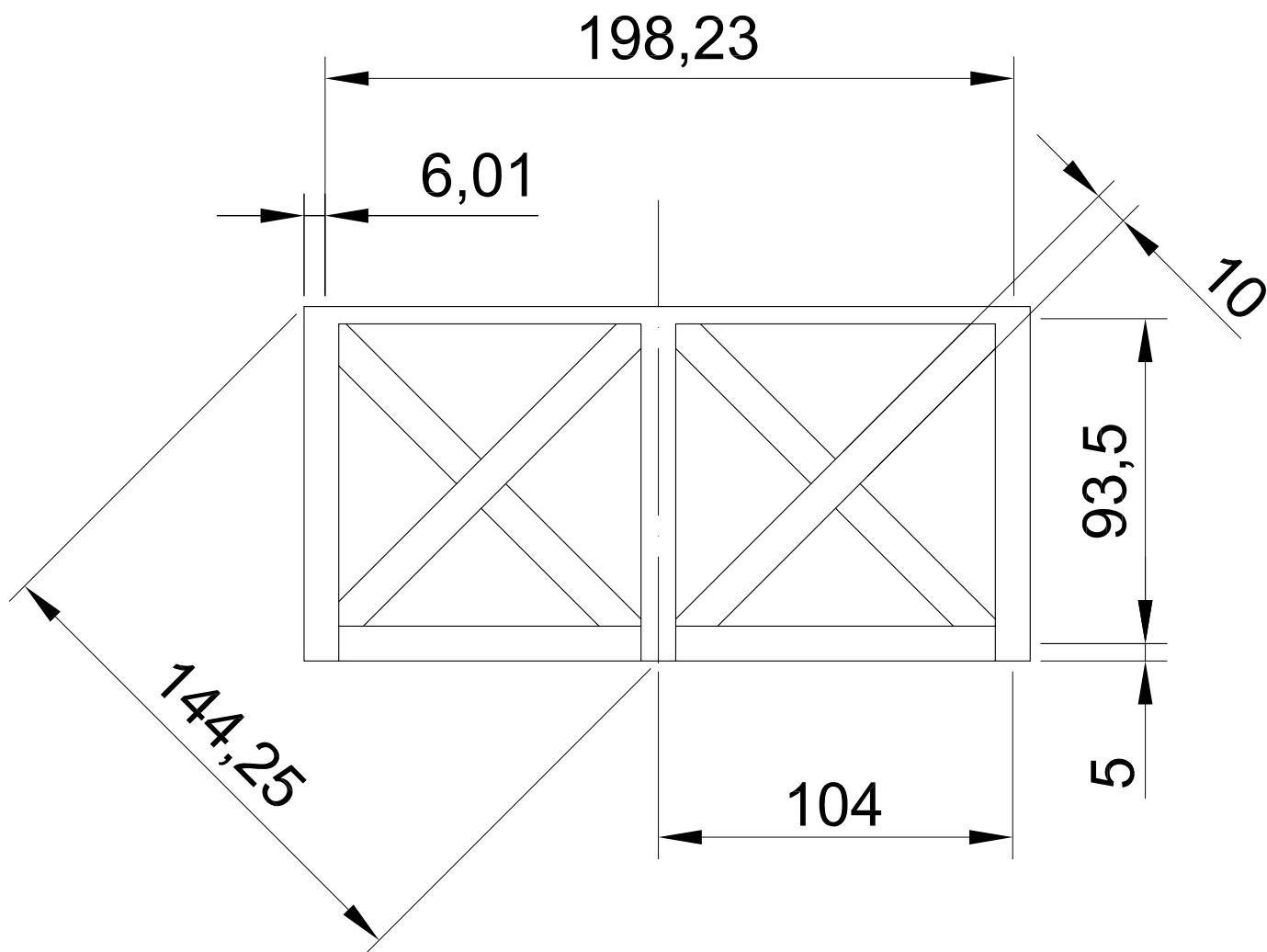


Detalle A-A

Nº PIEZAS : 1	FECHA	NOMBRE	FIRMA:	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
DIBUJADO		ALBERTO ALEJO SERRANO REMÓN			
COMPROBADO					
ID. NORMAS					
ESCALA				PLANO Nº:	
1:10	Grúa vista lateral			6	



Nº PIEZAS : 1	FECHA	NOMBRE	FIRMA:	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
DIBUJADO		ALBERTO ALEJO SERRANO REMÓN			
COMPROBADO					
ID. NORMAS					
ESCALA				PLANO Nº:	
1:10	Grúa vista frontal			7	



Nº PIEZAS : 1	FECHA	NOMBRE	FIRMA:	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
DIBUJADO		ALBERTO ALEJO SERRANO REMÓN			
COMPROBADO					
ID. NORMAS					
ESCALA				PLANO Nº: 8	
1:5	Detalle A-A				



PROYECTO FIN DE CARRERA



PROYECTO DE DISEÑO Y CÁLCULO DE UNA GRUA FIJA DE MADERA SIN MOVIMIENTO

ANEXO C ENSAYOS MECÁNICOS DE MATERIAL





ANEXO C

En el siguiente anexo se describe como se han obtenido y calculado los datos experimentales comentados en la parte de la memoria correspondiente, mostrando la totalidad de los datos obtenidos.

Descripción de las pruebas preliminares visuales

Según lo comentado en la parte de la memoria perteneciente a estas pruebas, hay que dirigirse a la normativa vigente (UNE-EN 14081-1:2006), la cual hace referencia a diferentes características que se debe tener en cuenta la madera, las cuales son:

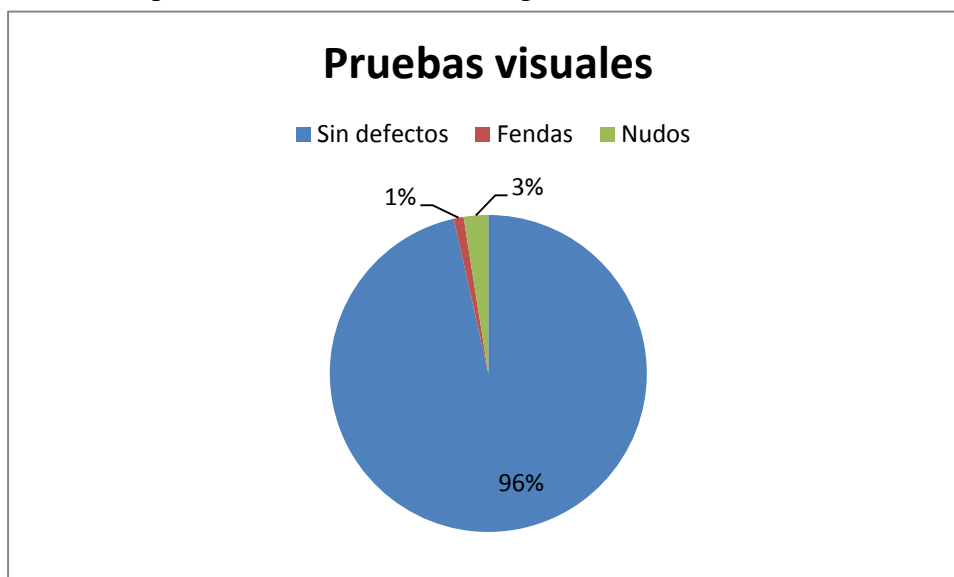
-Fendas: Son grietas producidas en la madera debido a contracción (debido al secado), de heladura, provocadas por rayos, de abatimiento, etc. Generalmente las fendas que más suelen darse son las de contracción, comúnmente llamadas de secado.

-Gemas: Canto redondeado o ausencia de madera a lo largo del borde de una pieza y de alguna de sus esquinas.

-Nudos: Los nudos de los listones de madera, en el frente de un mueble o en el suelo de una estancia son, en origen, las áreas del tronco donde nació la base de una rama. Cuando la madera se corta en planchas, los nudos se convierten en discontinuidades o irregularidades circulares que aparecen en las vetas del material.

-Alabeo: Comba de cualquier cuerpo o superficie. Este defecto no se produce frecuentemente debido a la pequeña longitud de las varillas.

La grúa deberá tener un peso máximo de 2 Kg, por lo que si cada varilla tiene un peso de 1 gr, la grúa tendrá 2000 palillos. Viendo el número de palillos que se compone, se realizara un gráfico de defectos del 20 % (400 varillas) de la totalidad, las cuales, se considerara un población suficientemente representativa.





Se observa que la cantidad de defectos es bastante reducida (un 4% en total), además de ser únicamente causados por fendas o nudos, por lo que se puede determinar que los controles de calidad de fábrica de origen son bastante aceptables, cosa a presuponer, ya que estas varillas están destinadas a la alimentación.

Estos defectos (aunque sea únicamente un 4%) de la madera pueden causar una reducción de la resistencia en ciertas partes de la estructura, por lo que aun a pesar de la normativa vigente de que varias probetas aun con estos defectos se podrían considerar aceptables, se decidió retirar todas aquellas varillas que presentasen cualquier defecto.

A través de los ensayos visuales comparándolas con las tablas 1, tabla 2 y tabla 3 de la memoria pertenecientes a este apartado, se puede determinar que la clase resistente de la madera será superior o igual a C-18.

Pruebas experimentales

Después de las pruebas preliminares visuales, se puede proceder a los diferentes ensayos experimentales:

DESCRIPCION DE LOS ENSAYOS

Los datos registrados por la máquina de control son varios, entre los que hay torsión, grados de curvatura, etc. Pero para la realización de nuestros ensayos únicamente nos interesarán los siguientes:

- Position mm MAX: Hace referencia a la posición donde se encuentra la mordaza respecto al eje de coordenadas de esta.
- Load KN MAX: Hace referencia a la resistencia que a de superar la mordaza en ese momento para poder continuar su movimiento constante.

Tanto en la memoria como en este Anexo, se hace referencia a fluencia y estado de rotura. Estas expresiones indican los tiempos a lo largo del ensayo, es decir, si hablamos de estado de fluencia, nos referimos al momento justo en que la gráfica que represente el ensayo pierda la linealidad, mientras que al estado de rotura indica al último momento del ensayo.



ENSAYO DE FLEXION

A continuación se representan los diagramas Fuerza-Alargamiento de cada una de las probetas con las tensiones correspondientes a estado de fluencia y estado de rotura, calculados en el apartado de la memoria referente a este ensayo:

El cálculo de flecha en Fluencia y flecha en Rotura se realizará de la siguiente manera:

$$f_m = x_m - x_0;$$

$$f_M = x_M - x_0;$$

Siendo

- f_m = Flecha en estado fluencia.
- f_M = Flecha en estado de rotura.
- x_m = Posición en fluencia de la mordaza respecto su origen de coordenadas.
- x_M = Posición en rotura de la mordaza respecto su origen de coordenadas.
- x_0 = Posición inicial de la mordaza respecto su origen de coordenadas.

Y la tensión correspondiente a cada momento del ensayo se calculara como

$$\sigma = \frac{M_z}{I_z} y_{m\acute{a}x} = \frac{M_z}{W_z};$$

Y sabiendo que el módulo resistente para una sección rectangular maciza es constante

$$W_z = \frac{bh^2}{6} = \frac{10 \cdot 2^2}{6} = 6.667 \text{ mm}^3;$$

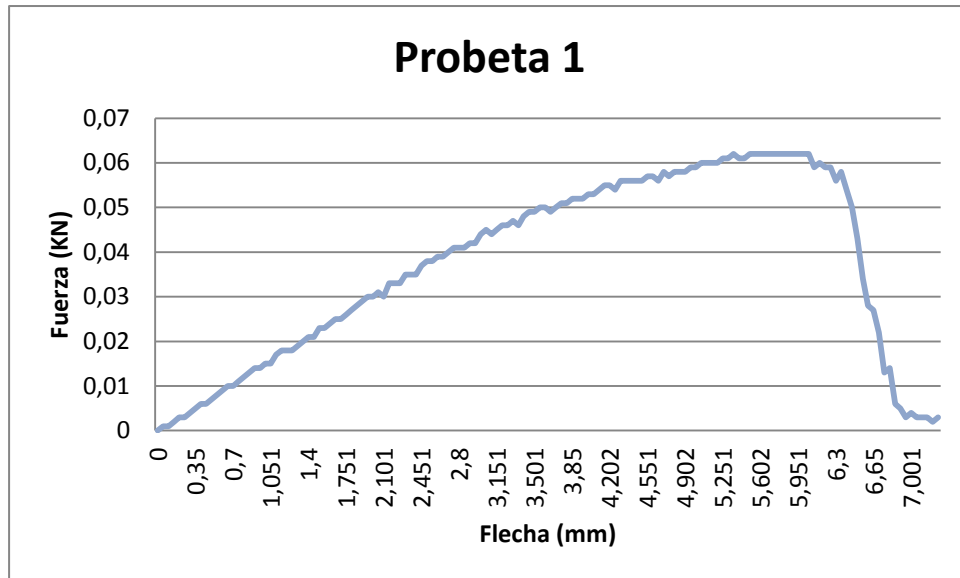
Y el momento flector máximo en un biapoyada libre en ambos extremos será

$$M_{f,m\acute{a}x} = \frac{P \cdot L}{4};$$

Se puede deducir las tensiones creadas en los ensayos a flexión, como se comenta a continuación:



Probeta 1



Al inicio de este ensayo se produce el crecimiento proporcional en el gráfico, identificando esta parte de la gráfica como zona de estudio. Esta zona proporcional llega a su fin con una fuerza de $F_f = 0.044$ KN y deformación de 3 mm considerado este punto al de fluencia, iniciándose una zona donde la deformación crece de forma más intensa que la resistencia ofrecida, alcanzando así la carga rotura (0.062 KN), donde se producirá una ductilidad a carga constante hasta la rotura.

La rotura del material no es brusca como puede ocurrir en los ensayos a tracción, si no que se produce una rotura escalonada, debida a la composición del material, ya que en el sentido de las pruebas (perpendicular a las fibras), se produce rotura de algunas fibras al llegar a carga de rotura, pero no de su totalidad, ofreciendo estas algo de resistencia.

Como se ha comentado en la descripción de los ensayos, se calculara las tensiones en fluencia y en rotura.

Por lo que recopilando la información de la gráfica:

Flecha:

$U_{f,fluencia,1}$: 3.000 mm;

$U_{f,rotura,1}$: 6.051 mm

Fuerza:

En fluencia soportada: 0.044 KN;

En rotura soportada: 0.062 KN;

$$\sigma_{1,fluencia} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{\frac{0.044 \cdot 70}{4}}{6.667} + 0 = 0.115 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

$$\sigma_{1,rotura} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{\frac{0.062 \cdot 70}{4}}{6.667} + 0 = 0.163 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

[illegible]

La parte negativa representada, es debido al momento de retirada de la probeta del ensayo, ya que para retirar esta, de debía mover las mordazas, por lo que aplicando un esfuerzo sobre la mordaza, lo cual esta quedaba registrada como elongación y resistencia.

Flecha:

U_{f,fluencia,2}: 2.6 mm
U_{f,roturaa,2}: 5.249 mm



Carga:

En fluencia soportada: 0,019 KN

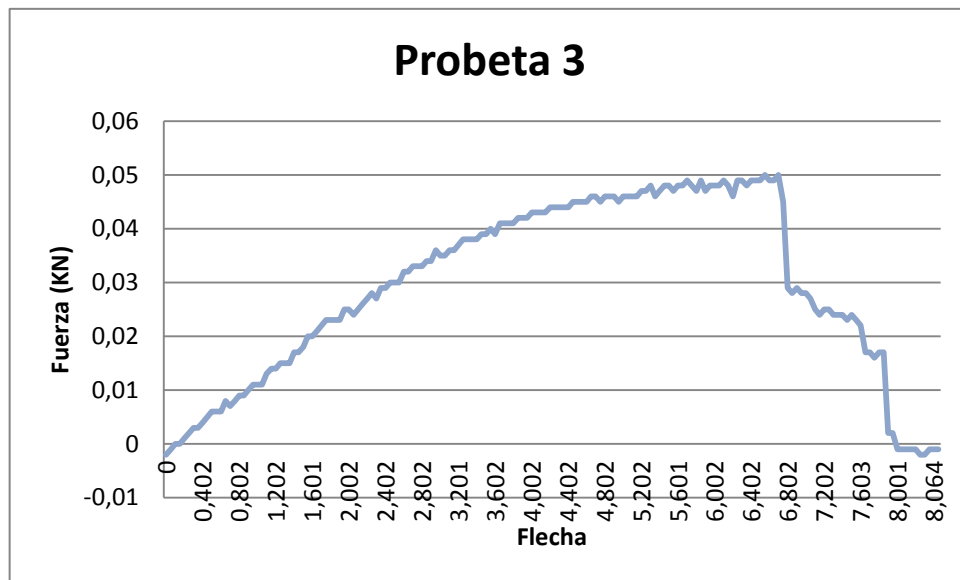
En rotura soportada: 0.03 KN

Tensión:

$$\sigma_{2,fluencia} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{\frac{0.019 \cdot 70}{4}}{6.667} + 0 = 0.0499 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

$$\sigma_{2,rotura} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{\frac{0.03 \cdot 70}{4}}{6.667} + 0 = 0.0787 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

Probeta 3



Se vuelve a ver como la gráfica determina una curva bastante clara de las diferentes partes del ensayo.

Por un lado se puede observar la zona proporcional, donde está limitada hasta 0.039 KN ,iniciándose un cambio de inclinación, hasta alcanzar la carga máxima de 0.05 KN.

En esta zona se produce una reducción brusca de la resistencia hasta cierto valor, donde consigue aun ofrecer algo de resistencia. Esto es debido a lo comentado sobre las fibras en el ensayo 1.

Repitiendo el proceso de cálculo:

Flecha

$U_{f,fluencia,3}$: 3.299 mm

$U_{f,rotura,3}$: 6.55 mm



Carga

En fluencia soportada: 0.039 KN

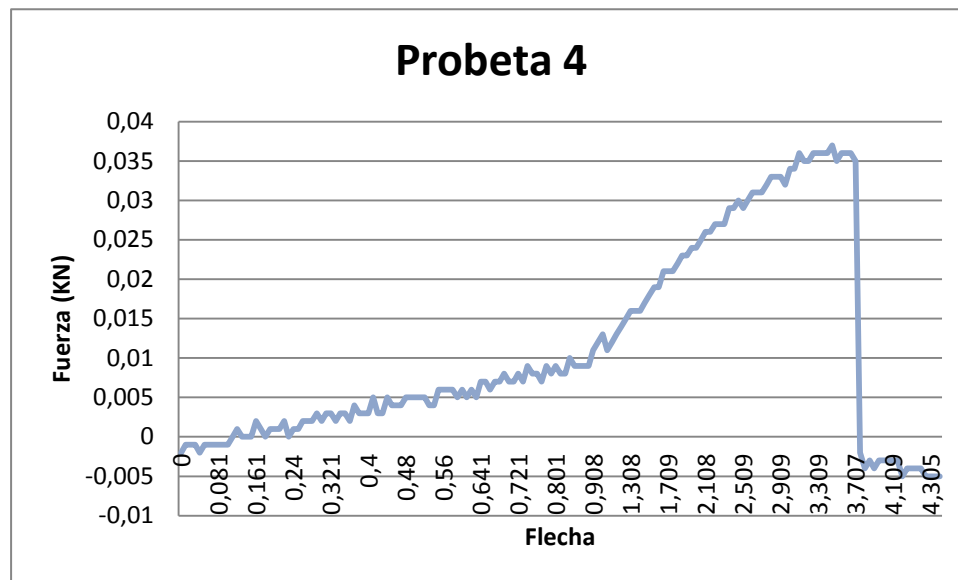
En rotura soportada: 0.05 KN

Tensión:

$$\sigma_{3,fluencia} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{\frac{0.039 \cdot 70}{4}}{6.667} + 0 = 0.102 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

$$\sigma_{3,rotura} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{\frac{0.05 \cdot 70}{4}}{6.667} + 0 = 0.131 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

Probeta 4



En esta grafica tenemos las dos zonas diferenciadas claramente a lo largo del ensayo, dentro de la proporcional del material, en lo que podemos apreciar al inicio del ensayo una serie de puntos no uniformes con baja inclinación de curva, es decir, la deformación es más incisiva que la tensión creada hasta alcanzar un valor de 0.009 KN.

En la segunda parte la tensión es más incisiva que la deformación, pero se pierde la proporcionalidad entre flecha y fuerza aplicada, hasta alcanzar un valor de rotura de 0.035 KN.

Así que

Flecha

$$U_{f,fluencia,4}: 0.61 \text{ mm}$$

$$U_{f,rotura,4}: 3.477 \text{ mm}$$



Carga

En fluencia soportada: 0.009 KN

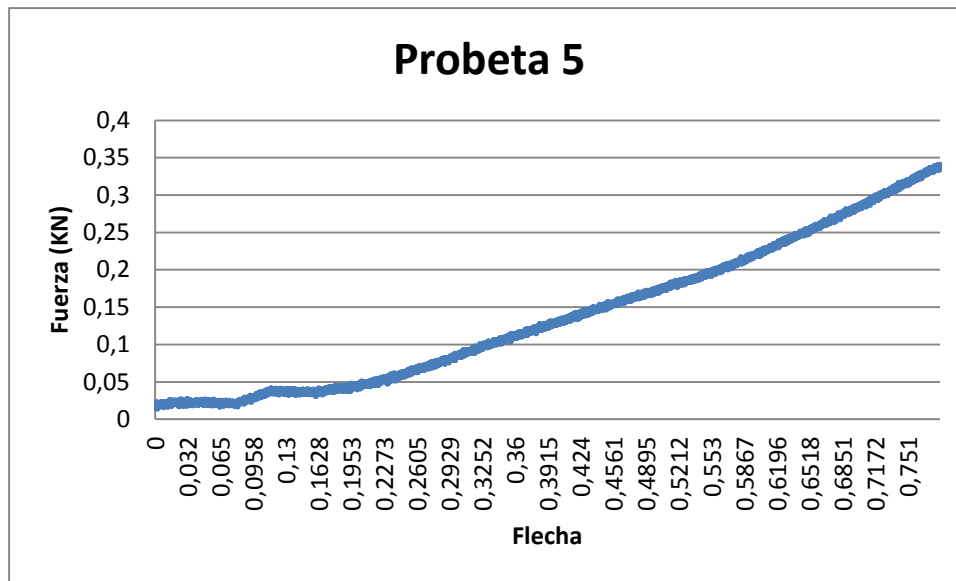
En rotura soportada: 0.035 KN

Tensión:

$$\sigma_{4,fluencia} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{\frac{0.009 \cdot 70}{4}}{6.667} + 0 = 0.0236 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

$$\sigma_{4,rotura} = \frac{M_z}{W_z} = \frac{\frac{0.035 \cdot 70}{4}}{6.667} + 0 = 0.0919 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

Probeta 5



Como se ha comentado en la parte correspondiente a este ensayo dentro de la memoria, se omite este ensayo debido a la poca fiabilidad del ensayo, debido a obtener resultados muy poco comparativos con los anteriores, por lo que no se calculara ninguno de los valores requeridos.

Recopilación de datos

Después de haber calculado y recopilado toda la información necesaria del comportamiento de las varillas frente al esfuerzo de flexión, se puede realizar la media de todas estas varillas para poder obtener un patrón único de varilla para su posterior interpretación:

$$U_{f,fluencia} = \frac{U_{f,fluencia,1} + U_{f,fluencia,2} + U_{f,fluencia,3} + U_{f,fluencia,4}}{4} = \frac{3 + 2.6 + 3.299 + 0.61}{4};$$

$$U_{f,fluencia} = 2.37725 \text{ mm};$$

$$U_{f,rotura} = \frac{U_{f,rotura,1} + U_{f,rotura,2} + U_{f,rotura,3} + U_{f,rotura,4}}{4} = \frac{6.051 + 5.249 + 6.55 + 3.477}{4};$$

$$U_{f,rotura} = 5.33175 \text{ mm};$$



$$F_{f,fluencia} = \frac{F_{f,fluencia,1} + F_{f,fluencia,2} + F_{f,fluencia,3} + F_{f,fluencia,4}}{4} = \frac{0.044 + 0.019 + 0.039 + 0.009}{4};$$

$$F_{f,fluencia} = 0.02775 \text{ KN};$$

$$F_{f,rotura} = \frac{F_{f,rotura,1} + F_{f,rotura,2} + F_{f,rotura,3} + F_{f,rotura,4}}{4} = \frac{0.062 + 0.03 + 0.05 + 0.035}{4};$$

$$F_{f,rotura} = 0.04425 \text{ KN};$$

$$\sigma_{f,fluencia} = \frac{\sigma_{1,fluencia} + \sigma_{2,fluencia} + \sigma_{3,fluencia} + \sigma_{4,fluencia}}{4} = \frac{0.115 + 0.0499 + 0.102 + 0.0236}{4} =$$

$$\sigma_{f,fluencia} = 0.0726 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{f,rotura} = \frac{\sigma_{1,rotura} + \sigma_{2,rotura} + \sigma_{3,rotura} + \sigma_{4,rotura}}{4} = \frac{0.163 + 0.0787 + 0.131 + 0.919}{4};$$

$$\sigma_{f,rotura} = 0.1161 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2};$$

Observando las gráficas, se puede determinar que todos los ensayos realizados se les pueden asignar dos desarrollos, uno proporcional, donde su fin corresponde a un cambio de inclinación, y a continuación de esta el inicio de una curva, donde pertenece el estado de rotura.

Estos datos son los recogidos en la tabla 5 de la memoria.

ENSAYO DE TRACCION

En estos ensayos, se deberá calcular el módulo de Young longitudinal, que se calculará como:

$$E_l = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}$$

Para el cálculo ha habido que definir tanto tensión como deformación, que se definirá como:

$$\text{Tensión producida: } \sigma = F_{aplicada} / S$$

$$\text{Deformación producida: } \varepsilon = \Delta L / L_0$$

Siendo:

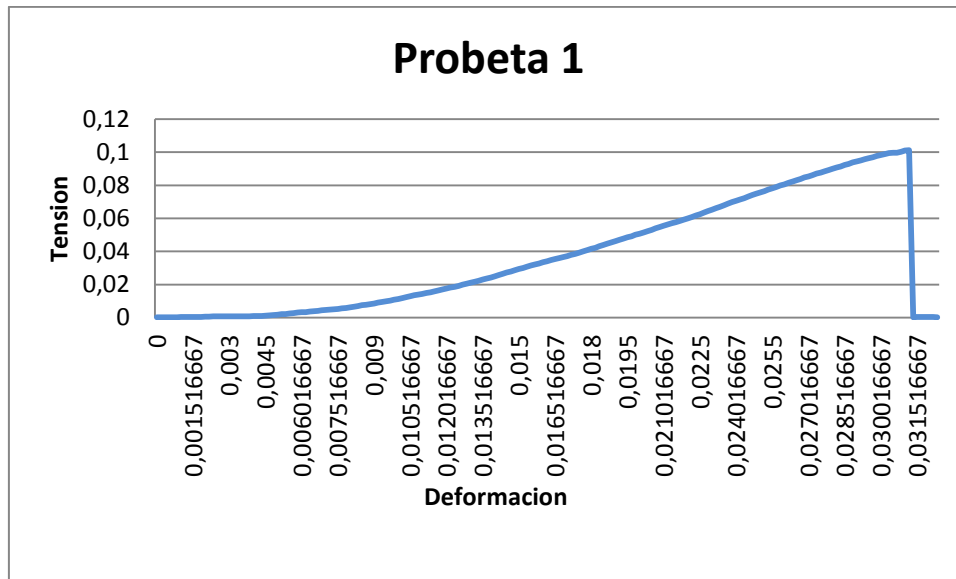
- F = Fuerza aplicada en ese instante
- S = Sección transversal de la probeta
- E = Módulo de Young longitudinal
- L_0 = Longitud entre las mordazas
- ΔL = Variación desde posición inicial a posición final



Con la ecuación anteriormente mencionada, se aproximara el módulo de Young del material a una recta ideal, cumpliendo así la ley de Hooke.

A continuación se representa los diagramas Tensión-Deformación de cada ensayo con sus respectivos cálculos:

Probeta 1



Esta gráfica describe un crecimiento bastante claro del desarrollo del ensayo. Al inicio del ensayo se describe una parte en el que se describe una deformación del material, pero en realidad se trata de las mordazas, las cuales resbalan, interpretando así la máquina que se ha producido una elongación del material, pero en realidad no es así, ya que el inicio de la elongación del material se produce cuando empieza la resistencia.

Para el cálculo del módulo de Young, se han escogido dos valores cuando la gráfica ya está bien definida, es decir, entre los valores de tensión de 0.0205 KN/mm^2 y $0.08055 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$, valores que engloban la parte proporcional de la gráfica.

Al final de esta proporcionalidad, se produce una reducción de la inclinación de la recta, produciéndose en dicho punto la rotura del material, con un valor de $\sigma_{t, \text{rotura}, 1}: 0.1011 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$

La rotura se puede observar que es brusca, sin producirse las roturas parciales como en flexión.

Por todo esto se escogen los dos valores para cálculo de Modulo de Young entre el valor $\sigma_{t, 1, 1} = 0.0205 \text{ KN/mm}^2$ y $\sigma_{t, 1, 2} = 0.08055 \text{ KN/mm}^2$;



El módulo de Young se calcula de la misma manera que en los ensayos a flexión:

Valor 1:

$$\begin{aligned}\sigma_{t,1,1} &= 0.0205 \frac{KN}{mm^2} & F_{t,1,1} &= 0.422 \text{ KN} \\ \varepsilon_{t,1,1} &= 0.0128 & \Delta L_{t,1,1} &= 0.74 \text{ mm}\end{aligned}$$

Valor 2:

$$\begin{aligned}\sigma_{t,1,2} &= 0.08055 \frac{KN}{mm^2} & F_{t,1,2} &= 1.611 \text{ KN} \\ \varepsilon_{t,1,2} &= 0.0255 & \Delta L_{t,1,2} &= 1.56 \text{ mm}\end{aligned}$$

Aplicado la ecuación entre ambas

$$E_l = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} = \frac{0.08055 - 0.0205}{0.0255 - 0.0128} = 4.72 \frac{KN}{mm^2};$$

Recopilando la información de la gráfica:

Deformación

$$\begin{aligned}\varepsilon_{t,fluencia,1} &: 0.0193 \\ \varepsilon_{t,rotura,1} &: 0.0305\end{aligned}$$

Tension

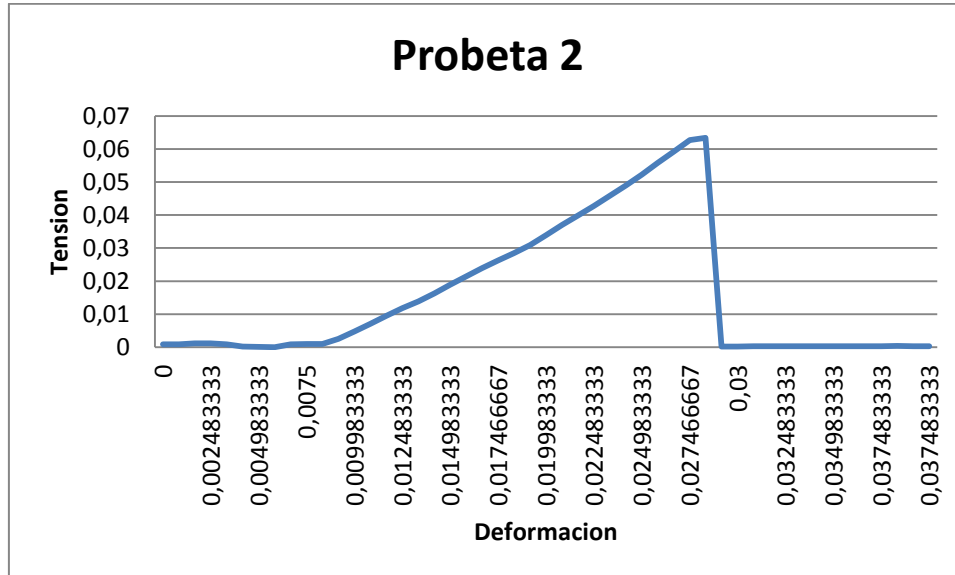
$$\begin{aligned}\sigma_{t,fluencia,1} &: 0.05005 \frac{KN}{mm^2} \\ \sigma_{t,rotura,1} &: 0.1011 \frac{KN}{mm^2}\end{aligned}$$

Módulos de Young

$$E_l = 4.72 \frac{KN}{mm^2};$$



Probeta 2



La probeta 2 sigue el mismo patrón de crecimiento que la probeta 1, en al inicio del ensayo se produce un deslizamiento de las mordazas, lo que provoca que no registre resistencia por parte del material, a lo que le sigue un crecimiento proporcional entre la tensión y la deformación, hasta llegar a la zona no proporcional, reduciéndose bruscamente la inclinación de la curva hasta el punto de rotura.

Como en casos anteriores, escogeremos dos valores para determinar el módulo de Young:

Valor 1:

$$\begin{aligned}\sigma_{t,2,1} &= 0.01185 \frac{KN}{mm^2} & F_{t,2,1} &= 0.237 \text{ KN} \\ \epsilon_{t,2,1} &= 0.0125 & \Delta L_{t,2,1} &= 0.749 \text{ mm}\end{aligned}$$

Valor 2:

$$\begin{aligned}\sigma_{t,2,2} &= 0.04275 \text{ KN/mm}^2 & F_{t,2,2} &= 1.251 \text{ KN} \\ \epsilon_{t,2,2} &= 0.0225 & \Delta L_{t,2,2} &= 1.349 \text{ mm}\end{aligned}$$

Aplicando la ecuación entre ambas

$$E_l = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = \frac{0.04275 - 0.01185}{0.0225 - 0.0125} = 3.09 \frac{KN}{mm^2};$$

Recopilando la información de la gráfica:



Deformación

$$\epsilon_{t,fluencia,2}: 0.0175;$$

$$\epsilon_{t,rotura,2}: 0.0285;$$

Tensión

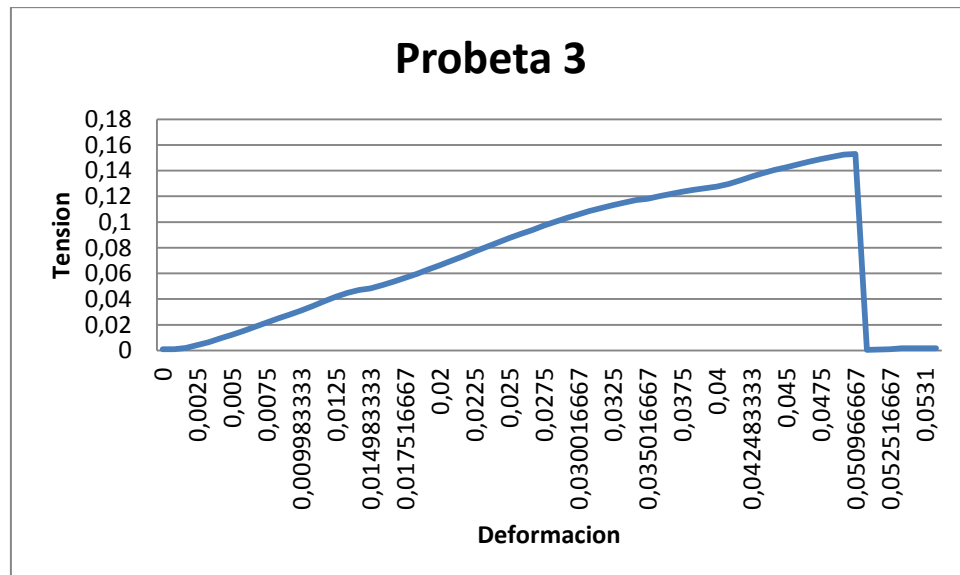
$$\sigma_{t,fluencia,2}: 0.0263 \frac{KN}{mm^2}$$

$$\sigma_{t,rotura,2}: 0.06335 \frac{KN}{mm^2}$$

Módulos de Young:

$$E_l = 3.09 \frac{KN}{mm^2};$$

Probeta 3



Con el mismo desarrollo que en ensayos anteriores, la probeta 3 describe el efecto de las mordazas, aunque con menor intensidad, hasta la zona proporcional, donde se escogen los valores para el cálculo del módulo de Young.

Los datos escogidos se muestran a continuación:

Valor 1:

$$\sigma_{t,3,1} = 0.06295 \frac{KN}{mm^2} \quad F_{t,1,1} = 1.259 \text{ KN}$$

$$\epsilon_{t,3,1} = 0.0191667 \quad \Delta L_{t,1,1} = 1.15 \text{ mm}$$

Valor 2:



$$\sigma_{t,3,2} = 0.1201 \frac{KN}{mm^2} \quad F_{t,1,1} = 2.402 \text{ KN}$$

$$\epsilon_{t,3,2} = 0.03585 \quad \Delta L_{t,1,1} = 2.151 \text{ mm}$$

Y aplicando la ecuación entre ambas:

$$E_t = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = \frac{0.1201 - 0.06295}{0.03585 - 0.0191667} = 3.42558 \frac{KN}{mm^2};$$

Recopilando la información de la gráfica:

Deformación

$$\epsilon_{t,fluencia,3} : 0.025833$$

$$\epsilon_{t,rotura,3} : 0.05096$$

Tension

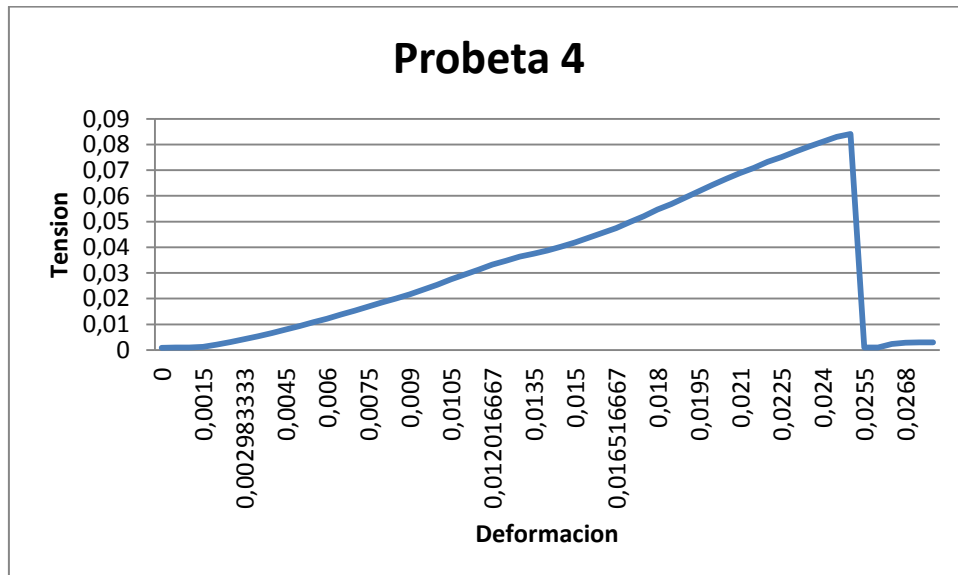
$$\sigma_{t,fluencia,3} : 0.09075 \frac{KN}{mm^2}$$

$$\sigma_{t,rotura,3} : 0.153 \frac{KN}{mm^2}$$

Módulos de Young

$$E_t = 3.42558 \frac{KN}{mm^2};$$

Probeta 4



Siguiendo el mismo patrón que en los anteriores ensayos, se produce el fallo de las mordazas, continuada con el inicio de la resistencia, siguiendo un proporcionalidad entre tensión-deformación, donde se obtendrá el módulo de Young, acabando en una zona no lineal, delimitada estas por la fluencia, y donde acabara en rotura con una reducción brusca de la inclinación de la curva.



Valor 1:

$$\begin{aligned}\sigma_{t,4,1} &= 0.0217 \frac{KN}{mm^2} & F_{t,4,1} &= 0.434 \text{ KN} \\ \epsilon_{t,4,1} &= 0.009 & \Delta L_{t,4,1} &= 0.54 \text{ mm}\end{aligned}$$

Valor 2:

$$\begin{aligned}\sigma_{t,4,2} &= 0.08105 \frac{KN}{mm^2} & F_{t,4,1} &= 1.621 \text{ KN} \\ \epsilon_{t,4,2} &= 0.024 & \Delta L_{t,4,1} &= 1.44 \text{ mm}\end{aligned}$$

Y creando la recta:

$$E_l = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = \frac{0.08105 - 0.0217}{0.024 - 0.009} = 3.95 \frac{KN}{mm^2};$$

Recopilando la información de la gráfica:

Deformación

$$\epsilon_{t,fluencia,4}: 0.0175$$

$$\epsilon_{t,rotura,4}: 0.0255$$

Tensión

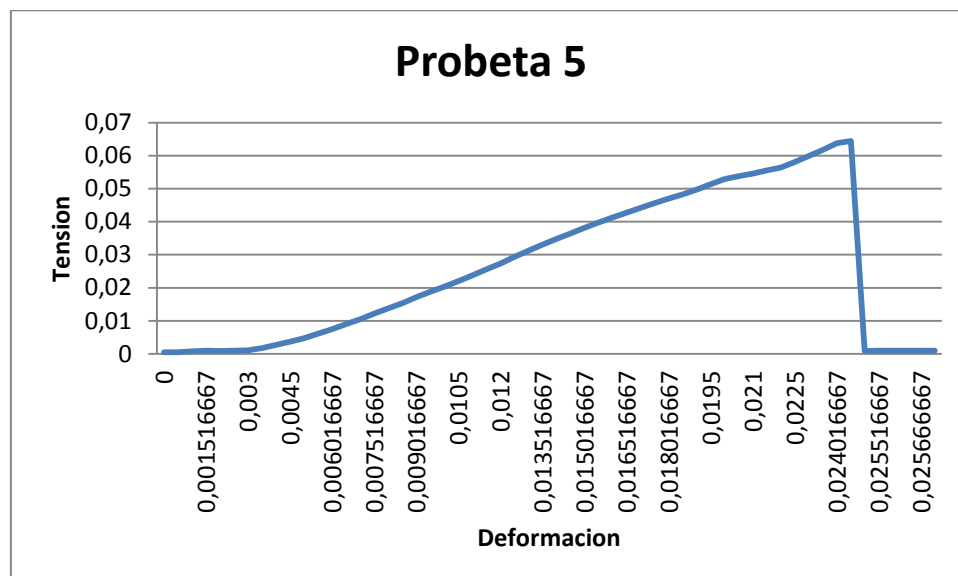
$$\sigma_{t,fluencia,4}: 0.0521 \frac{KN}{mm^2}$$

$$\sigma_{t,rotura,4}: 0.08405 \frac{KN}{mm^2}$$

Módulos de Young

$$E_l = 3.95 \frac{KN}{mm^2};$$

Probeta 5





Representándose de forma más intensa el efecto de las mordazas que en el ensayo anterior, pero de forma más lineal la zona proporcional, por lo que se pueden englobar más valores para el cálculo del módulo de Young. Se procede de la misma manera que en los casos anteriores:

Valor 1:

$$\begin{aligned}\sigma_{t,5,1} &= 0.0105 \frac{KN}{mm^2} & F_{t,5,1} &= 0.21 \text{ KN} \\ \epsilon_{t,5,1} &= 0.007017 & \Delta L_{t,5,1} &= 0.421 \text{ mm}\end{aligned}$$

;

Valor 2:

$$\begin{aligned}\sigma_{t,5,2} &= 0.05555 \frac{KN}{mm^2} & F_{t,5,2} &= 1.111 \text{ KN} \\ \epsilon_{t,5,2} &= 0.02148333 & \Delta L_{t,5,2} &= 1.289 \text{ mm}\end{aligned}$$

Haciendo la relación entre ambas

$$E_l = \frac{\Delta \sigma}{\Delta \epsilon} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1} = \frac{0.05555 - 0.0105}{0.0215 - 0.007017} = 3.11 \frac{KN}{mm^2};$$

Recopilando la información de la gráfica:

Deformación

$$\begin{aligned}\epsilon_{t,fluencia,5} &: 0.01352 \\ \epsilon_{t,rotura,5} &: 0.02482\end{aligned}$$

Tensión

$$\begin{aligned}\sigma_{t,fluencia,5} &: 0.033 \frac{KN}{mm^2} \\ \sigma_{t,rotura,5} &: 0.06445 \frac{KN}{mm^2}\end{aligned}$$

Módulos de Young:

$$E_l = 3.11 \frac{KN}{mm^2};$$



Recopilación de datos

Con los datos obtenidos anteriormente, se procederá a realizar las medias entre todos los valores para obtener un valor único

$$\sigma_{t,fluencia} = \frac{\sigma_{t,fluencia,1} + \sigma_{t,fluencia,2} + \sigma_{t,fluencia,3} + \sigma_{t,fluencia,4} + \sigma_{t,fluencia,5}}{5} =$$

$$= \frac{0.05005 + 0.0263 + 0.09075 + 0.0521 + 0.033}{5} = 0.05044 \frac{KN}{mm^2};$$

$$\sigma_{t,rotura} = \frac{\sigma_{t,rotura,1} + \sigma_{t,rotura,2} + \sigma_{t,rotura,3} + \sigma_{t,rotura,4} + \sigma_{t,rotura,5}}{5} =$$

$$= \frac{0.1011 + 0.06335 + 0.153 + 0.08405 + 0.06445}{5} = 0.09319 \frac{KN}{mm^2};$$

$$\epsilon_{t,fluencia} = \frac{\epsilon_{t,fluencia,1} + \epsilon_{t,fluencia,2} + \epsilon_{t,fluencia,3} + \epsilon_{t,fluencia,4} + \epsilon_{t,fluencia,5}}{5} =$$

$$= \frac{0.0193 + 0.0175 + 0.01678936 + 0.010531915 + 0.009096}{5} = 0.0146;$$

$$\epsilon_{t,rotura} = \frac{\epsilon_{t,rotura,1} + \epsilon_{t,rotura,2} + \epsilon_{t,rotura,3} + \epsilon_{t,rotura,4} + \epsilon_{t,rotura,5}}{5} =$$

$$= \frac{0.0305 + 0.0285 + 0.05096 + 0.0255 + 0.02482}{5} = 0.0321 ;$$

$$E_l = \frac{E_{l,1} + E_{l,2} + E_{l,3} + E_{l,4} + E_l}{5} =$$

$$E_l = \frac{4.72 + 3.09 + 3.426 + 3.95 + 3.11}{5} = 3.739 \frac{KN}{mm^2};$$

Se ha comprobado que el material se comporta como material frágil ante el ensayo de tracción, ya que las roturas se producen de forma brusca, por lo que, entre zona de fluencia y de rotura no se distinguen claramente.

Todos estos datos están recogidos en la tabla 8 de la memoria en el apartado referente a estos ensayos.



ENSAYO DE CIZALLADURA

Respecto a estos ensayos cabe decir que no están destinados a conocer el módulo de Young o deformaciones de este, si no a conocer la resistencia máxima a cizalladura de la unión, por la necesidad posterior del estudio de las uniones, por ello únicamente se estudia el esfuerzo a cizalladura, por ello estas graficas carecen de comentarios o cálculos posteriores.

De nuevo, se calculara la tensión aplicadas con su correspondiente deformación de la siguiente manera

$$\sigma_c = \frac{Fuerza}{\text{Área}}$$

$$\epsilon_c = \frac{L_0}{\Delta L}$$

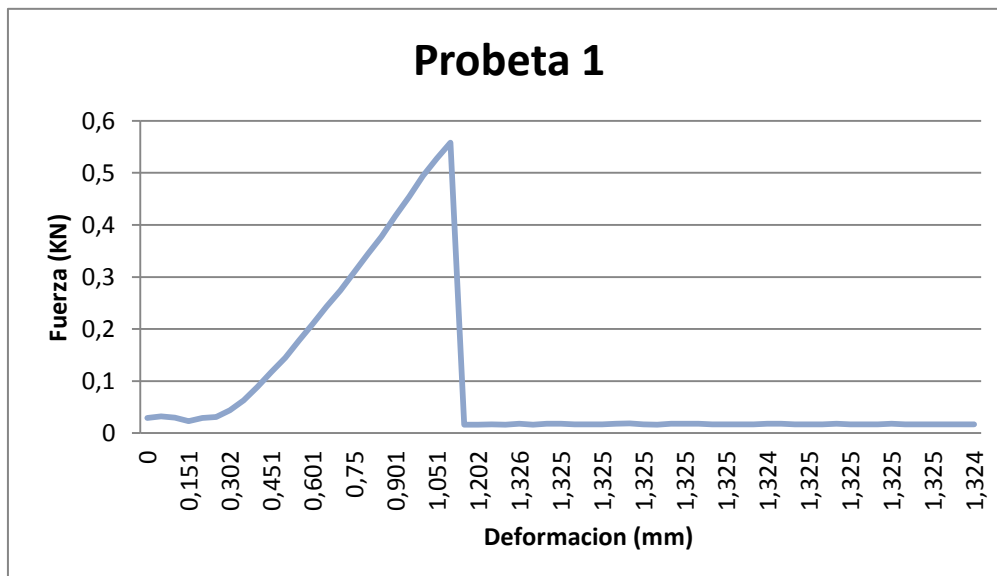
Siendo esta vez

- F = Fuerza aplicada en ese instante
- S = Sección de la probeta
- L_0 = Longitud de la superficie de unión;
- ΔL = Variación desde posición inicial a posición final

Los gráficos posteriores representan la evolución de fuerza respecto incremento de longitud en vez de tensión-deformación. Esto es debido a que como las superficies entre las varillas y la superficie de contacto es diferente, se debe saber que fuerza se aplica en la unión para saber la fuerza que se está aplicando sobre la varilla, ya que puede llegar el caso que ceda antes la varilla que el adhesivo.

A continuación se muestra los datos obtenidos de los ensayos a Cizalladura con sus respectivos gráficos tensión de formación:

Probeta 1





Deformación

$$\epsilon_{C,fluencia,1}: 0,00797872$$

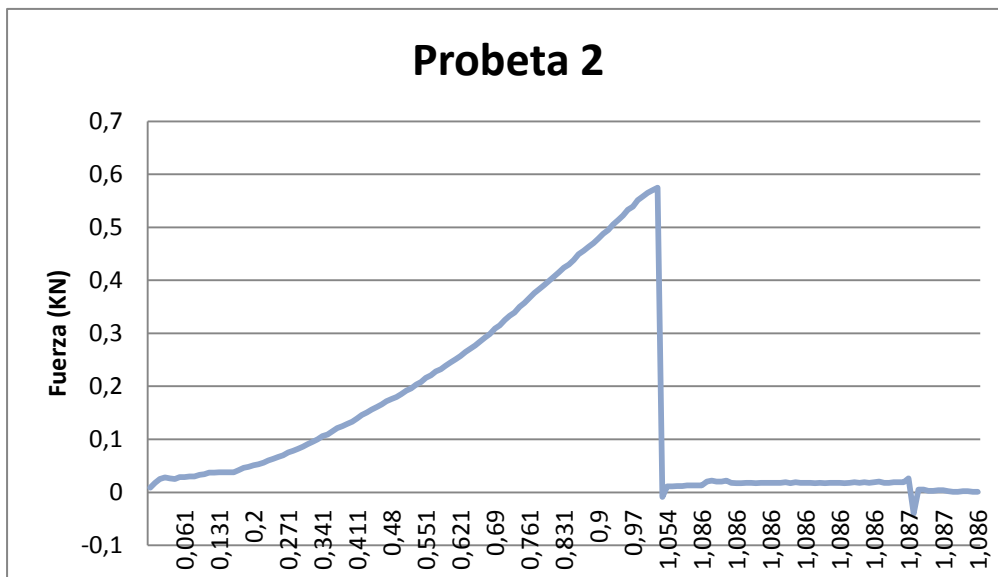
$$\epsilon_{C,rotura,1}: 0,01584043$$

Tensión

$$\sigma_{C,fluencia,1}: 0,02935 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{C,rotura,1}: 0,0279 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

Probeta 2



Deformación

$$\epsilon_{C,fluencia,1}: 0,0335$$

$$\epsilon_{C,rotura,1}: 0,0527$$

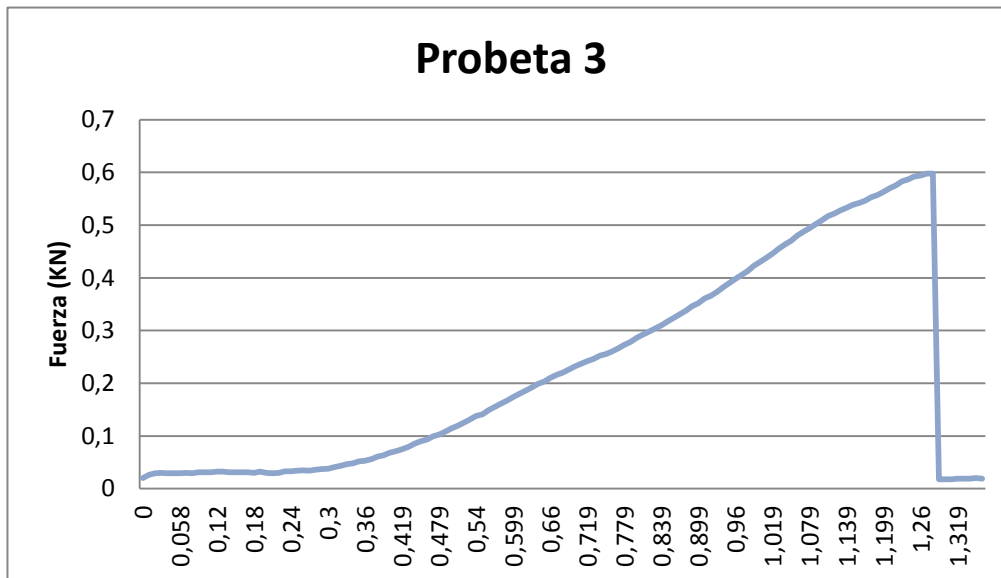
Tensión

$$\sigma_{C,fluencia,1}: 0,01255 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{C,rotura,1}: 0,02945 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$



Probeta 3



Deformación

$$\epsilon_{C,fluencia,3}: 0,0325 \text{ mm}$$

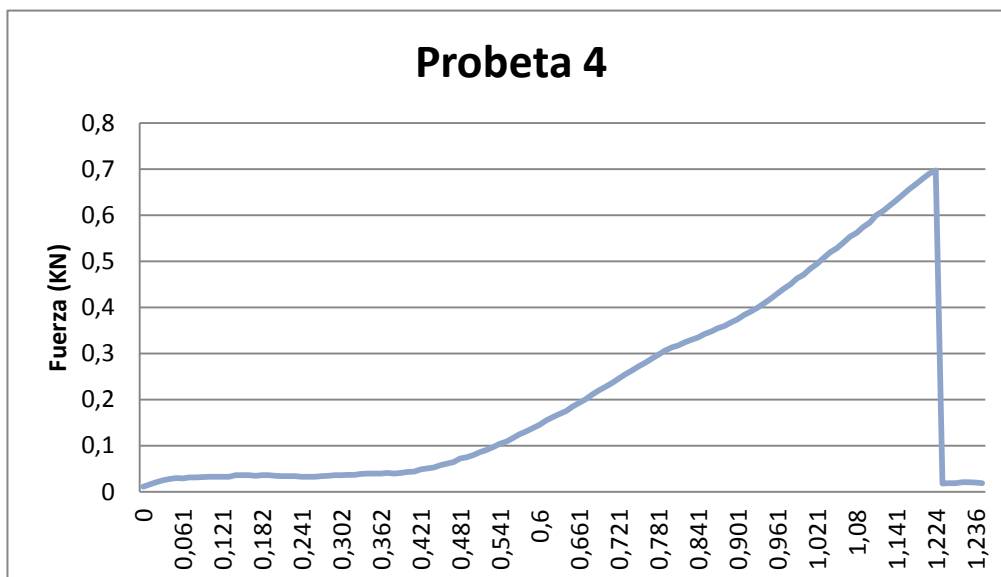
$$\epsilon_{C,rotura,3}: 0,0652 \text{ mm}$$

Tensión

$$\sigma_{C,fluencia,3}: 0,011 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{C,rotura,3}: 0,0299 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

Probeta 4





Deformación

$$\epsilon_{C,fluencia,4}: 0,0306 \text{ mm}$$

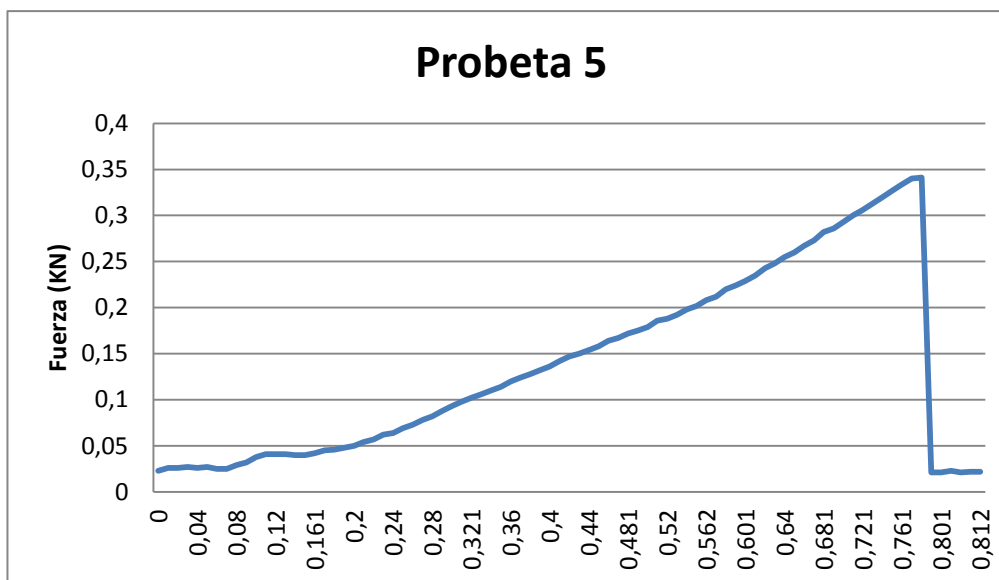
$$\epsilon_{C,rotura,4}: 0,0612 \text{ mm}$$

Tensión

$$\sigma_{C,fluencia,4}: 0,01775 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{C,rotura,4}: 0,03485 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

Probeta 5



Deformación

$$\epsilon_{C,fluencia,5}: 0,01955 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{C,rotura,5}: 0,0392 \text{ mm}$$

Tensión

$$\sigma_{C,fluencia,5}: 0,0086 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$

$$\sigma_{C,rotura,5}: 0,01705 \frac{\text{KN}}{\text{mm}^2}$$



Recopilación de datos

$$\epsilon_{C,fluencia} = \frac{\epsilon_{C,fluencia,1} + \epsilon_{C,fluencia,2} + \epsilon_{C,fluencia,3} + \epsilon_{C,fluencia,4} + \epsilon_{C,fluencia,5}}{5} =$$

$$= \frac{0,02935 + 0,0335 + 0,0325 + 0,0306 + 0,01955}{5} = 0,0291 ;$$

$$\epsilon_{C,rotura} = \frac{\epsilon_{C,rotura,1} + \epsilon_{C,rotura,2} + \epsilon_{C,rotura,3} + \epsilon_{C,rotura,4} + \epsilon_{C,rotura,5}}{5} =$$

$$= \frac{0,035 + 0,0527 + 0,0652 + 0,0612 + 0,0392}{5} = 0,05066 ;$$

$$\sigma_{C,fluencia} = \frac{\sigma_{C,fluencia,1} + \sigma_{C,fluencia,2} + \sigma_{C,fluencia,3} + \sigma_{C,fluencia,4} + \sigma_{C,fluencia,5}}{5} =$$

$$= \frac{0,01215 + 0,01255 + 0,001015 + 0,01775 + 0,0086}{5} = 0,006863 \frac{KN}{mm^2};$$

$$\sigma_{C,rotura} = \frac{\sigma_{C,rotura,1} + \sigma_{C,rotura,2} + \sigma_{C,rotura,3} + \sigma_{C,rotura,4} + \sigma_{C,rotura,5}}{5} =$$

$$\frac{0,0279 + 0,0249 + 0,0299 + 0,03485 + 0,01705}{5} = 0,02692 \frac{KN}{mm^2};$$

A través de los gráficos representados en este esfuerzo, todos siguen el mismo patrón, en el que el adhesivo al principio de cada ensayo, realiza una zona proporcional, hasta la reducción de la inclinación, donde entra en zona de rotura y acabando en una zona dúctil con rotura brusca, que es justamente como describen los ensayos a tracción.

En los ensayos realizados, se pudo comprobar que las varillas fallaban antes que el adhesivo, por ello se define la sección de rotura como $2 \times 10 = 20 \text{ mm}^2$, la sección perteneciente a la varilla. A través de esto también se puede comparar los resultados obtenidos, donde la tensión de rotura obtenida a través de cizalladura es similar a la tensión obtenida en tracción.

La rotura se producía en la unión de la varilla con el inicio del adhesivo, ya que en este punto, se producía un cambio de sección (debido a la otra varilla cortada de $10 \times 10 \text{ mm}^2$, comentada al inicio de este ensayo) y por lo tanto, existía un concentrador de tensiones, haciendo así que la rotura se produjese en este punto y con un valor ligeramente inferior al de tracción.