



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

ANEXO I : ENSAYOS MECÁNICOS DE MATERIALES

Ensayo de fatiga en materiales poliméricos reforzados con nanopartículas mediante vibraciones mecánicas

AUTOR

Yasmina Lario Perea

DIRECTOR

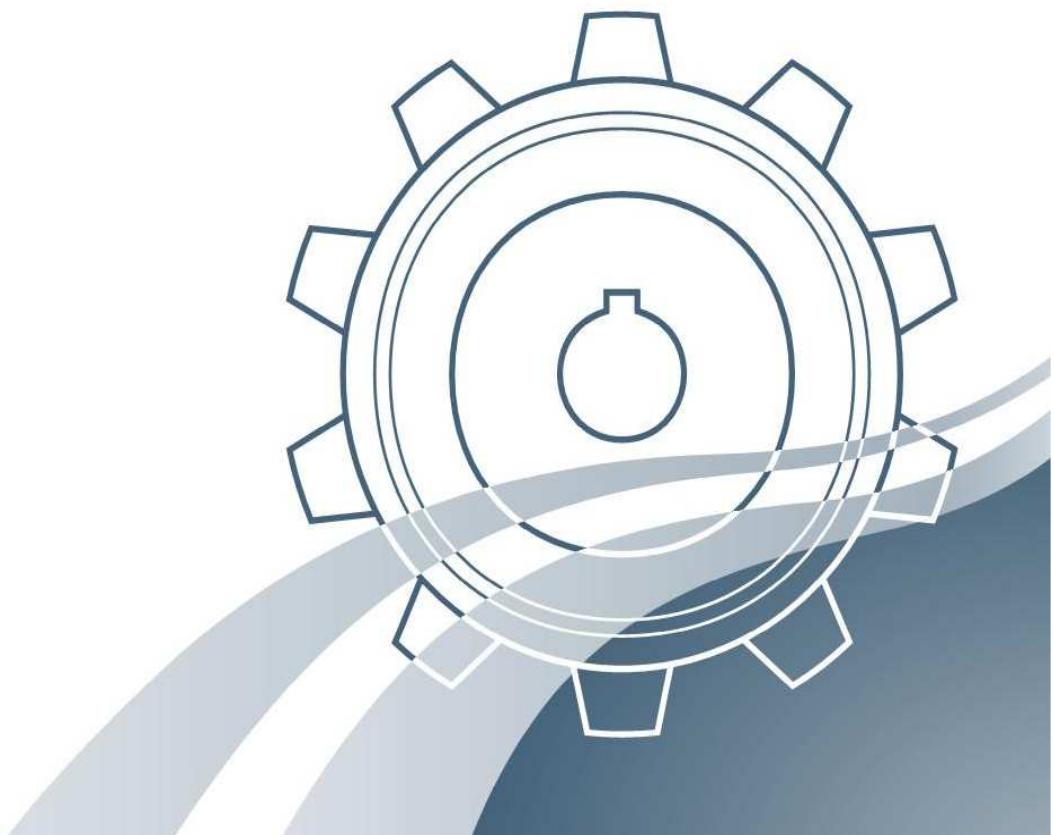
José Antonio Dieste Marcial

ESPECIALIDAD

Mecánica

CONVOCATORIA

Septiembre 2011



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	3
2. CONSIDERACIONES.....	3
3. ENSAYO DE TRACCIÓN.....	4
3.1. POLIAMIDA 6 NATURAL.....	4
3.2. POLIAMIDA 6 - 3% NANOTUBOS HALLOYSITA.....	6
3.3. POLIAMIDA 6 - 6% NANOTUBOS HALLOYSITA.....	8
3.4. PLEXIMER.....	10
3.5. COMPARATIVA.....	12
3.6. CONCLUSIONES.....	12
4. ENSAYO DE FLEXIÓN.....	13
4.1. CONCLUSIONES.....	13



1. INTRODUCCIÓN

Se realizaron los ensayos en la Universidad de Zaragoza en el departamento de Ingeniería Mecánica en Noviembre-Marzo 2010. Estos datos se utilizaron para la caracterización de cada material en los análisis dinámicos del proyecto.

Se ensayaron cinco probetas de cada material en tracción y flexión.

Los materiales ensayados son:

- Poliamida 6 natural: PROBETA B
- Poliamida 6 con 3% de nanotubos halloysita: PROBETA C
- Poliamida 6 con 6% de nanotubos halloysita: PROBETA D
- Pleximer, Poliamida con 30% de nanotubos de halloysita: PROBETA E

2. CONSIDERACIONES

Se mostrarán tanto las graficas de cada ensayo como una tabla resumen de las propiedades de los materiales.

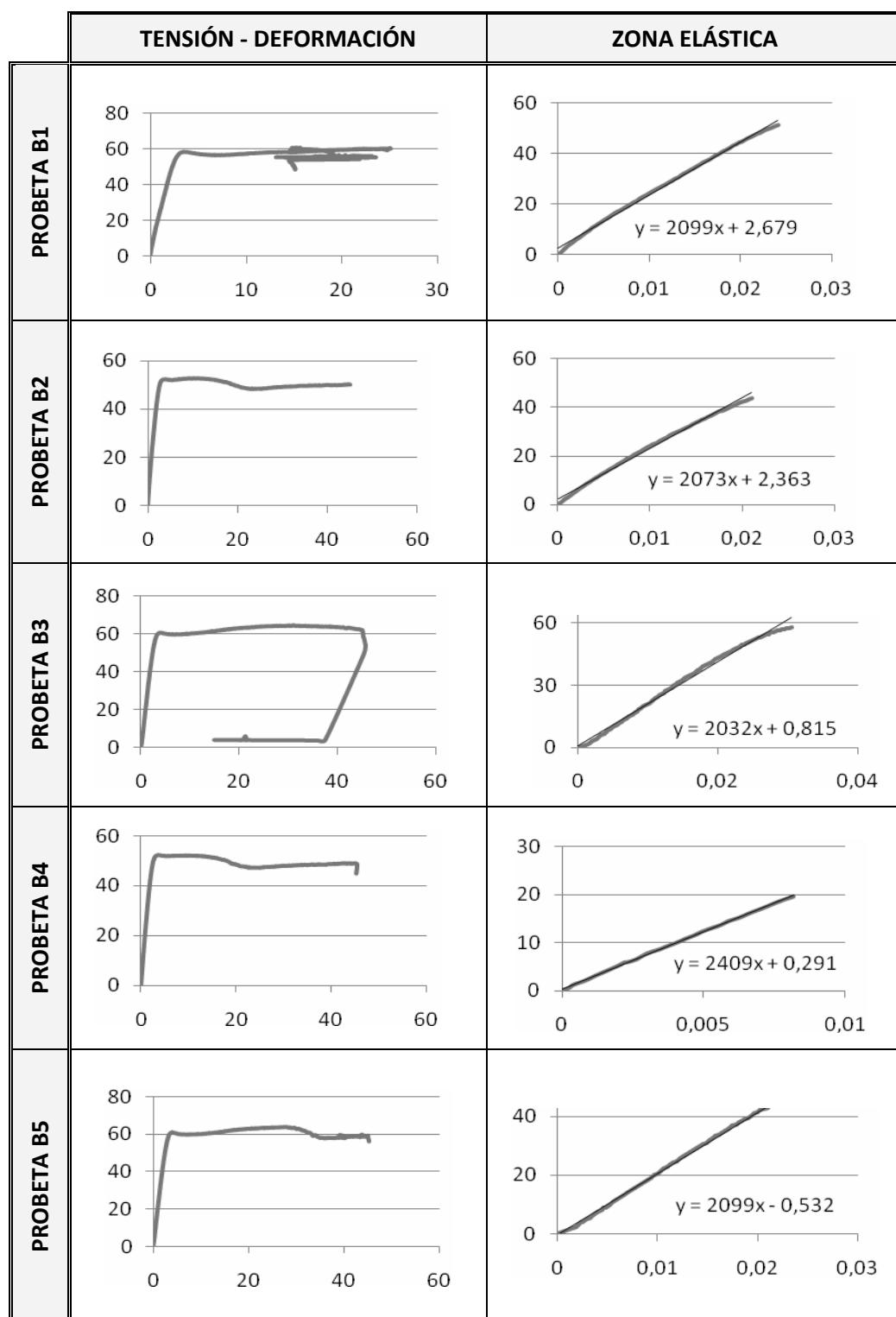
Puesto que el extensómetro no siempre está colocado en la zona donde se produce la máxima deformación y rotura solo se indica la deformación máxima de rotura cuando esta se produce dentro del extensómetro. En algunas graficas sí que se indica un valor mínimo de deformación máxima que corresponde la medición máxima del extensómetro pero que no corresponde a la máxima real. Se indica así y no se contabiliza en la media.

Los ejes de ordenadas siempre corresponden a tensión en MPa y los ejes de abscisas siempre corresponden a deformación en %, menos en la zona elástica que la deformación está precisada en tanto por uno.

Las graficas además pueden mostrar extrañas curvas debido a resbalones de las probetas en las mordazas y a posibles aplastamientos de los extremos de las probetas.

3. ENSAYO DE TRACCIÓN

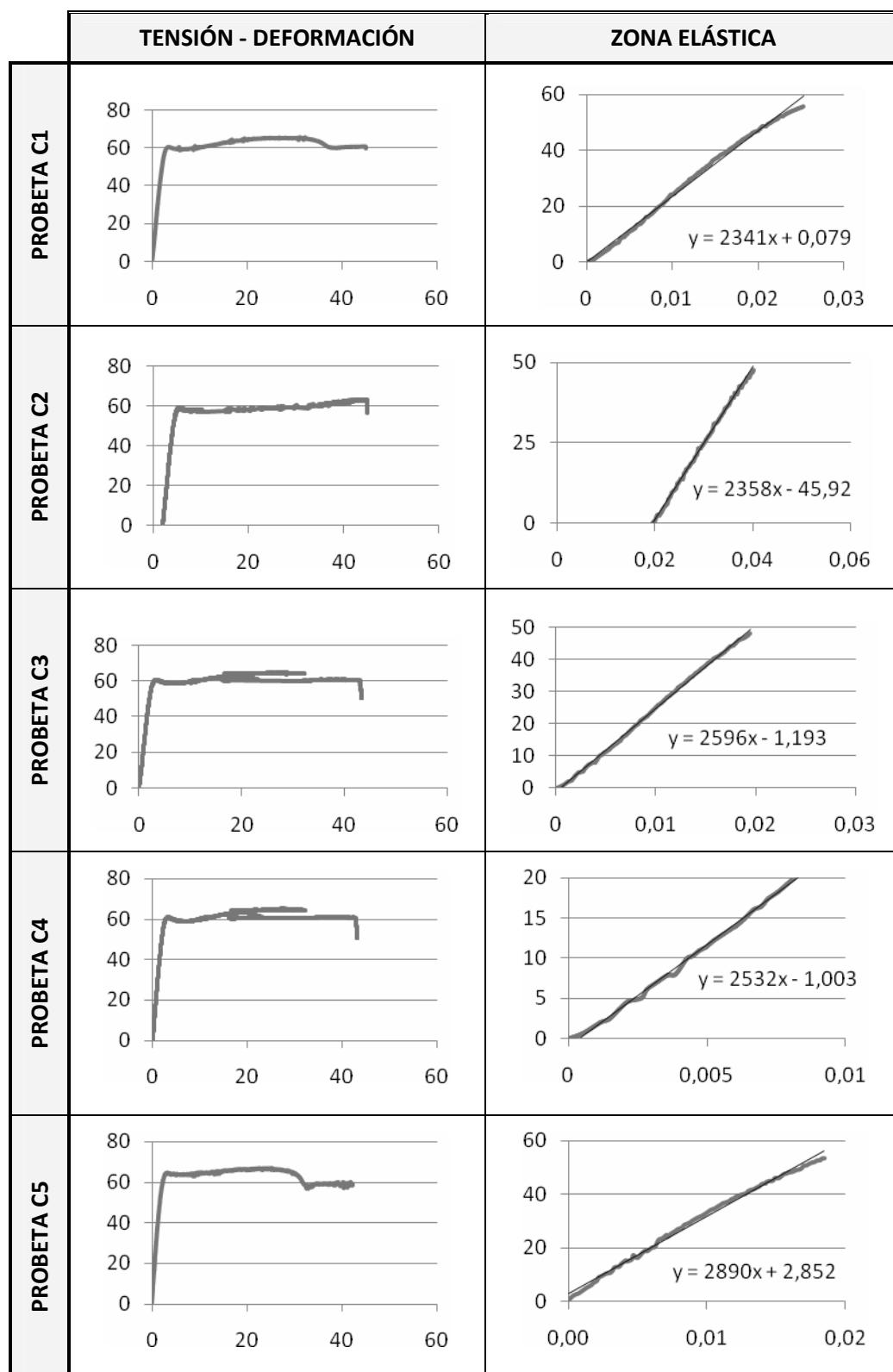
3.1. POLIAMIDA 6 NATURAL (PA6): probeta B





	Modulo E MPa	Límite elástico MPa	Tensión máxima MPa	Deformación máxima rotura %
B1	2099	48	60	
B2	2073	47	52,5	45
B3	2032	51	64	45
B4	2409	48,9	51,5	44,9
B5	2099	46,7	62	45,2
Media	2142	48,32	58	45,025

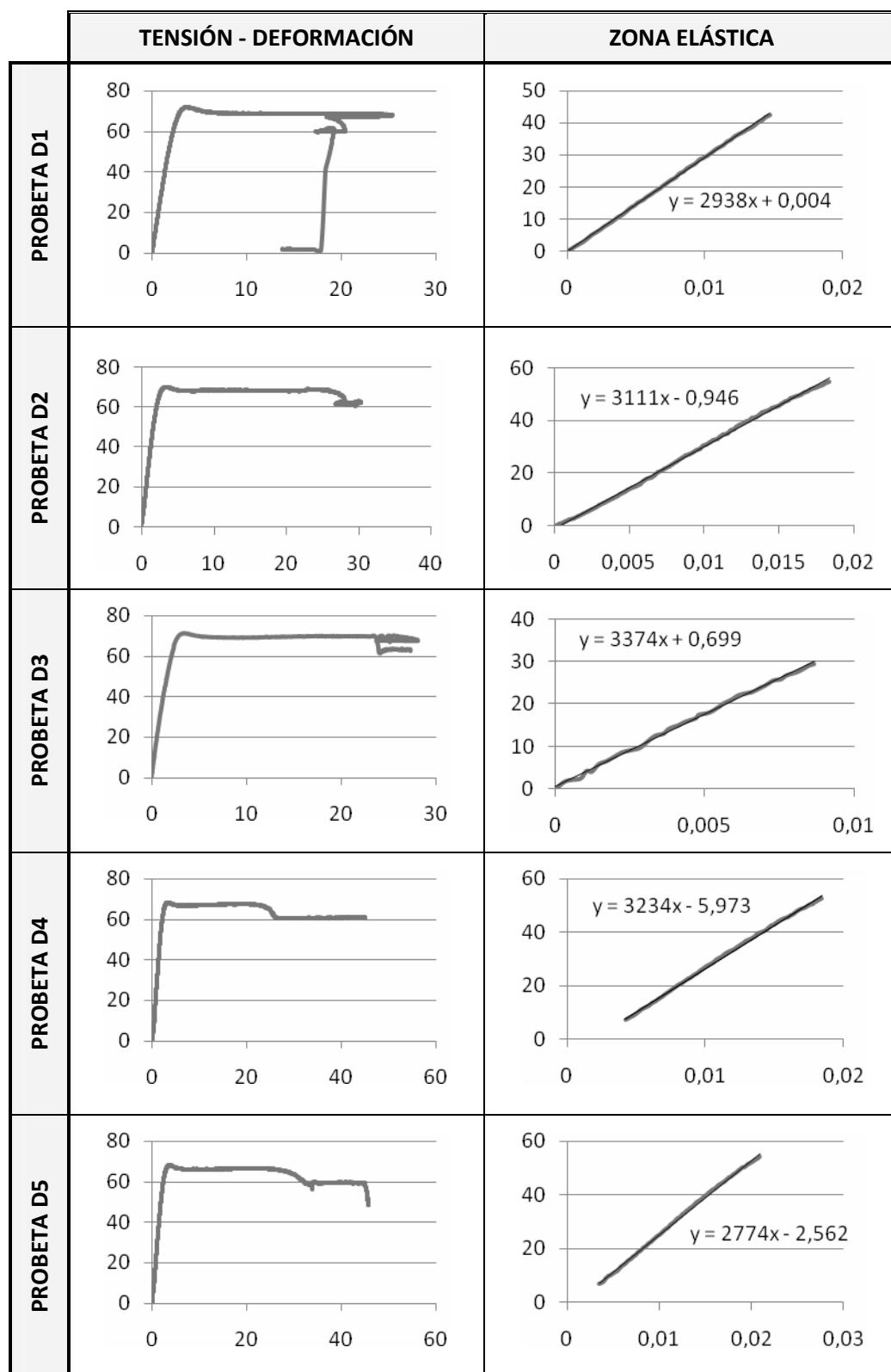
3.2. POLIAMIDA 6 – 3% NANOTUBOS HALLOYSITA (PA6-3%NTH): probeta C





	Modulo E MPa	Limite elástico MPa	Tensión máxima MPa	Deformación máxima rotura %
C1	2341	49	65,2	45
C2	2358	52	63	43
C3	2596	47	60	43,5
C4	2532	51	62	43,5
C5	2890	50	66	min 42.5
Media	2543	49,8	63,24	43,75

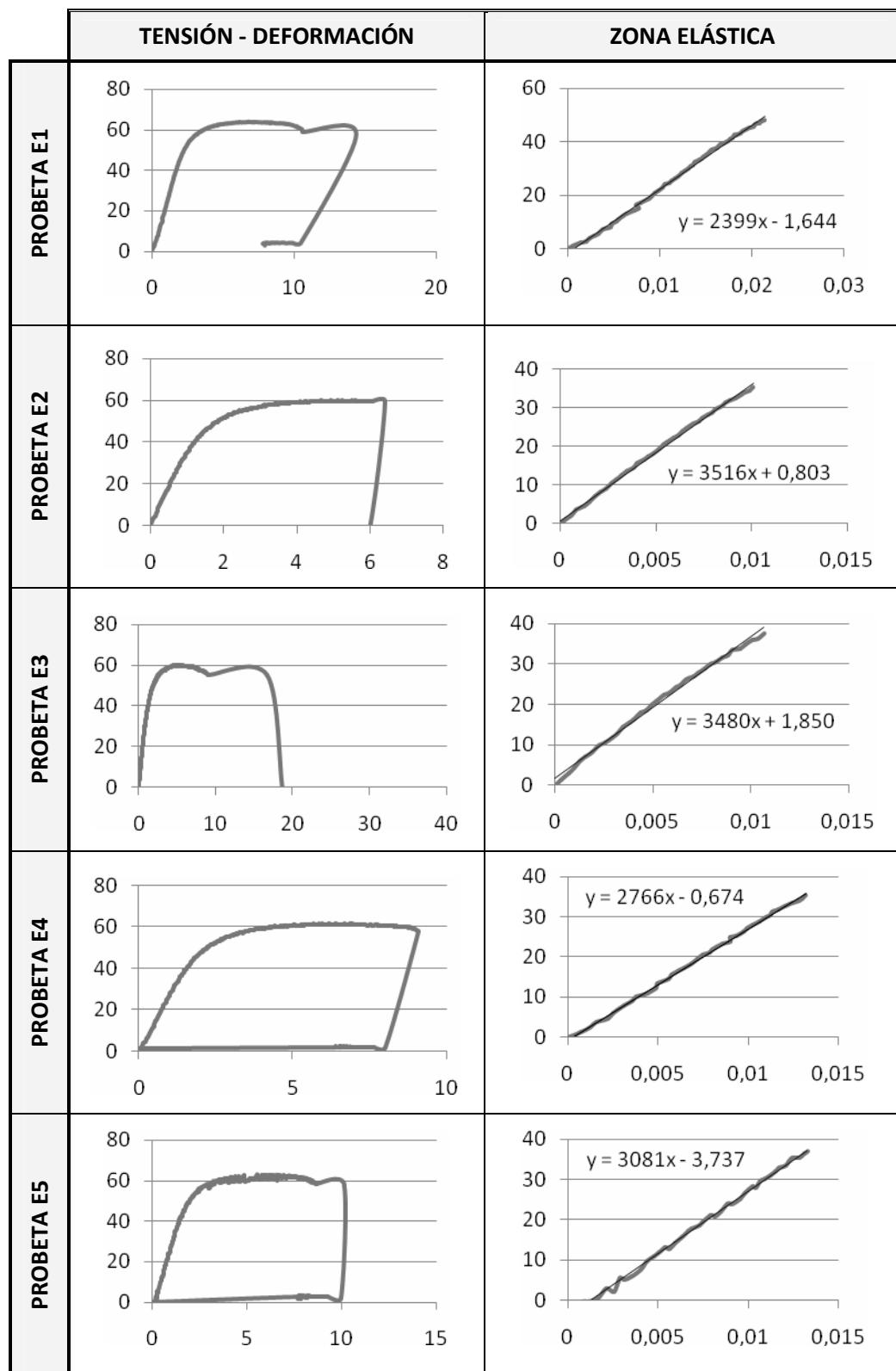
3.3. POLIAMIDA 6 – 6% NANOTUBOS HALLOYSITA (PA6-6%NTH): probeta D





	Modulo E MPa	Limite elástico MPa	Tensión máxima MPa	Deformación máxima rotura %
D1	2938	42	71,4	mínimo 25
D2	3111	51	69	mínimo 28
D3	3374	33,7	71,03	mínimo 27,6
D4	3234	51	67,3	44,45
D5	2774	50	67	45,66
Media	3086	45,54	69,146	45,055

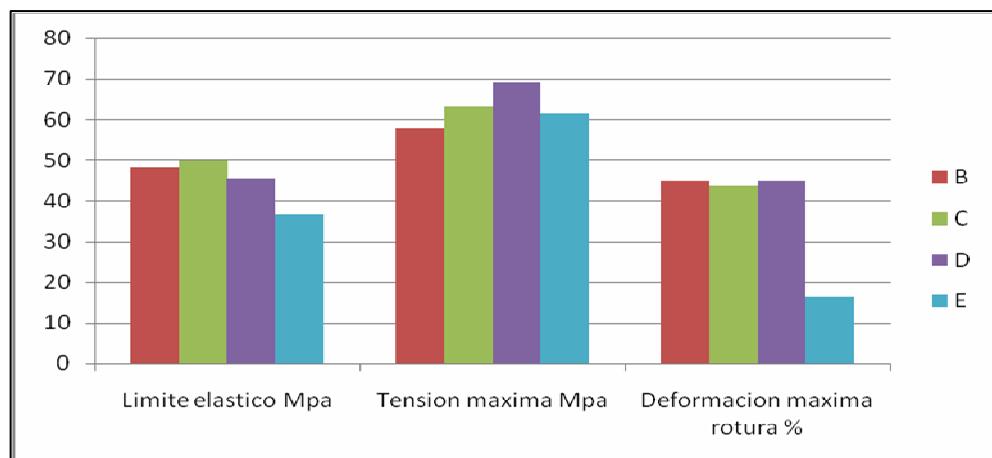
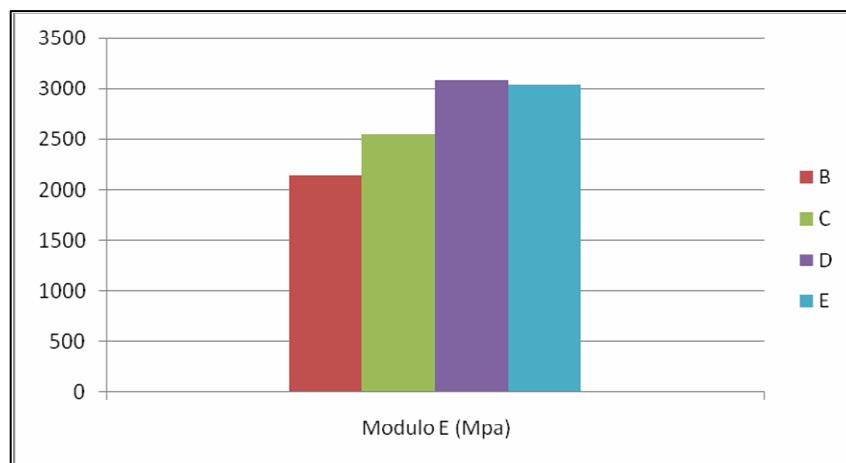
3.4. PLEXIMER :POLIAMIDA – 30% NANOTUBOS HALLOYSITA: probeta E





	Modulo E MPa	Limite elástico MPa	Tensión máxima MPa	Deformación máxima rotura %
E1	2399	42	63,9	14,36
E2	3516	35	60	min 6.5
E3	3480	34	59,8	18,6
E4	2766	35	61,23	min 9
E5	3081	37	62	min 10.14
Media	3048	36,6	61,386	16,48

3.5. COMPARATIVA

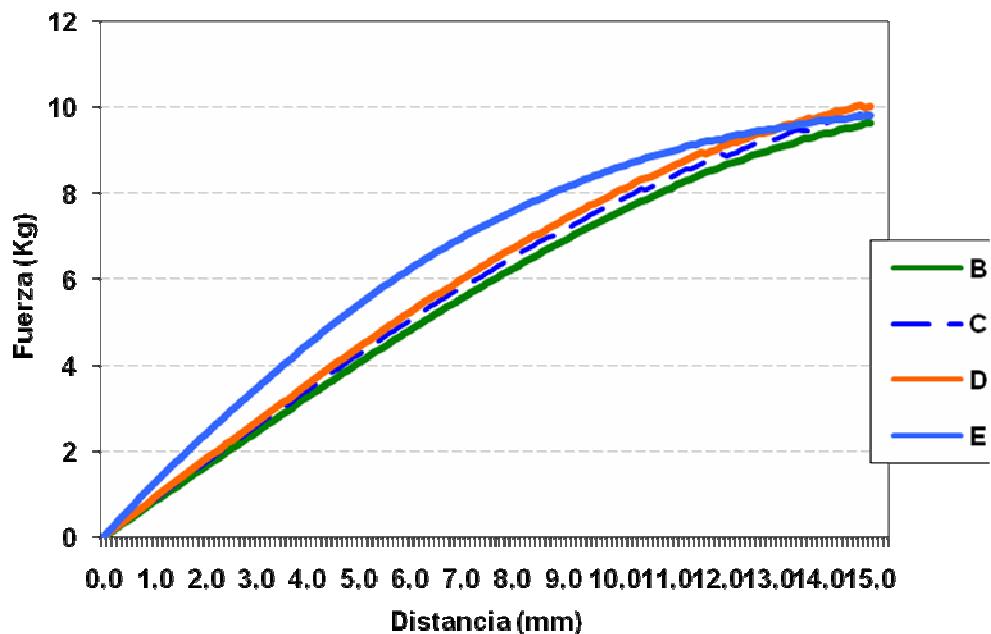


3.6. CONCLUSIONES

- Los materiales tienen un comportamiento no lineal.
- La concentración de nanotubos produce un aumento de la rigidez del material en su zona elástica, disminuyendo ligeramente cuando la concentración es excesiva.
- El límite elástico se reduce a mayor concentración de nanotubos, pero una pequeña cantidad de estos lo aumenta.
- A mayor adición de nanotubos halloysita en poliamida más se retrasa la rotura del material sometido a tracción, menos en el caso del Pleximer que disminuye al ser una cantidad elevada.
- El aditivo no influye de una manera importante en la deformación producida en la rotura, a no ser que la concentración de nanotubos de halloysita sea muy grande como en el caso del Pleximer.



4. ENSAYO DE FLEXIÓN



PROBETA B: Poliamida 6 natural.

PROBETA C: Poliamida 6 con 3% de nanotubos de halloysita.

PROBETA D: Poliamida 6 con 6% de nanotubos de halloysita.

PROBETA E: Pleximer: poliamida y 30% de nanotubos de halloysita.

4.1. CONCLUSIONES

- El comportamiento de los materiales es no lineal.
- El módulo de elasticidad a flexión es ligeramente diferente que el extraído a tracción.
- Una pequeña concentración de nanotubos halloysita produce la elevación de la resistencia a flexión de la probeta de poliamida, pero la disminuye si la concentración es excesiva.
- En el caso del Pleximer: poliamida y 30% de nanoaditivo, se produce una deformación menor para cargas intermedias, pero la rotura del material se encuentra en un punto medio de las pruebas del resto de probetas.



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

ANEXO II : PLANOS DE LA MÁQUINA DE LEVA

Ensayo de fatiga en materiales poliméricos reforzados con nanopartículas mediante vibraciones mecánicas

AUTOR

Yasmina Lario Perea

DIRECTOR

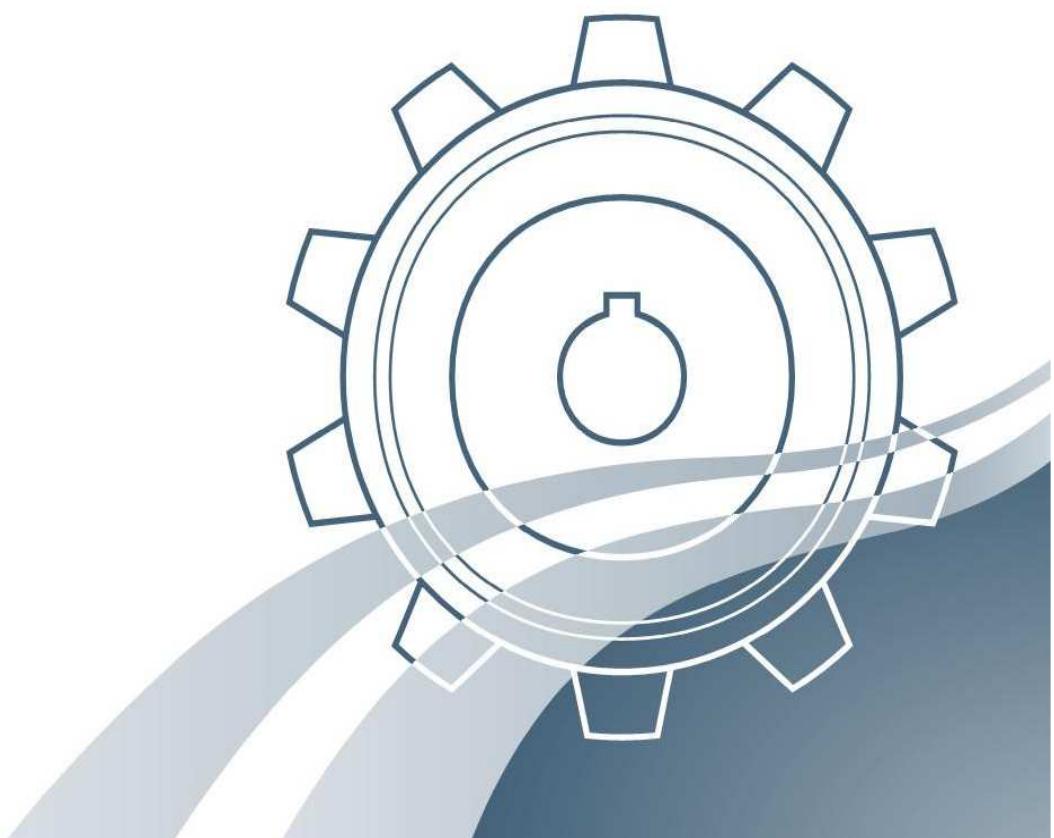
José Antonio Dieste Marcial

ESPECIALIDAD

Mecánica

CONVOCATORIA

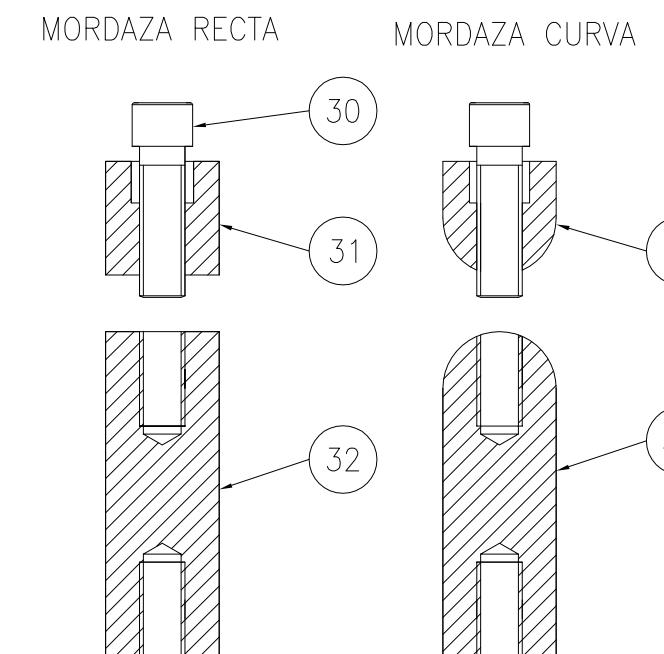
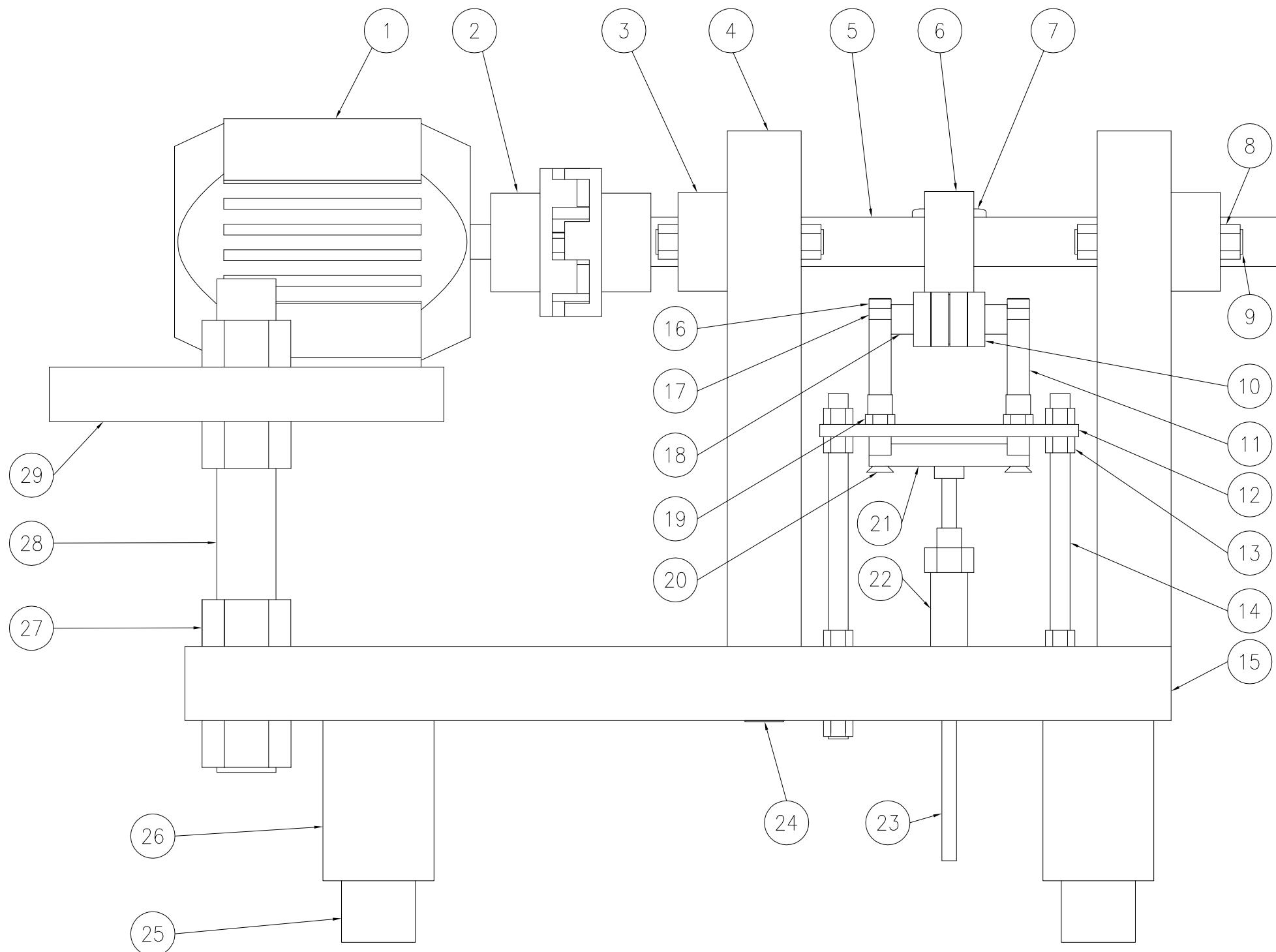
Septiembre 2011





ÍNDICE

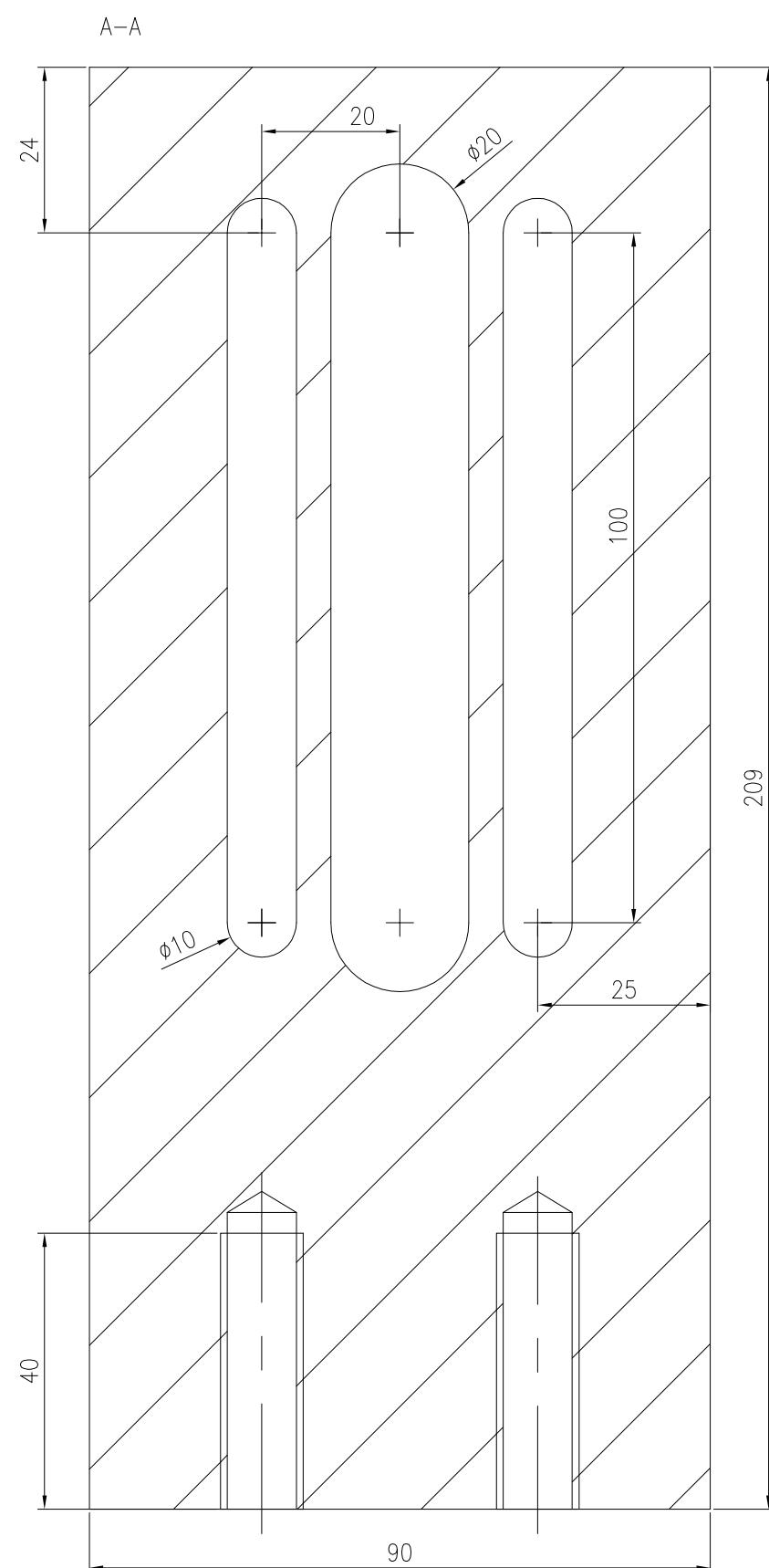
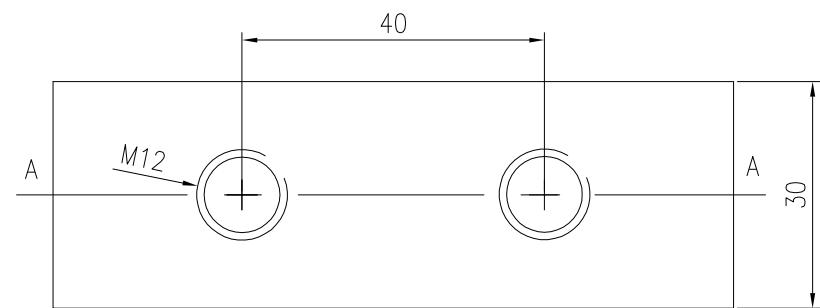
01.00	MÁQUINA DE LEVA Y LISTA DE COMPONENTES	3
01.01	SOPORTE EJE	5
01.02	EJE.....	6
01.03	LEVA.....	7
01.04	CILINDRO VERTICAL DEL PULSADOR	8
01.05	PLACA GUÍA DEL PULSADOR	9
01.06	PLACA DE BANCADA.....	10
01.07	EJE DE RODAMIENTO DEL PULSADOR.....	11
01.08	CILINDRO HORIZONTAL DEL PULSADOR	12
01.09	CUERPO DE PATA	13
01.10	PLACA MOTOR.....	14
01.11	CUERPO SUPERIOR DE MORDAZA RECTA	15
01.12	CUERPO INFERIOR DE MORDAZA RECTA	16
01.13	CUERPO SUPERIOR DE MORDAZA CURVA	17
01.14	CUERPO INFERIOR DE MORDAZA CURVA	18



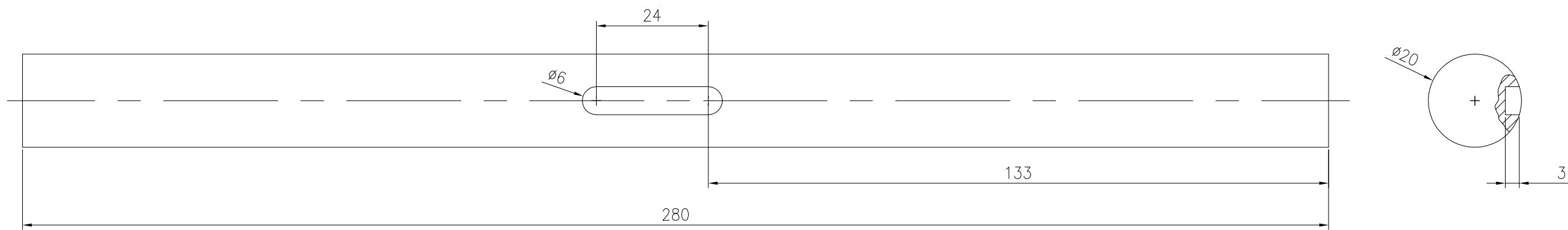
	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Dibujado	23/2/11	Y.LARIO		
Comprob.				
id.s.norma				
Escala:	MAQUINA DE LEVA			Plano: 01.00
1:2				Hoja: 3
				Especialidad: MECANICA



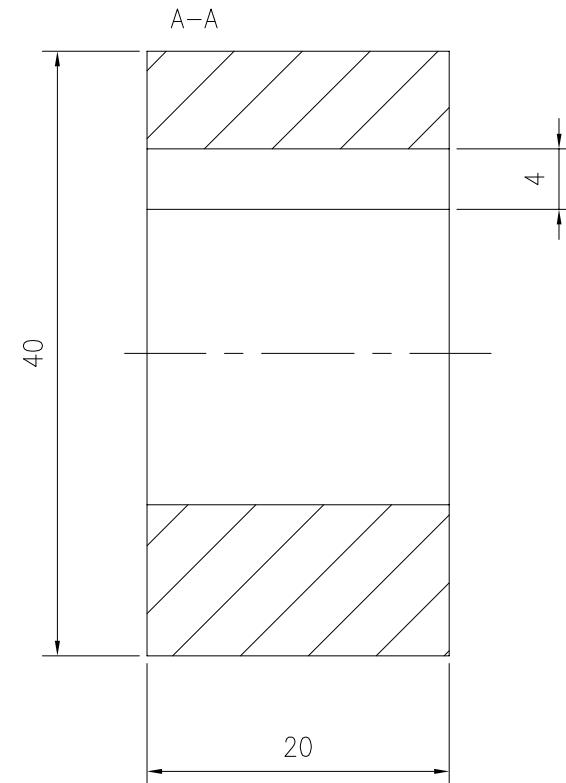
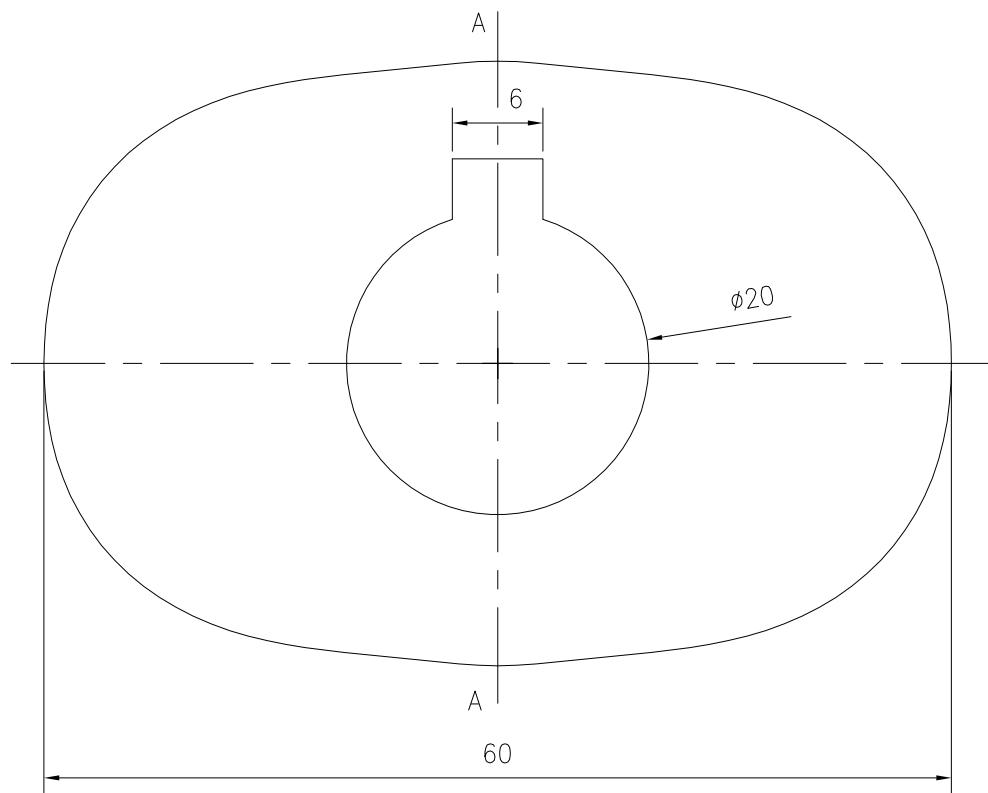
Nº	PLANO	PIEZA	CANT	DESCRIPCIÓN
1		Motor Eléctrico	1	0.37kW, 2830rpm, 50Hz
2		Acoplamiento Mecánico	1	Ø14- Ø20, 6000rpm
3		Conjunto de Rodamiento Eje	2	INA GLCTE20
4	01.01	Soporte Eje	2	Aluminio 209x90x30
5	01.02	Eje	1	F-114 Ø20
6	01.03	Leva	1	F-1517 40x60
7		Chaveta	1	6x6x30
8		Tuerca de Rodamiento	8	M10x1.5x8
9		Espárrago de Rodamiento	4	M10x68
10		Rodamiento del Pulsador	4	608zz 8x22x7
11	01.04	Cilindro Vertical del Pulsador	2	F-127 55x Ø9
12	01.05	Placa Guía del Pulsador	1	Aluminio 105x45x5
13		Tuerca Placa Guía	16	M8x1.25x6.5
14		Espárrago Placa Guía	4	M8x140
15	01.06	Placa de Bancada	1	Aluminio 400 x 400 x 30
16		Tornillo Eje de Rodamiento	2	Allen cilíndrico M6x1x12
17	01.07	Eje de Rodamiento del Pulsador	1	F-127 65x Ø9
18		Separador de Rodamiento	1	9x12x9
19		Casquillo	2	Conecotor de agua, acero
20		Tornillo Cilindro horizontal	2	Allen plano M6x1x12
21	01.08	Cilindro Horizontal del Pulsador	1	F-127 65x Ø9
22		Fijación Pulsador Vertical	1	Conecotor de agua, bronce
23		Pulsador Vertical Inferior	1	Expulsor templado 6x12x160
24		Tornillo Soporte Eje	8	M12x35
25		Pata de Goma	4	Ø30
26	01.09	Cuerpo de Pata	4	Aluminio 45x45x65
27		Tuerca Placa Motor	8	M24x3x19
28		Perno Placa Motor	2	M24x200
29	01.10	Placa Motor	1	Aluminio 160x215x22
30		Tornillo Mordaza	8	M12x35
31	01.11	Cuerpo Superior de Mordaza Recta	1	Aluminio 30x100x30
32	01.12	Cuerpo Inferior de Mordaza Recta	1	Aluminio 30x100x86
33	01.13	Cuerpo Superior de Mordaza Curva	1	Aluminio 30x100x30
34	01.14	Cuerpo Inferior de Mordaza Curva	1	Aluminio 30x100x71



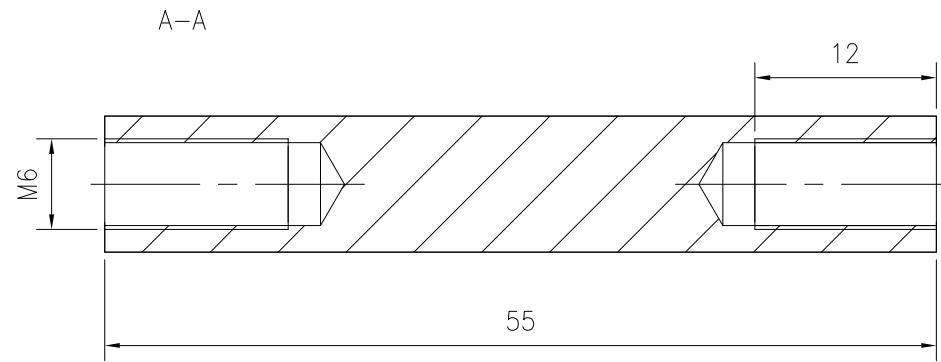
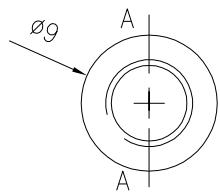
	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Dibujado	17/2/11	Y.LARIO		
Comprob.				
id.s.norma				
Escala:	1:1			Plano: 01.01
	SOPORTE EJE			Hoja: 5
				Especialidad: MECÁNICA



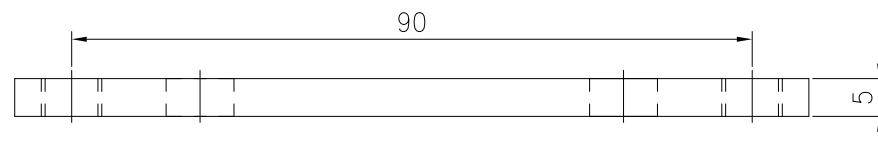
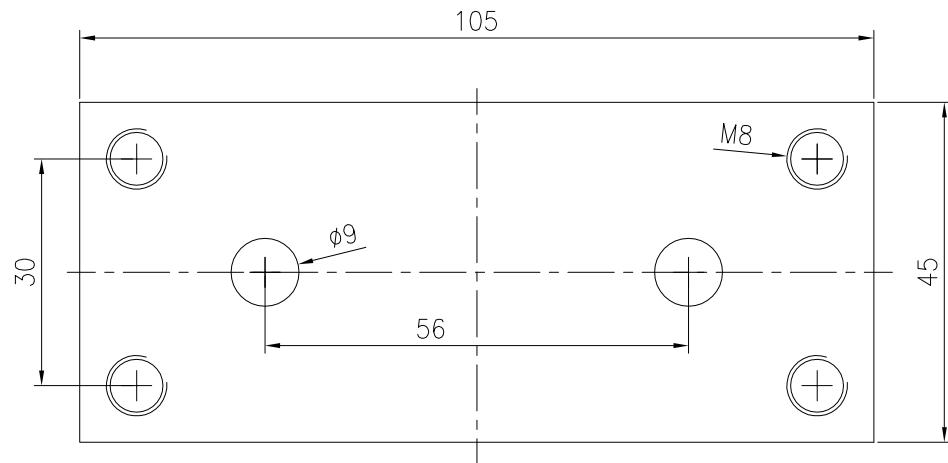
	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
Dibujado	18/2/11	Y.LARIO			
Comprob.					
id.s.norma					
Escala:		Plano: 01.02			
1:1		Hoja: 6			
Especialidad: MECÁNICA					



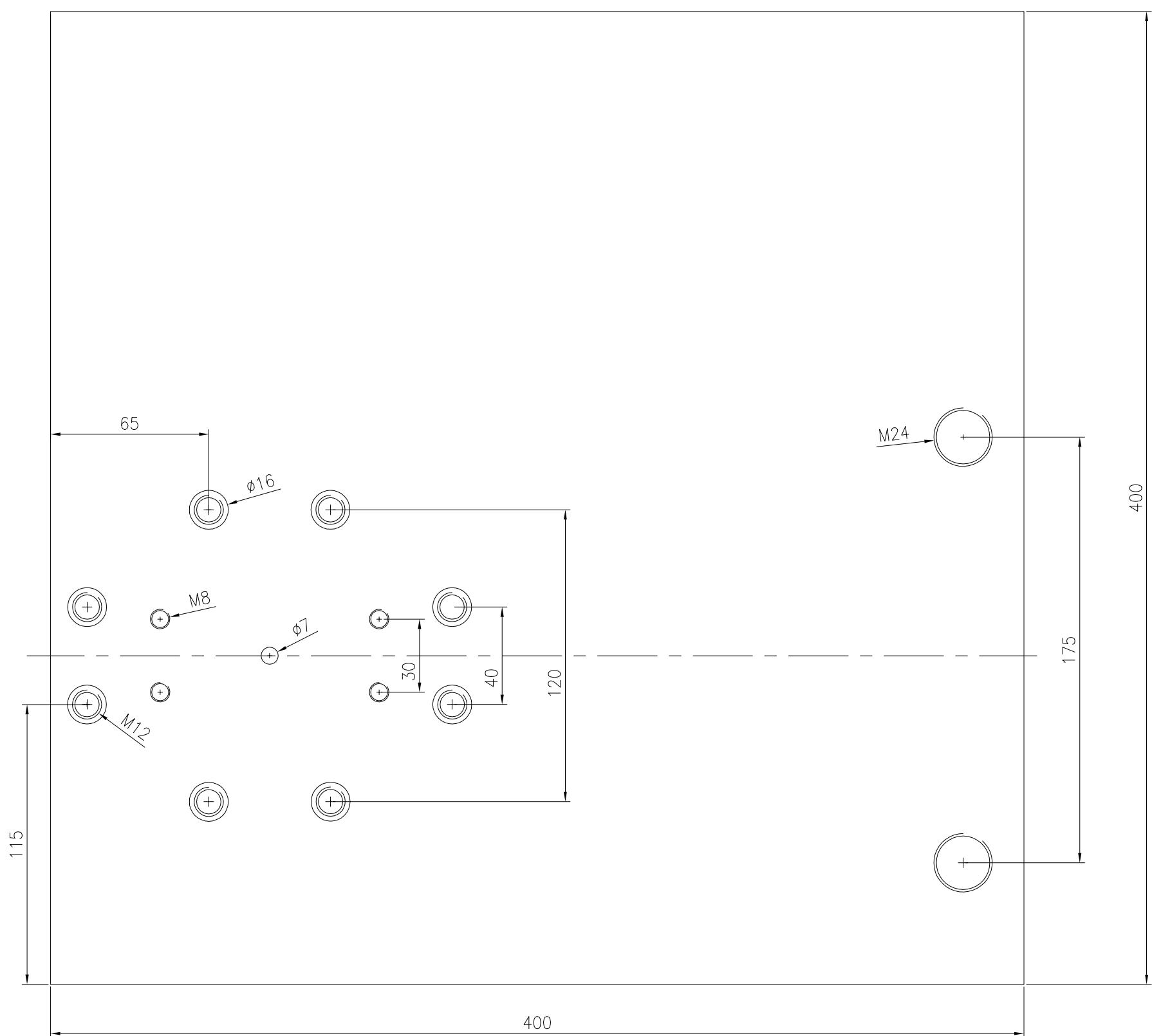
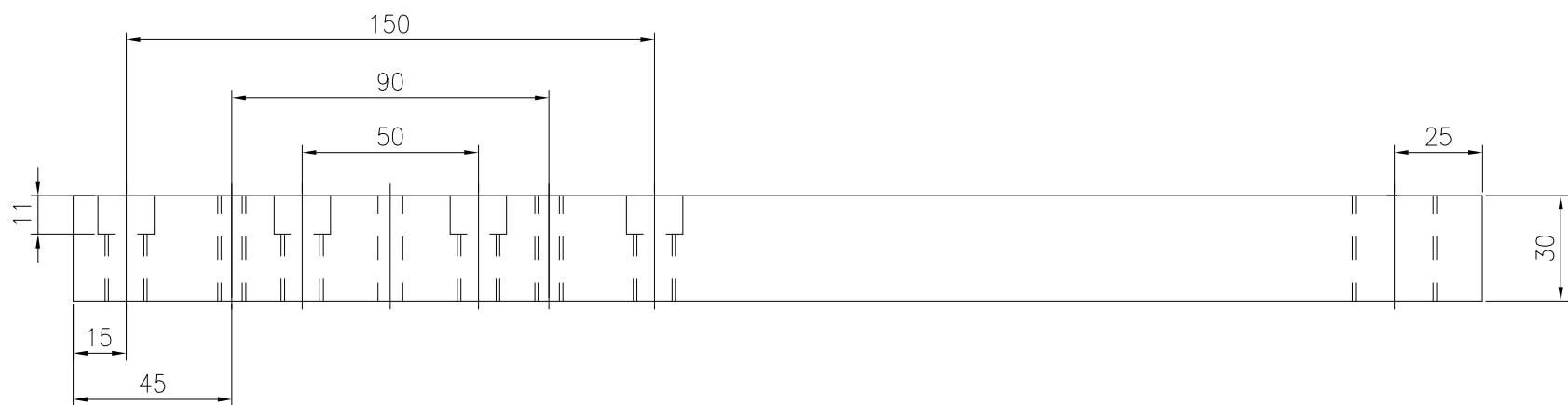
Dibujado	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Comprob.				
id.s.norma				
Escala:	2:1	LEVA		Plano: 01.03 Hoja: 7 Especialidad: MECÁNICA



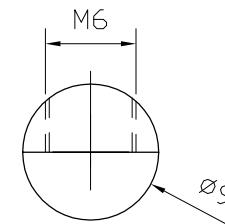
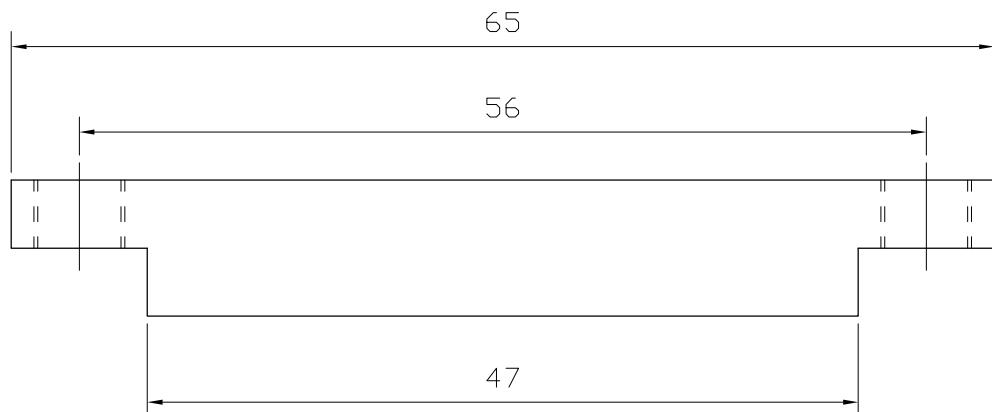
Dibujado	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Comprob.				
id.s.norma				
Escala: 2:1	CILINDRO VERTICAL DEL PULSADOR			Plano: 01.04 Hoja: 8 Especialidad: MECÁNICA



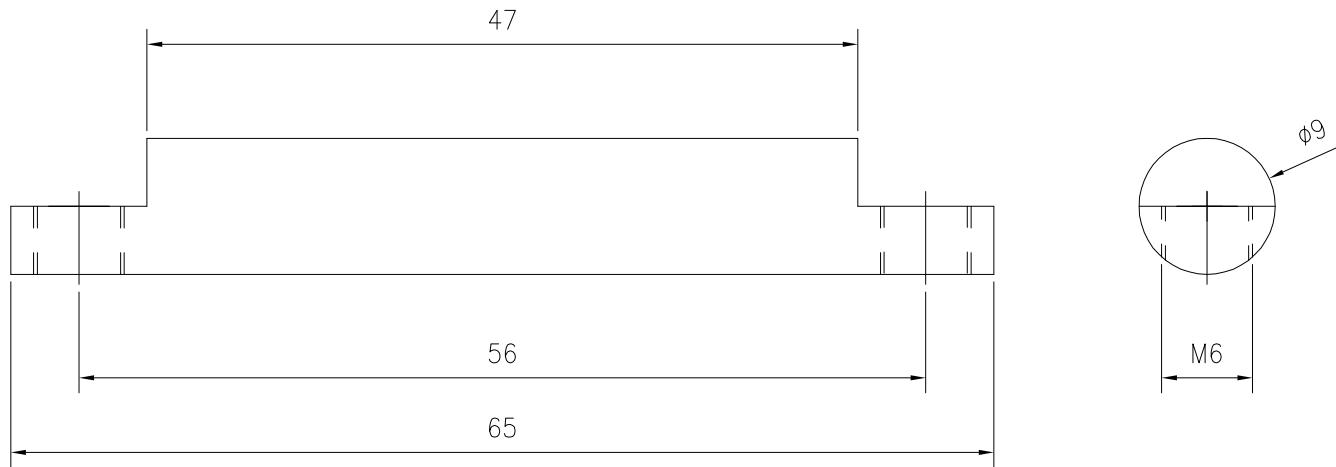
	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Dibujado	18/2/11	Y. LARIO		
Comprob.				
id.s.norma				
Escala: 1:1	PLACA GUÍA DEL PULSADOR			Plano: 01.05 Hoja: 9 Especialidad: MECÁNICA



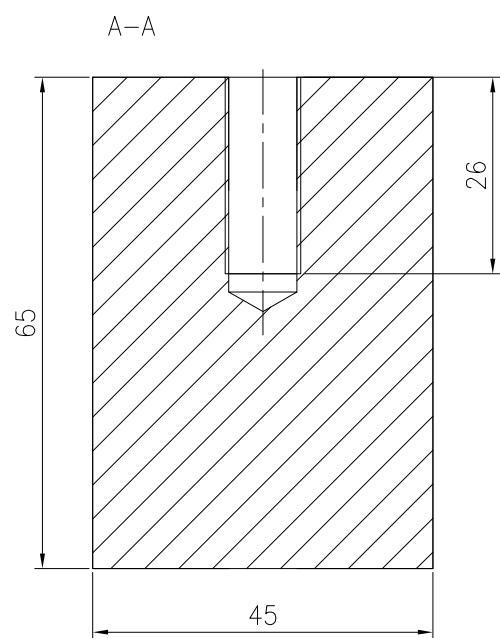
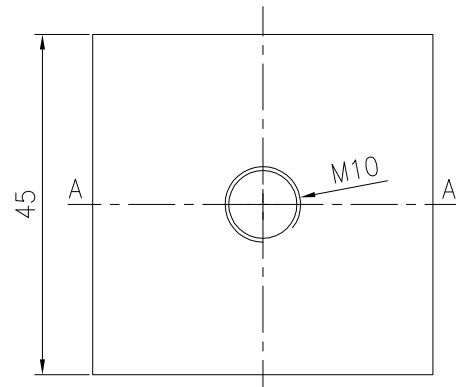
	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Dibujado	16/2/11	Y.LARIO		
Comprob.				
id.s.norma				
Escala:	1:2	PLACA DE BANCADA		Plano: 01.06
				Hoja: 10
				Especialidad: MECANICA



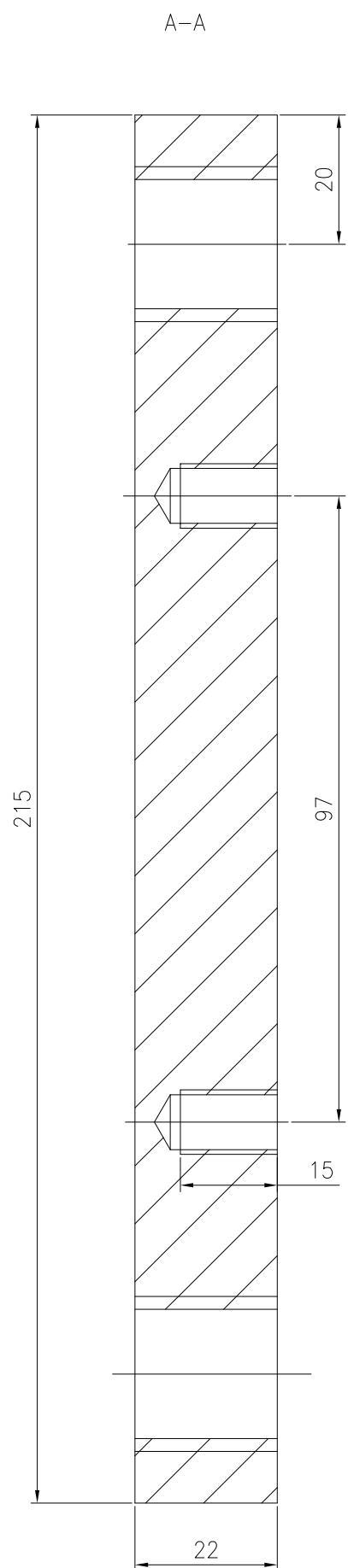
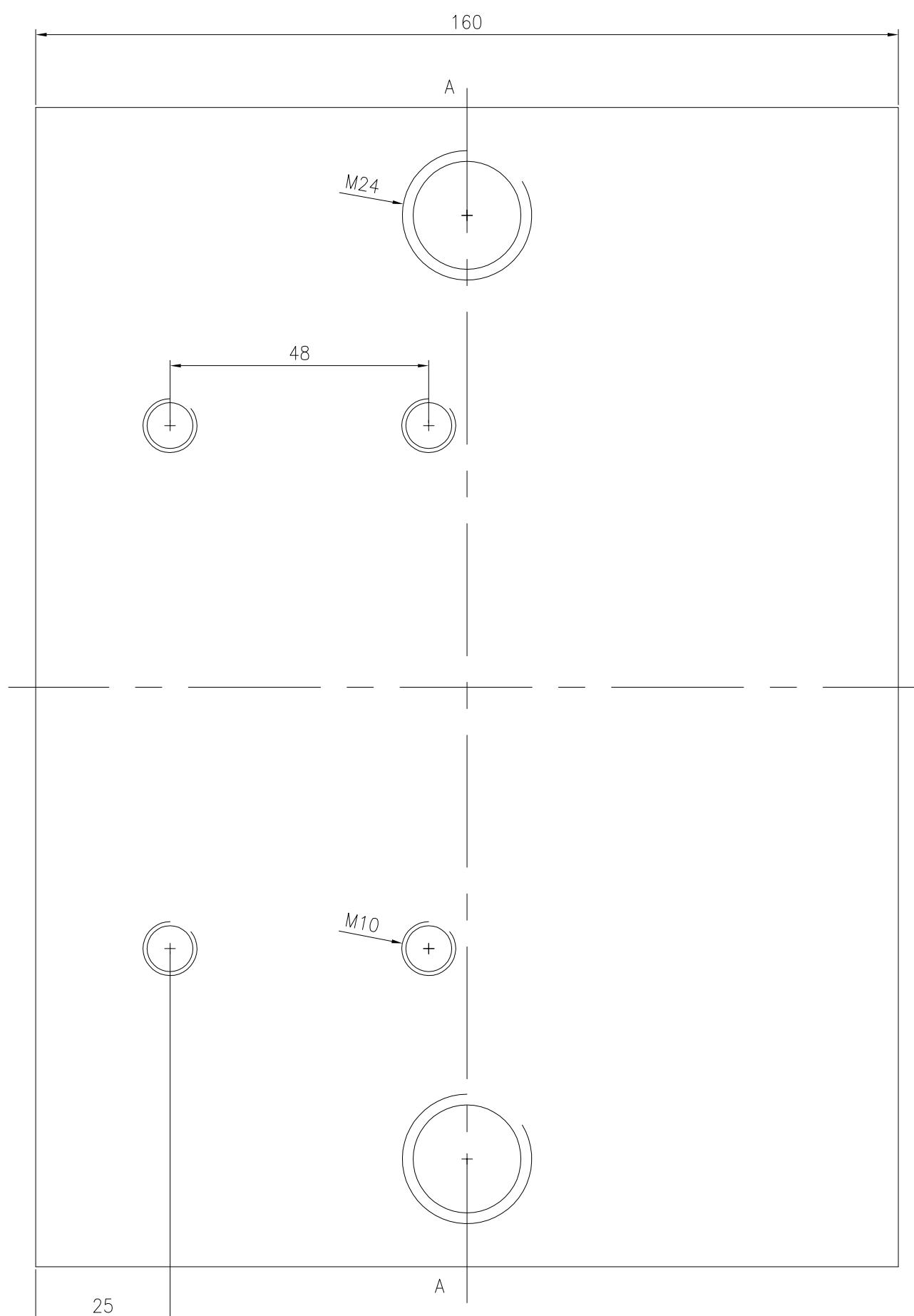
	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Dibujado	28/2/11	Y.LARIO		
Comprob.				
id.s.norma				
Escala: 2:1	EJE DE RODAMIENTO DEL PULSADOR			Plano: 01.07
				Hoja: 11
				Especialidad: MECÁNICA



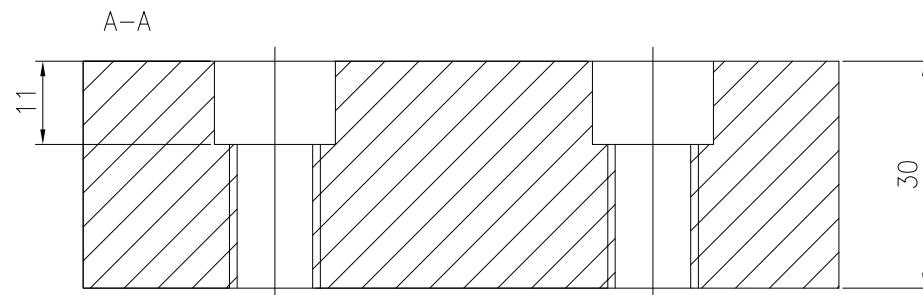
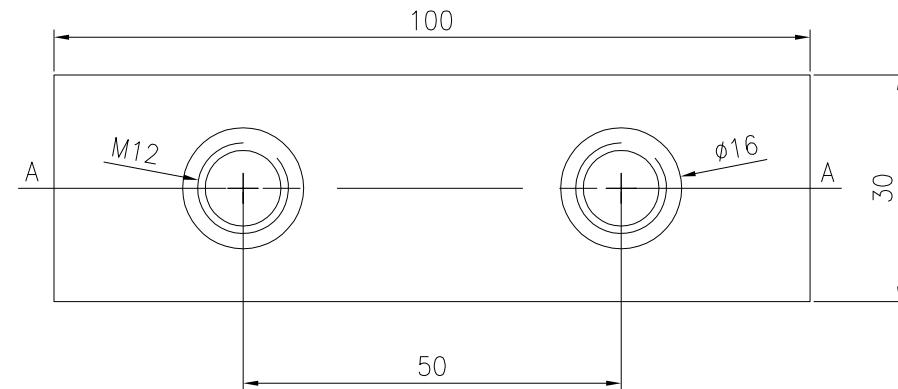
	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Dibujado	18/2/11	Y.LARIO		
Comprob.				
id.s.norma				
Escala: 2:1	CILINDRO HORIZONTAL DEL PULSADOR			Plano: 01.08 Hoja: 12 Especialidad: MECÁNICA



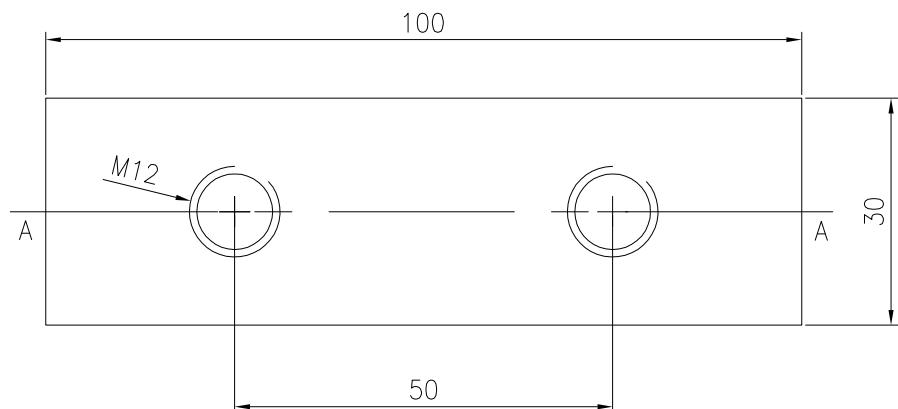
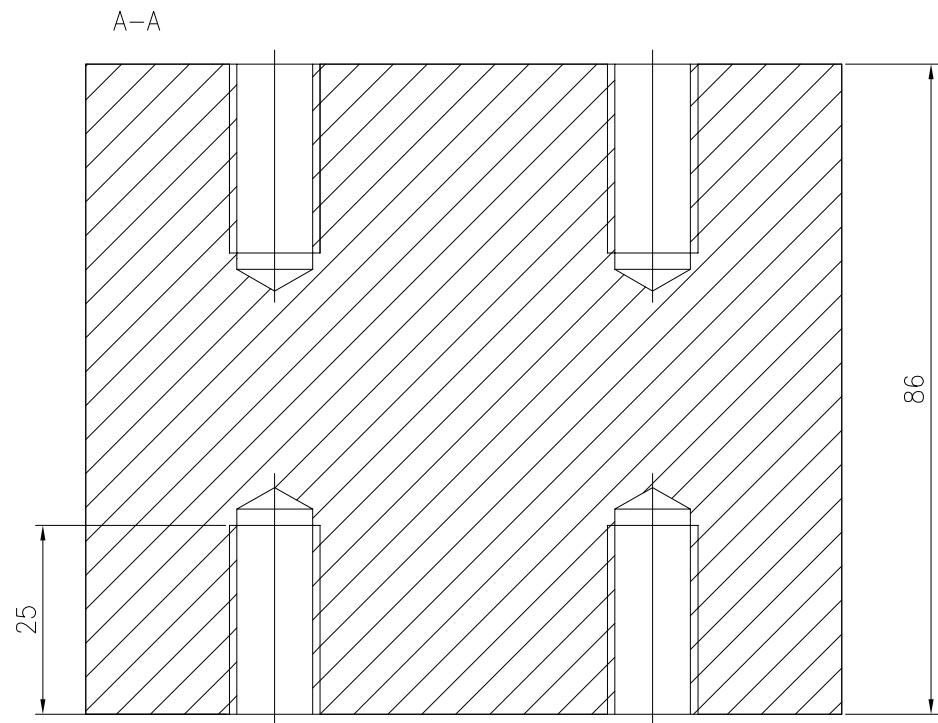
	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
Dibujado	23/2/11	Y.LARIO			
Comprob.					
id.s.norma					
Escala:	1:1			Plano: 01.09	
	CUERPO DE PATA			Hoja: 13	
				Especialidad: MECÁNICA	



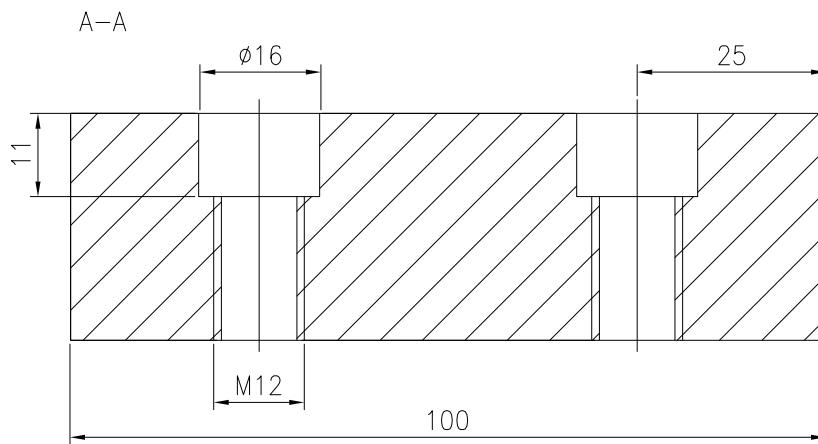
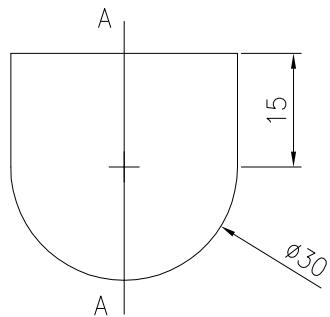
Dibujado	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA	
Comprob.	17/2/11	Y.LARIO			
id.s.norma					
Escala:	1:1		Plano: 01.10 Hoja: 14 Especialidad: MECANICA		
	PLACA MOTOR				



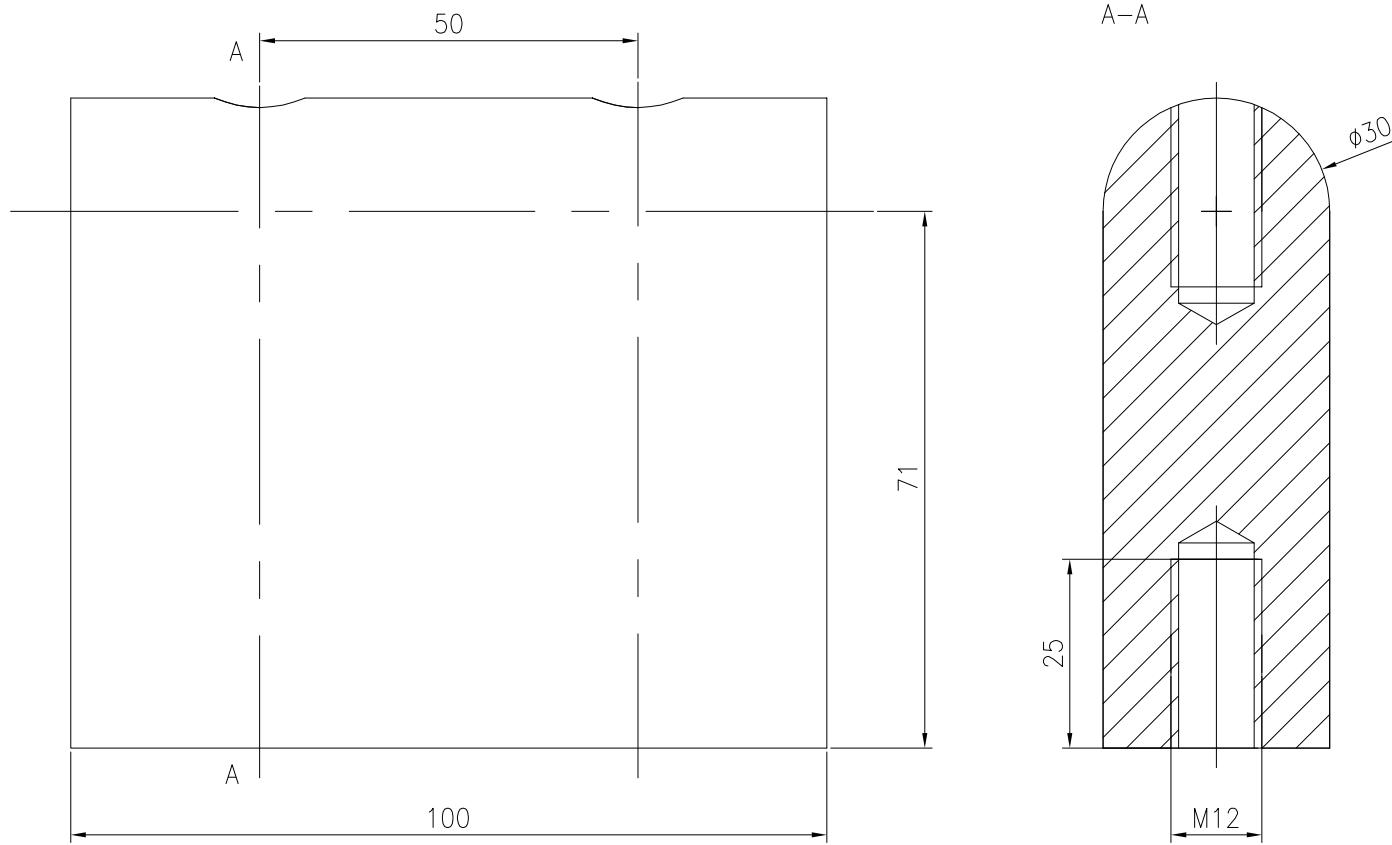
Dibujado	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Comprob.				
id.s.norma				
Escala: 1:1	CUERPO SUPERIOR DE MORDAZA RECTA			Plano: 01.11 Hoja: 15 Especialidad: MECÁNICA



	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Dibujado	17/2/11	Y.LARIO		
Comprob.				
id.s.norma				
Escala: 1:1	CUERPO INFERIOR DE MORDAZA RECTA		Plano: 01.12	
			Hoja: 16	
			Especialidad: MECÁNICA	



Dibujado	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Comprob.				
id.s.norma				
Escala: 1:1	CUERPO SUPERIOR DE MORDAZA CURVA			Plano: 01.13 Hoja: 17 Especialidad: MECÁNICA



Dibujado	Fecha	Nombre	Firma	ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERIA TECNICA INDUSTRIAL DE ZARAGOZA
Comprob.				
id.s.norma				
Escala:	CUERPO INFERIOR DE MORDAZA CURVA			Plano: 01.14
1:1				Hoja: 18
				Especialidad: MECANICA



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

ANEXO III : ACONDICIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE LEVA

Ensayo de fatiga en materiales poliméricos reforzados con nanopartículas mediante vibraciones mecánicas

AUTOR

Yasmina Lario Perea

DIRECTOR

José Antonio Dieste Marcial

ESPECIALIDAD

Mecánica

CONVOCATORIA

Septiembre 2011



ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	4
2. ESTADO INICIAL: ELEMENTOS DE RIESGO	5
2.1. MOTOR ELÉCTRICO.....	5
2.2. EJE Y RODAMIENTOS DEL EJE	5
2.3. LEVA Y RODAMIENTO DEL PULSADOR	5
2.4. EJES VERTICALES DEL PULSADOR	5
3. PRUEBA EN VACÍO	6
3.1. PRUEBA EN VACÍO I: CAMBIO DE CASQUILLOS	6
3.2. PRUEBA EN VACÍO II: INSTALACIÓN DE UNIDAD DE LUBRICACIÓN-REFRIGERACIÓN.....	6
3.2.1. UNIDAD DE LUBRICACIÓN-REFRIGERACIÓN	7
3.3. PRUEBA EN VACÍO III: CORRECTO FUNCIONAMIENTO EN VACÍO	7
4. PRUEBA DE ENSAYO	8
4.1. PRUEBA DE ENSAYO I: AJUSTE DE COMPONENTES.....	8
4.2. PRUEBA DE ENSAYO II: REGULACIÓN DE LUBRICACIÓN	8
4.3. PRUEBA DE ENSAYO III: DIMENSIONES DE LEVA.....	9
4.4. PRUEBA DE ENSAYO IV: CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE ENSAYO	9
5. PRUEBA DE ROTURA	10
5.1. PRUEBA DE ROTURA I: ENSAYO POR DEBAJO DEL LÍMITE DE FATIGA	10
5.2. ESTUDIO DE ROTURA.....	10
5.2.1. FINALIDAD	10
5.2.2. ESTADO DE TENSIÓN INICIAL	11
5.2.3. ESTADO DE TENSIÓN NECESARIO	12
5.3. DISEÑO DE LEVA	13
5.4. PRUEBA DE ROTURA II: CORRECTO ACONDICIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE LEVA.....	14
6. OTROS ASPECTOS	15
6.1. ACEITE LUBRICANTE Y MATERIALES DE ENSAYO.....	15
6.2. EVACUACIÓN DE ACEITE Y PROTECCIÓN DE DISPOSITIVOS	22
6.3. SUJECCIÓN DE LAS PROBETAS: CONFIGURACIÓN DE LAS MORDAZAS	22



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Filtro, reductor, lubricador FRL200</i>	7
<i>Figura 2: Sistema de lubricación-refrigeración</i>	7
<i>Figura 3: Curvas S-N de fatiga PA 6 nanoadditivada</i>	10
<i>Figura 4: Condiciones de apoyo y desplazamiento iniciales.....</i>	11
<i>Figura 5: Estado de tensión inicial y deformaciones en la probeta.....</i>	11
<i>Figura 6: Condiciones de apoyo y desplazamiento modificadas</i>	12
<i>Figura 7: Estado de tensión y deformación modificado.....</i>	12
<i>Figura 8: Perfil de leva con movimiento cicloidal</i>	13
<i>Figura 9: Diseño de leva cicloidal</i>	13
<i>Figura 10: configuración mordaza curva</i>	22

1. INTRODUCCIÓN

La máquina de leva utilizada en el inicio del proyecto proporcionaba en una probeta un esfuerzo a flexión en su centro, de una frecuencia máxima de 100 Hz y una amplitud de 2 mm, considerada una vibración.

El mecanismo vibratorio consta de un pulsador sube-baja accionado por una leva que a su vez está dirigida por un motor eléctrico, con la posibilidad de variar su frecuencia de giro para adecuarla al ensayo requerido.

El objetivo del proyecto es aumentar la frecuencia de ensayo con respecto a ensayos convencionales de fatiga; este hecho provoca que la velocidad del ensayo sea mayor, y por tanto, la máquina de leva tenga que cumplir con exigencias de fricción y robustez exigentes.

Para la comprobación del correcto funcionamiento del mecanismo de ensayo y su adaptación al fin buscado, ha sido necesario realizar, antes del ensayo a fatiga definitivo de cada probeta, pruebas que nos permitieran ajustar y mejorar el conjunto, asegurando la fiabilidad de los resultados obtenidos en su trabajo.

Estas pruebas se observaron más exhaustivamente en aquellos elementos que tienen más probabilidad de daño por el trabajo que realizan y las conexiones que soportan, lo que definiremos como elementos de riesgo.

A continuación se expone todo el trabajo realizado para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina de leva en la realización de los ensayos.



2. ESTADO INICIAL: ELEMENTOS DE RIESGO

2.1. MOTOR ELÉCTRICO

El motor eléctrico, fuente motriz de la máquina de leva, es un motor asincrónico trifásico que trabajará durante un amplio rango de tiempo a una frecuencia máxima de 50 Hz.

En este elemento podría existir el riesgo de sobrecalentamiento y posterior falla, colapsando el ensayo. La posibilidad de que este daño ocurra es mayor a menor frecuencia de ensayo.

Aunque desde un inicio la máquina de leva lleva instalado un ventilador para la refrigeración del motor, se comprobará que su temperatura no aumenta demasiado.

2.2. EJE Y RODAMIENTOS DEL EJE

El eje horizontal es el encargado de transferir el movimiento rotatorio del motor a la leva, este movimiento puede llegar a alcanzar las 3000 rpm.

Al igual que todos los componentes del conjunto estará sometido a su esfuerzo durante un amplio intervalo de tiempo, por ello, los rodamientos que soportarán este giro podrían sobrecalentarse.

2.3. LEVA Y RODAMIENTO DEL PULSADOR

Estos dos elementos son cruciales en la máquina de leva y deben estar en continuo contacto, para que se produzca el movimiento deseado.

La leva inicial está fabricada en aluminio y la constante rodadura por el rodamiento del pulsador puede producir su deterioro, alterando sus dimensiones

2.4. EJES VERTICALES DEL PULSADOR

Los ejes verticales del pulsador, son los encargados de transferir el movimiento rectilíneo vertical a la probeta, están fabricados en acero y mecanizados para las conexiones con el resto de elementos.

El constante sube y baja de estos elementos provoca una continua fricción en los casquillos que los guían, pudiendo existir en la zona un aumento de la temperatura y desgaste del material.

El deterioro en los casquillos será más grave en un lateral de estos, debida a la fuerza tangencial proveniente de la leva que empuja todo el pulsador hacia un lateral.

3. PRUEBA EN VACIO

3.1. PRUEBA EN VACIO I: CAMBIO DE CASQUILLOS

La primera prueba en la máquina de leva se realizó sin probeta a una frecuencia de 30Hz, durante una hora. Se observó el comportamiento y se tomó medidas de temperatura durante el funcionamiento mediante una pistola de temperatura Thermopoint TPT40, en los puntos más conflictivos. Una vez finalizada la prueba se comprobó las dimensiones de la leva mediante un pie de rey. Los resultados fueron:

- Los casquillos, piezas de conexión de agua, fabricados en bronce, aumentaban constantemente su temperatura y se desgastaron totalmente. Éste desgaste conllevó a una desalineación vertical del pulsador, que perdió el contacto con la leva.
- Las dimensiones de la leva no se habían alterado de forma apreciable.

Cómo solución a estos daños, se cambiaron los casquillos de bronce, que guiaban el movimiento del pulsador, por unos de acero.

3.2. PRUEBA EN VACIO II: INSTALACIÓN DE UNIDAD DE LUBRICACIÓN-REFRIGERACIÓN

La segunda prueba realizada con iguales características que la primera, confirmó el mejor funcionamiento de la máquina con los casquillos de acero, pero seguía mostrando un aumento constante y significativo en la temperatura en la zona.

Con el fin de reducir este efecto, se redujo la frecuencia de trabajo a 20 Hz y se aplicó aceite de forma manual y constante en pequeños intervalos de tiempo, demostrando que este hecho moderaba el aumento de la temperatura.

La conclusión hallada de esta prueba, fue la necesidad de la instalación de un método de lubricación-refrigeración, para evitar la fricción y el calentamiento de los casquillos y los ejes verticales en movimiento.

Mediante la valoración de los medios disponibles utilizables, se diseñó una unidad de lubricación-refrigeración, mediante aceite y aire comprimido, conducido hasta las zonas de falla mediante tubo de goma y cobre. Fue necesaria la ranuración de la base de la máquina de leva para la evacuación del aceite quemado.



3.2.1. UNIDAD DE LUBRICACIÓN-REFRIGERACIÓN

El circuito de lubricación-refrigeración instalada en la máquina de leva tiene como objetivo conducir una gota de aceite lubricante y un chorro de aire comprimido hasta el punto exacto donde se produce la fricción. Este sistema está formado por una red de tubos de goma y cobre, que conducen el aire y el aceite hasta el sitio deseado.

Mediante una unidad de lubricación FRL200 (*fig.1*) que además actúa como filtro y reductor se regula todo el sistema. Las características técnicas de este elemento son:

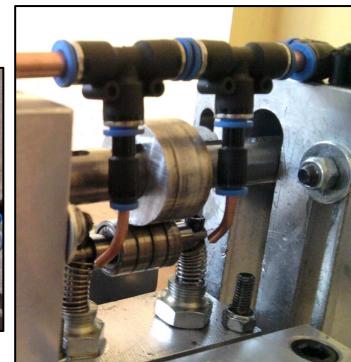
- Presión y temperatura máxima de aire a la entrada: 16 bar/60°C.
- Elemento filtrador: 10μ
- Campo de reducción de presión: 0-12 bar
- Campo regulador de lubricante: 1 gota cada 300-600 NL/min



Figura 1: Filtro, reductor, lubricador FRL200



Figura 2: Sistema de lubricación-refrigeración



Los puntos en los que mejora el funcionamiento este sistema, son los ejes verticales del pulsador y los rodamientos del eje.

3.3. PRUEBA EN VACÍO III: CORRECTO FUNCIONAMIENTO EN VACÍO

Tras la instalación de la unidad de lubricación-refrigeración, se hizo funcionar la máquina en vacío durante una hora, a una frecuencia de 20Hz, comprobando que las temperaturas en los puntos más desfavorables se estabilizaban.

4. PRUEBA DE ENSAYO

4.1. PRUEBA DE ENSAYO I: AJUSTE DE COMPONENTES

Para realizar la cuarta prueba en la máquina de ensayo, se le colocó una de las probetas y se conectó durante aproximadamente 10 minutos a bajas frecuencias; esto fue suficiente para demostrar que los contactos entre elementos no eran los correctos y la probeta en su posición inicial quedaba ligeramente arqueada, por lo que, era totalmente necesario un reajuste de los componentes del conjunto con la probeta situada en su posición de ensayo.

Fue necesario ajustar la altura del eje (principal y motor) y la placa guía del pulsador, además de comprimir un poco más el muelle inferior.

4.2. PRUEBA DE ENSAYO II: REGULACIÓN DE LUBRICACIÓN

Una vez realizados los ajustes oportunos, con la máquina de ensayo funcionando, se fue disminuyendo la cantidad de aceite empleado (mediante la ruleta del FRL200), estudiando que las condiciones de temperatura siguieran estables, de este modo se consiguió el estado óptimo de funcionamiento con el mínimo gasto de aceite lubricante. También se reguló la presión en el FRL200 controlando de este modo el chorro de aire para conseguir la aplicación oportuna de la gota de aceite.

Esta prueba tuvo varias fases de larga duración (entorno a 8 horas de funcionamiento) en las que se llevó un seguimiento de las temperaturas de cada elemento de riesgo, se observó el desgaste del aceite y se comprobó el correcto funcionamiento tanto de la lubricación como de la máquina en general.

Diversas modificaciones fueron realizadas según las necesidades, fijando de este modo, el método óptimo de funcionamiento:

- Presión: 2 bar.
- Cantidad: aproximadamente 1 gota cada 4 segundos.

El depósito con el que cuenta la unidad lubricante es de un volumen de aproximadamente 0,5L, que durará un tiempo aproximado de 9 horas, que será necesario llenar, cada este intervalo de tiempo aproximadamente.



4.3. PRUEBA DE ENSAYO III: DIMENSIONES DE LEVA

Después de cada prueba fue necesario tomar medidas de las dimensiones de la leva, mediante un pie de rey, para cerciorarnos del desgaste.

El resultado fue una erosión de aproximadamente 1 mm, después de 12 horas de ensayo, pero resultó uniforme por toda la superficie de rodadura por lo que el desplazamiento vertical no se verá afectado y seguirá siendo el mismo en todo el ensayo.

Este deterioro a largo plazo puede producir la pérdida de contacto con el pulsador, por lo que será necesario cambiar este elemento cuando su desgaste sea significativo.

4.4. PRUEBA DE ENSAYO IV: CORRECTO FUNCIONAMIENTO DE ENSAYO

Tras la correcta colocación de la probeta y la regulación de la lubricación se realizó una prueba de 10 minutos a baja frecuencia, observando el adecuado contacto entre todas partes y el apropiado movimiento de estas.

Después de esta comprobación, la máquina funcionó durante 8 horas a 20 Hz manteniendo la temperatura, en sus zonas más desfavorables, estable.

Las conclusiones obtenidas de esta prueba proporcionaron las correctas variables de ensayo:

- La probeta debe de estar totalmente recta en el inicio de la prueba.
- La frecuencia de trabajo será de 20 Hz.
- La máquina de leva debe llevar conectado el sistema de lubricación-refrigeración fijando en su unidad FRL200 a 2 bares de presión y alrededor de una gota de aceite cada 5 segundos.
- Los puntos a lubricar y refrigerar serán los ejes verticales del pulsador y los rodamientos del eje principal.
- Debe de estar conectado el ventilador para refrigerar el motor eléctrico.
- Se debe colocar la pantalla de protección de metacrilato para la realización del ensayo.

5. PRUEBA DE ROTURA

5.1. PRUEBA DE ROTURA I: ENSAYO POR DEBAJO DEL LÍMITE DE FATIGA

Tras la determinación de las condiciones necesarias en el ensayo para asegurar el funcionamiento de la máquina de leva, se colocó una probeta de poliamida 6 con 3% de nanotubos de halloysita y se realizó el ensayo sin medir, para tener una idea aproximada del tiempo de rotura y la capacidad de la máquina de leva.

El tiempo de esfuerzo fue de aproximadamente 6 días, en los que se realizaron alrededor de $20 \cdot 10^6$ ciclos de flexión, sin ningún resultado aparente.

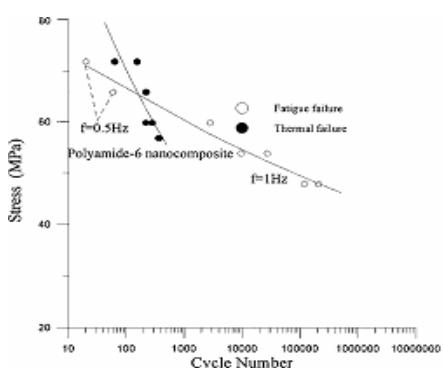
Este hecho demostró que se estaba trabajando por debajo del límite de fatiga del material, por lo que era necesario aumentar el estado de tensión de la probeta.

Para asegurar en las próximas pruebas la rotura del material se realizó un estudio de la tensión realizada en la probeta, y las posibilidades de aumentar el esfuerzo. Este trabajo que se detalla a continuación, fue realizado mediante un análisis estático, en Ansys Workbench 12.1.

5.2. ESTUDIO DE ROTURA

5.2.1. FINALIDAD

La finalidad del estudio es determinar un posible estado de rotura del material y el tiempo aproximado que conllevaría. Como inicio ha este estudio se ha consultado la gráfica definida en la fig. 3 obtenida de la literatura, “*Yield and fatigue behavior of polypropylene and polyamide-6 nanocomposites*”, P.K.Mallick, en la que enfrenta tensión y número de ciclos soportados a fatiga de un material de poliamida 6 reforzado con nanocompuestos.



Según la figura, el material romperá antes a mayor tensión provocada, y el hecho de someter la probeta a una tensión menor de 40 MPa, significará la no rotura del material.

Figura 3: Curvas S-N de fatiga PA 6 nanoaditivada



Los datos expuestos en la figura 3 no son propiamente los que corresponden al material ensayado en el proyecto, ni el análisis se adecua perfectamente al comportamiento no lineal de los materiales, pero ayudarán a fijar un intervalo aproximado de tensión necesario para la rotura de la probeta, que posteriormente se corroborará con las pruebas experimentales.

5.2.2. ESTADO DE TENSIÓN INICIAL

En la primera prueba de rotura realizada el estado de tensión era el siguiente:

Las condiciones de apoyo a las que estaba sometida la probeta se reflejan en la fig. 4 y bajo ellas se provocaba una flecha de 2 mm en su centro, en una longitud efectiva de 90 mm.

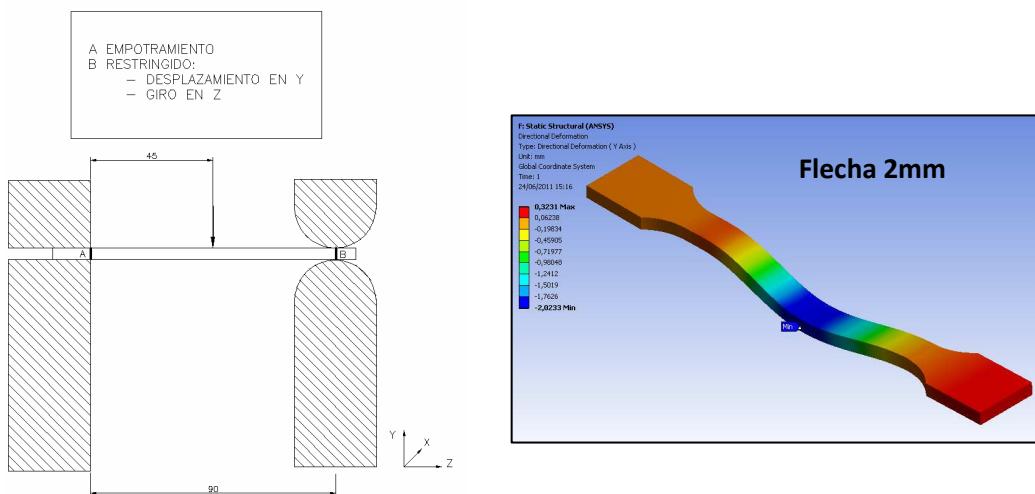


Figura 4: Condiciones de apoyo y desplazamiento iniciales

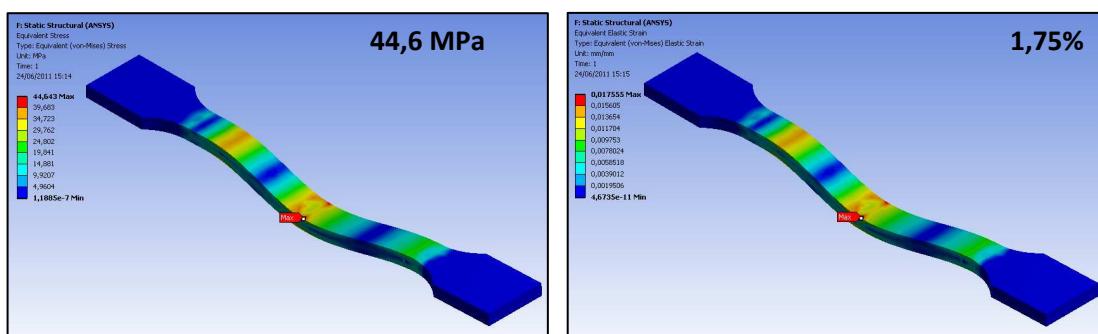


Figura 5: Estado de tensión inicial y deformaciones en la probeta

Cómo se refleja en las imágenes la tensión proporcionada a la probeta es muy baja, de unos 44MPa, por lo que suponemos que estamos trabajando por debajo de su límite de fatiga, o que los ciclos de rotura serán un número muy elevado. Cómo se ha dicho anteriormente, los datos obtenidos, no son exactos, sino orientativos, debido a la no linealidad del material estudiado.

5.2.3. ESTADO DE TENSIÓN NECESARIO

El objetivo es aumentar el estado de tensión, para trabajar muy por encima de su límite de fatiga y se produzca la rotura del material en poco tiempo, por lo que deberemos provocar en la probeta un desplazamiento vertical mayor, en unas condiciones más duras. Para conseguir este hecho, se remplazará la leva por una nueva con mayor diferencia entre sus ejes y se disminuirá la longitud eficaz de flexión.

El desplazamiento vertical elegido, provocado por la leva, será de 10 mm; y la longitud eficaz de 75 mm, porque aumenta la tensión en gran medida además de presentar las mínimas modificaciones en la máquina de leva.

La longitud eficaz se redujo mediante la adhesión de 15 mm de mordaza recta.

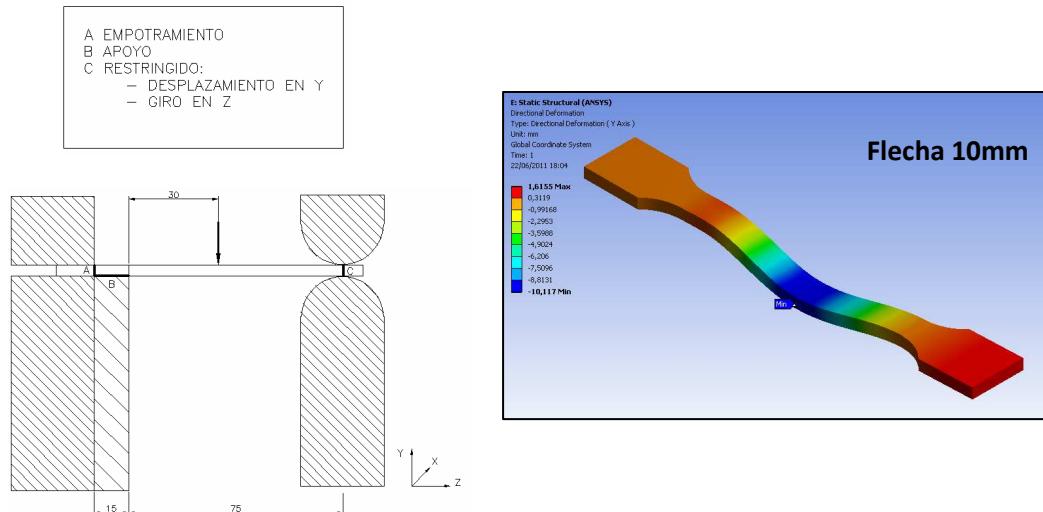


Figura 6: Condiciones de apoyo y desplazamiento modificadas

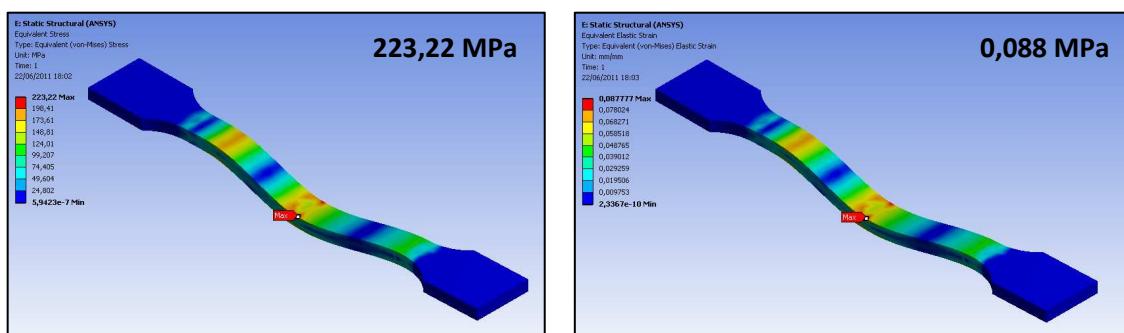


Figura 7: Estado de tensión y deformación modificado

Con este desplazamiento mayor del pulsador se inducirá en la probeta una tensión cinco veces mayor a la anterior, que permitirá la rotura.



Este estudio se corroboró mediante la prueba experimental, colocando una probeta de poliamida 6 con 3%NTH y ensayándola según las condiciones explicadas. El resultado fue la rotura al cabo de aproximadamente 7 horas.

5.3. DISEÑO DE LEVA

Debido a la necesidad de fabricar una nueva leva, para provocar un desplazamiento mayor, de 1cm, se decidió el diseño de un nuevo perfil de leva, proporcionándole a este nuevo elemento un movimiento cíclico.

Este nuevo perfil será más adecuado para las velocidades alcanzadas, suavizando los choques contra el pulsador, de manera que se producirá una transición más progresiva en sus alturas.

El nuevo perfil de leva se refleja en la *fig. 8*.

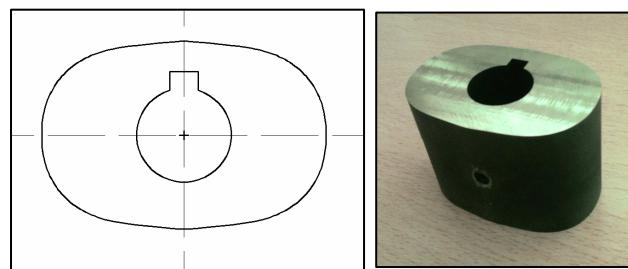


Figura 8: Perfil de leva con movimiento cicloidal

En la *fig.9* se representa el modelo geométrico seguido para la obtención del movimiento cicloidal, además de la comparación de la nueva leva con la elíptica instalada anteriormente.

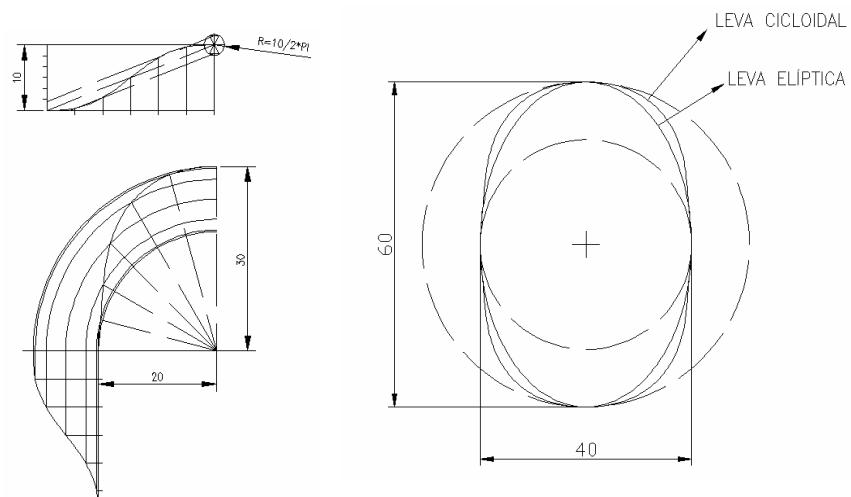


Figura 9: Diseño de leva cicloidal

Los dos perfiles de leva demuestran que se realizará el mismo desplazamiento vertical con los dos elementos, pero con el nuevo perfil, el paso será mucho más progresivo, disminuyendo el golpe lateral en los casquillos y por tanto el deterioro de la máquina de ensayo.

Además esta nueva leva se fabricará en acero para evitar en mayor medida su desgaste.

5.4. PRUEBA DE ROTURA II: CORRECTO ACONDICIONAMIENTO DE LA MÁQUINA DE LEVA

Para la prueba definitiva se colocó la probeta de poliamida 6 con 3% de nanotubos de halloysita y se dejó trabajar a la máquina de leva hasta la rotura de esta, controlando, cada cierto intervalo de tiempo, el correcto funcionamiento y la estabilidad de las temperaturas.

La prueba se realizó a una frecuencia de 20 Hz en el motor, durante un tiempo de aproximadamente 7 horas, en los que se provocaron en la probeta alrededor de $1 \cdot 10^6$ ciclos de flexión. Terminando con la rotura del material.



6. OTROS ASPECTOS

6.1. ACEITE LUBRICANTE Y MATERIALES DE ENSAYO

Con la instalación de la unidad de lubricación-refrigeración, es inevitable que el aceite utilizado no contacte con el material de ensayo, por ello, fue necesario realizar un estudio sobre la resistencia de los materiales ensayados a este agente químico.

Los datos necesarios para el estudio han sido obtenidos de la Tabla de resistencia química, publicada por Proindecsa, proyectos y delegaciones, S.L, que se adjunta al final de este apartado.

El aceite disponible inicialmente es un aceite lubricante sintético 10G para circuitos hidráulicos de la marca Ingersoll-Rand.

Sus características técnicas son:

- Producto químico: Destilado (petróleo), fracción parafínica pesada.
- Estado y color: Líquido ámbar.
- Temperatura de inflamabilidad: > 210 °C.
- Densidad: 860-870 kg/m³.

Según estos datos el lubricante será apropiado para el ensayo de poliamida (o nylon).

Se estudiarán, con el uso de este aceite lubricante, las probetas de, poliamida 6 natural (B), poliamida 6 con 3% de NTH (C), poliamida 6 con 6% de NTH (D) y plexímer (E).

La información del producto utilizado en el proyecto y la tabla de resistencia química se adjuntan a continuación.

6.1.1. LUBRICANTE 10G INGERSOLL-RAND

Conforme a 91/155/CEE - 2001/58/CE

**FICHA DE DATOS DE
SEGURIDAD****Ingersoll-Rand #10 Lubricante****1. Identificación de la sustancia/preparado y de la empresa**

Nombre del producto	: #10 Lubricante	Fabricante	: Ingersoll-Rand Company Hindley Green, Nr Wigan WN2 4EZ, UK UK: 0044(0) 1942 257171 US: 1-800-866-5457
Nombre comercial	: Ingersoll-Rand #10 Lubricante		
No. MSDS	: 7190		
Teléfono de emergencia	: 0044(0)-1942-257171 (UK)		
Usos del material	: Agente lubricante		

2. Composición/información sobre los componentes

Sustancia/preparado : Preparado

Nombre químico*	Nº CAS	%	Número CE	Clasificación
Europa Destilados (petróleo), fracción parafínica pesada con disolvente		70-100		
Francia				
Holanda				
Alemania				
Reino Unido (RU)				

* Los límites de exposición laboral, en caso de existir, figuran en el epígrafe 8

3. Identificación de peligros

La preparación no está clasificada como sustancia peligrosa conforme a la Directiva 1999/45/EC y sus enmiendas.

Efectos y síntomas

Contacto con la piel	: Ligeramente peligroso en caso de de contacto cutáneo (irritante). No sensibilizante para la piel.
Contacto con los ojos	: Ligeramente peligroso en caso de del contacto con los ojos (irritante).
Condiciones agravantes	: Una exposición repetida o prolongada no debería agravar el estado de salud.

4. Medidas de primeros auxilios**Medidas de primeros auxilios**

Inhalación	: Si ha habido inhalación, trasladar al aire libre. Si no respira, efectúe la respiración artificial. Si le cuesta respirar, suministrar oxígeno. Obtenga atención médica.
Ingestión	: No induzca al vómito a menos que lo indique expresamente el personal médico. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente. Si se han ingerido grandes cantidades de este material, llame a un médico inmediatamente. Si la persona está consciente, hacer que beba algunos vasos de agua o de leche.
Contacto con la piel	: Lavar con agua y jabón. Cubrir la piel irritada con un emoliente. Obtenga atención médica si se desarrolla irritación. Se puede utilizar agua fría.
Contacto con los ojos	: Verificar si la víctima lleva lentes de contacto y en este caso, retirárselas. En caso de contacto, lave los ojos inmediatamente con mucha agua durante por lo menos 15 minutos. Se puede utilizar agua fría. Obtenga atención médica si se produce irritación.



5. Medidas de lucha contra incendios

Medios de extinción

Apropiado(s)

: INCENDIO PEQUEÑO: Usar polvo químico seco.

GRAN INCENDIO: Utilizar agua pulverizada, niebla de agua o espuma. No usar chorro de agua.

Productos de descomposición térmica peligrosos

: Estos productos son óxidos de carbono (CO, CO₂). Los productos de la descomposición térmica dependen de las condiciones de temperatura.

Procedimientos especiales contra incendios

: Los bomberos deben usar aparatos respiradores autónomos (ARAC) y equipo completo contra incendios.

Protección de bomberos

: Los bomberos deben usar aparatos respiradores autónomos (ARAC) y equipo completo contra incendios. Asegúrese de utilizar un aparato de respiración aprobado por NSHA/NIOSH o el equivalente.

6. Medidas en caso de vertido accidental

Precauciones personales

: Lentes anti-salpicaduras. Ropa de protección completa. Aparato de respiración anti-vapores. Botas. Guantes químicamente resistentes. Un aparato de respiración autónomo debería ser utilizado para evitar cualquier inhalación del producto.

Precauciones ambientales y métodos de limpieza

: Absorber con un material inerte y poner el producto esparcido en un recipiente apropiado para desechos. No permita que entre agua potencialmente contaminada, incluyendo agua de lluvia, residuos del agua usada para la extinción de incendios o derrames, en ningún canal de agua, drenaje o alcantarilla. Nota: Véase la sección 8 para el equipo de protección personal y la sección 13 para vertido residual.

Nota: Véase la sección 8 para el equipo de protección personal y la sección 13 para vertido residual.

7. Manipulación y almacenamiento

Manipulación

: Conservar alejado del calor. Conservar a distancia de toda fuente de ignición. Los recipientes vacíos pueden suponer un riesgo de incendio, evaporar los residuos bajo una campana de humos. Poner a tierra todo el equipo que contiene material. No respirar los gases/humos/vapores/aerosoles. Conservar a distancia de materiales incompatibles tales como agentes oxidantes.

Almacenamiento

: Manténgase el recipiente bien cerrado. Conservar en un lugar seco, fresco y bien ventilado.

Materiales de embalaje

Uso recomendado : Utilizar el contenedor original.

8. Controles de exposición/protección personal

Medidas técnicas

: Una ventilación usual debería ser suficiente para mantener el número de partículas aerotransportadas a un nivel aceptable. Compruebe la proximidad de una ducha ocular y de una ducha de seguridad en el lugar de trabajo.

Medida higiénicas

: Lávese las manos después de manejar los compuestos y antes de comer, fumar, utilizar los lavabos y al final del día.

Nombre de ingrediente

Límites de exposición laboral

Europa

Destilados (petróleo), fracción parafínica pesada con disolvente

ACGIH TLV (Estados Unidos).

TWA: 5 mg/m³ 8 hora(s). Forma: Nieblas

STEL: 10 mg/m³ 15 minuto(s). Forma: Nieblas

Estándares de protección ocupacional

Sistema respiratorio : No se necesita respirador en condiciones normales a las que se destina el uso de producto.

Piel y cuerpo : Bata de laboratorio.

Manos : Guantes químicamente resistentes.

Ojos : Gafas de seguridad.

9. Propiedades físicas y químicas

Estado físico

: Líquido.

Color

: Ámbar.

Olor

: Templado.

pH

: No disponible.

Temperatura de inflamabilidad

: Crisol abierto: >210°C (410°F) (Cleveland.).

Propiedades explosivas	: Riesgos de explosión del producto en presencia de choques mecánicos: No disponible. Riesgos de explosión del producto en presencia de descargas de estática: No disponible.
Propiedades oxidantes	: No disponible.
Densidad	: 0.86 a 0.87 (Agua = 1)
Solubilidad	: No disponible.
Densidad de vapor	: >1 (Aire= 1)

10. Estabilidad y reactividad

Estabilidad	: El producto es estable.
Materiales que deben evitarse	: Reactivo con agentes oxidantes.
Productos de descomposición peligrosos	: Estos productos son óxidos de carbono (CO, CO ₂). Los productos de la descomposición térmica dependen de las condiciones de temperatura.

11. Información toxicológica

Efectos locales

Irritación de la piel	: Ligeramente peligroso en caso de de contacto cutáneo (irritante).
Irritación ocular	: Ligeramente peligroso en caso de del contacto con los ojos (irritante).
Sensibilización	: No sensibilizador para la piel.

Toxicidad crónica

: Una exposición repetida o prolongada no debería agravar el estado de salud.

Efectos específicos

12. Información ecológica

13. Consideraciones sobre la eliminación

Métodos de eliminación ; Residuo de la sustancia/preparado ; Envase contaminado	: Los desperdicios deben ser desechados de acuerdo con las regulaciones federales, estatales y de control ambiental local. Incinere los materiales de desecho.
Clasificación de desecho	: No aplicable.
Catálogo de Residuos Peligrosos	: No disponible.
Residuos Peligrosos	: El proveedor no considera este producto como un residuo peligroso en virtud de la directiva de la UE 91/689/CE.

14. Información relativa al transporte

Reglamento internacional de transporte

Información reguladora	Número ONU	Nombre de envío adecuado	Clase	Grupo de envasado	Etiqueta	Información adicional
Clase ADR/RID	No regulado.	-	-	-		-
Clase ADN	No regulado.	-	-	-		-
Clase IMDG	No regulado.	-	-	-		-
Clase IATA-DGR	No regulado.	-	-	-		-



15. Información reglamentaria

Reglamento de la UE

Uso del producto

: La clasificación y el etiquetado se han realizado de acuerdo con las normativas 67/548/EEC y 1999/45/EC de la UE, incluidas las enmiendas correspondientes y la información relativa al uso previsto.
- Aplicaciones de consumidor.

Frases de advertencia adicionales

: Ficha de datos de seguridad a la disposición del usuario profesional que la solicite.

Regulaciones nacionales

Holanda

Clase K : K3

CPR : No regulado.

SHHR : OZZ

<u>SIRE</u>	<u>Salud</u> 0
	<u>Inflamabilidad</u> 1
	<u>Reactividad</u> 0
	<u>Equipo</u> A

Alemania

Ordenanza sobre líquidos combustibles : Clase: Omitido

Clase de riesgo para el agua : 2

Reino Unido (RU)

Contenido de COV (uso al por menor) : No aplicable.

Contenido de COV (uso industrial) : Contiene 0 % peso de COV.

Símbolo(s) de peligro(s) :

Frases de riesgo : Este producto no está clasificado de acuerdo con las normativas EU.

16. Otra información

HISTORIAL

Fecha de emisión :
Fecha de la edición anterior : No aplicable.

Versión : 1.00

Nombre del responsable :

Aviso al lector

A nuestro leal saber y entender, la información aquí contenida es exacta. No obstante, ni el proveedor antedicho ni ninguna de sus subsidiarias asumen responsabilidad alguna en cuanto a la exactitud o integridad de la información contenida. La determinación final relativa a la idoneidad de todo material es responsabilidad exclusiva del usuario. Todos los materiales pueden presentar peligros desconocidos y deben usarse con cautela. Si bien aquí se describen ciertos peligros, no podemos garantizar que éstos sean los únicos que existan.

6.1.3 TABLA DE RESISTENCIA QUÍMICA

TABLA DE RESISTENCIA QUÍMICA



PELIGRO

Las variaciones en el comportamiento químico del producto durante el manejo debido a factores tales como temperatura, presión y concentración pueden causar el fallo del equipo, a pesar de haber pasado una prueba inicial.

SE PUEDEN PRODUCIR LESIONES GRAVES !

Ponga especial cuidado y utilice protección personal cuando maneje productos químicos.

UTILICE SOLAMENTE COMBINACIONES DE MATERIALES Y FLUIDOS MARCADOS CON



- █ Sin efecto
 - █ Efecto menor
 - █ Efecto moderado
 - █ Efecto severo
 - █ Sin datos
- 1 Satisfactorio hasta 22 ° C
2 Satisfactorio hasta 48 ° C



PRECAUCIÓN

La información contenida en esta tabla ha sido obtenida de fuentes respetables y debe ser utilizada solamente como una guía al seleccionar el equipo para una compatibilidad apropiada.

Antes de la instalación definitiva del equipo, debe ser probado con los productos a tratar y de conformidad con las condiciones específicas de su instalación.

Los clasificación del comportamiento químico contenidos en la presente tabla se basan en un periodo de exposición de 48 horas. No existe conocimiento de posibles efectos una vez transcurrido este periodo. No se garantiza expresamente ni nos hacemos responsables de que la información de esta tabla sea exacta y completa ni de que cualquier material sea adecuado para cualquier servicio.

Materiales :

Delrin, Hypalon, Hytrel, Teflon, Vitón : Son marcas registradas de E. I. du Pont de Nemours & Co.
Hastelloy C : Marca registrada de Cabot Corporation
Kef F : Marca registrada de 3M Co.
Kynar : Marca registrada de Pennwalt Corp.
Noryl : Marca registrada de General Electric Co.
Ryton : Marca registrada de Phillips Petroleum Co.
Tygon : Marca registrada de Norton Co.



Proindecsa
Proyectos y Delegaciones, S.C.

Polig. Ind. Oeste, Avda. Pral. Parc. 25/12
30.169 SAN GINES - MURCIA, Spain
Tf: 34-068.68.08.52 Fax 34-068.68.09.84
e-mail: proindecsa @ reteamail.es

Delegación Centro :
Apartado de Correos nº. 35
28804 AJALVIR (Madrid)
Tf. (078) 00.06.83 Fax (049) 32.78.61
e-mail: proindecSAMADIA @ reteamail.es



② PRODUCTO QUÍMICO	Plásticos												Elastómeros			Metales			No Metales															
	ABS, plástico	Acetato (Destin*)	CPVC	Epoxy	Hydrex	LDPE	Nylon*	Policloroalquilo	Polipropileno	PPS (Raton*)	PTFE (Teflón*)	PVC	PVDF (Kynar*)	Silicona N (Nitro)	EPDM	Hypalon*	Kel F*	Goma natural	Neopreno	Silicona	Tygon*	Victrex*	Ac. Inox. 304	Ac. inox. 316	Aluminio	Latón	Bronce	Cáncerter 20	Fundición hierro	Cobre	Haste Mo/C*	Tiánio	Cámaron, grafito	Cámarica Al2O3
1 Satisfactorio hasta 22 ° C																																		
2 Satisfactorio hasta 48 ° C																																		
ACEITES																																		
Anilina																																		
Ballena																																		
Cacahuate																																		
Cachalote																																		
Canela																																		
Castor																																		
Cereal																																		
Cítrico																																		
Clavo																																		
Coco																																		
Colza																																		
Creosota																																		
Curtidos																																		
Diesel Fuel (20,30,40,50)																																		
Fuel (1,2,3,5A,5B,6)																																		
Gengibre																																		
Glicina																																		
Hidráulico (Petroleo)																																		
Hidráulico (Sintetico)																																		
Hígado de bacalao																																		
Laurel																																		
Limon																																		
Linaza																																		
Mataalauva																																		
Menta																																		
Mineral																																		
Naranja																																		
Oliva																																		
Palma																																		
Piña																																		
Resina																																		
Semilla de algodón																																		
Semilla de Sesamo																																		
Silicona																																		
Transformador																																		
Turbina																																		
Acetaldehido																																		
Acetamida																																		
Acetato, Disolvente																																		
Acético, ácido																																		
Acético, ácido 20%																																		
Acético, ácido 80%																																		
Acetico, ácido glacial																																		
Acetico, anhidrido																																		
Acetil, bromuro																																		
Acetil, cloruro (seco)																																		
Acetileno																																		
Acetona																																		
Acrilonitrilo																																		
Adipico, ácido																																		
Agua, ácida, mina																																		
Aqua blanca																																		
Aqua, de mar																																		
Aqua, desionizada																																		
Aqua, destilada																																		
Aqua Regia (80% HCl/20% HNO 3)																																		
Aqua, salada																																		
ALCOHOLÉS																																		
Amyl																																		
Benzil																																		
Butil																																		
Diacetona																																		
Etil																																		
Hexil																																		

6.2 EVACUACIÓN DE ACEITE Y PROTECCIÓN DE DISPOSITIVOS

Para la recogida de aceite quemado fue necesaria la ranuración de la bancada de la máquina de leva. Estos surcos evacuan el aceite hasta una bandeja de recogida del flujo, mediante una pequeña inclinación en la máquina, que cada cierto tiempo es necesario vaciar.

Con el fin de evitar el contacto del aceite lubricante con los acelerómetros y el variador de frecuencia, ya que estos dos dispositivos se encuentran muy cercanos a la zona lubricada, se les colocó un plástico protector a cada uno de ellos.

6.3 SUJECCIÓN DE LAS PROBETAS: CONFIGURACIÓN DE LAS MORDAZAS

La sujeción de la probeta se realiza mediante dos mordazas, una asemeja un empotramiento, y la otra a una articulación. Esta modelización se pone en práctica mediante la unión atornillada de dos partes metálicas.

En el caso del extremo empotrado los dos cuerpos de mordaza son rectos y las caras de unión paralelas, por lo que la fuerza de apriete de los tornillos será máxima, inhabilitando el movimiento totalmente de la probeta; pero en el caso del extremo de la mordaza curva, en la que sus partes móviles realizan el contacto mediante la tangencia de dos curvas, es complicado calcular la fuerza necesaria para no convertir el apoyo en un empotramiento también, además de que si la sujeción no es fuerte, debido a la excitación vibratoria puede variar sus condiciones al soltarse en mayor o menor medida los tornillos que la fijan.

Para asegurarnos de que las condiciones de apoyo en la mordaza curva son los adecuados y los mismos en todas las probetas, se insertarán unas tuercas de ancho 4 mm, el grosor de la probeta, entre los dos cuerpos de las mordazas, y se apretarán fuertemente los tornillos. De este modo se evitará que los tornillos se aflojen durante el desarrollo del ensayo y las condiciones en los apoyos sean las mismas para todas las probetas con igual geometría.

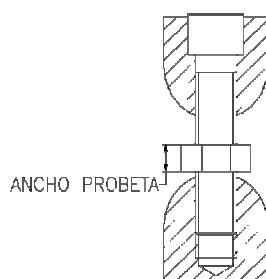


Figura 10: configuración mordaza curva



Escuela
Universitaria
Ingeniería
Técnica
Industrial
ZARAGOZA

ANEXO IV : CARACTERIZACIÓN DINÁMICA DE MATERIALES

Ensayo de fatiga en materiales poliméricos reforzados con nanopartículas mediante vibraciones mecánicas

AUTOR

Yasmina Lario Perea

DIRECTOR

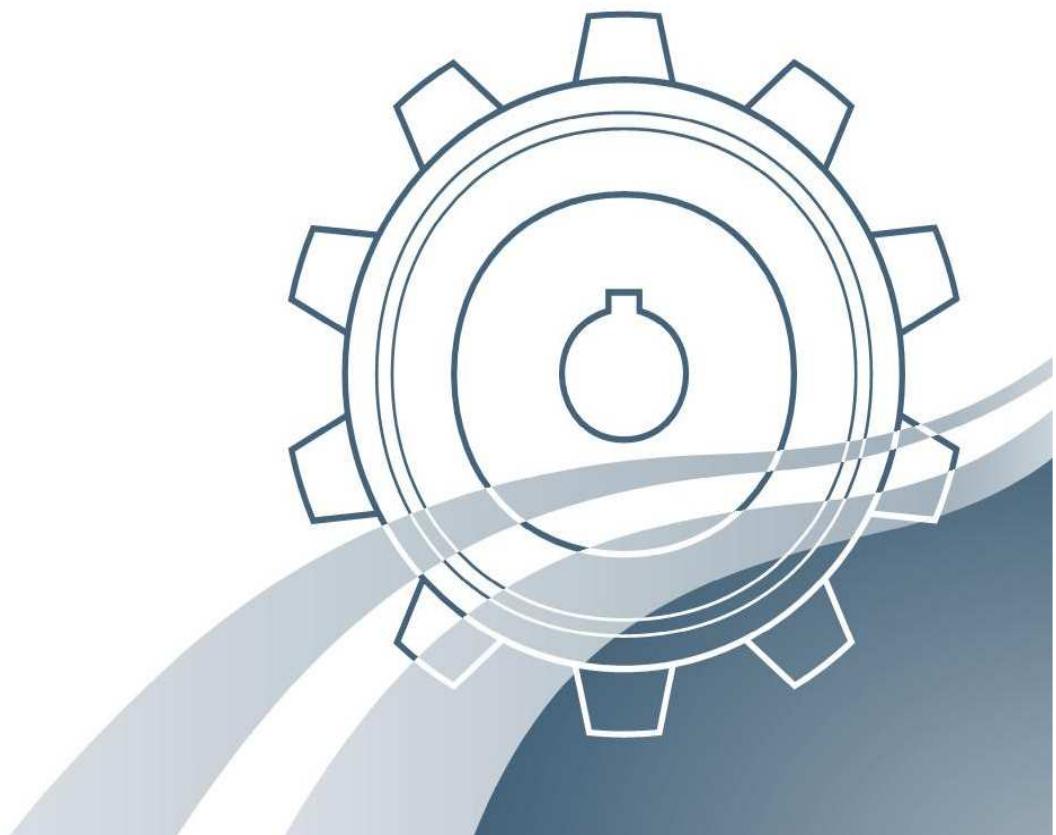
José Antonio Dieste Marcial

ESPECIALIDAD

Mecánica

CONVOCATORIA

Septiembre 2011



ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN	4
2. MASA	5
3. AMORTIGUAMIENTO	6
3.1. OBTENCIÓN DE LA GRÁFICA AMPLITUD-TIEMPO	6
3.1.1. PROCESADO EN MATHEMATICA 7.0	7
3.2. CÁLCULO DE PARÁMETROS INTERMEDIOS.....	9
3.2.1. COEFICIENTE DE AMORTIGUACIÓN VISCOSA	9
3.2.2. FRECUENCIA NATURAL.....	10
3.3. RELACIÓN CONSTANTE AMORTIGUAMIENTO – MASA ACELERÓMETRO	10
3.3.1. ESTUDIO EXPERIMENTAL: DEPENDENCIA DE LA MASA	11
3.4. CONSTANTE DE AMORTIGUAMIENTO	17
4. RIGIDEZ	18
5. FUERZA ARMÓNICA INDUCIDA.....	20
6. RESUMEN DE DATOS.....	21

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Decremento logarítmico</i>	9
<i>Figura 2: Periodo amortiguado</i>	10
<i>Figura 3: Acelerómetro adherido con cera de abeja</i>	10
<i>Figura 4: Estudio experimental, aumento de la masa puntual</i>	11
<i>Figura 5: C-m Poliamida 6 natural</i>	16
<i>Figura 6: C-m Poliamida 6 con 3% NTH.....</i>	16
<i>Figura 7: C-m Poliamida 6 con 6% NTH.....</i>	16
<i>Figura 8: C-m Pleximer</i>	16
<i>Figura 9: Comparación coeficientes de amortiguación.....</i>	17



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Masa de las probetas</i>	5
<i>Tabla 2: Datos C-m Poliamida 6 natural</i>	12
<i>Tabla 3: Datos C-m Poliamida 6 3%NTH</i>	13
<i>Tabla 4: Datos C-m Poliamida 6 6%NTH</i>	14
<i>Tabla 5: Datos C-m Pleximer</i>	15
<i>Tabla 6: Constante de amortiguamiento</i>	17
<i>Tabla 7: Valores de rigidez de las probetas.....</i>	19
<i>Tabla 8: Valores de F0</i>	20
<i>Tabla 9: Resumen de datos dinámicos</i>	21

1. INTRODUCCIÓN

El movimiento producido en la probeta durante la realización del ensayo será una vibración forzada con amortiguamiento.

Vibración porque va a resultar un movimiento cíclico de alta frecuencia y baja amplitud, forzada porque se obligará al material a realizar una oscilación determinada, y con amortiguamiento porque todo sistema real tiene innato una oposición al movimiento, disipando energía, y por tanto, amortiguando la vibración.

La descripción del movimiento que se lleva a cabo viene especificada de forma general mediante la siguiente ecuación diferencial:

$$F(t) = kx(t) + cx(t) + mx(t)$$

Siendo:

- $F(t)$: Fuerza armónica inducida
- $kx(t)$ Constante elástica por desplazamiento
- $cx(t)$ Amortiguación por velocidad
- $mx(t)$ Masa por aceleración

En este anexo se pretende determinar todos los parámetros necesarios para la descripción del movimiento que se llevará a cabo; que no son más que las características dinámicas de cada una de las probetas de ensayo.

Los datos a extraer serán masa, amortiguación, constante elástica y fuerza en función del tiempo; a continuación, se explica el procedimiento necesario, llevado a cabo para la obtención de cada uno de estos datos para cada uno de los elementos ensayados.



2. MASA

Se tomaron medidas de las masas de cada probeta a ensayar, con una báscula con tres decimales de precisión. Los datos obtenidos son:

MATERIAL	MASA (kg)
POLIAMIDA 6 NATURAL	0,009
POLIAMIDA 6 CON 3% NTH	0,009
POLIAMIDA 6 CON 6% NTH	0,009
PLEXIMER: POLIAMIDA 6 CON 30% NTH	0,0105

Tabla 1: Masa de las probetas

3. AMORTIGUAMIENTO

El amortiguamiento es la capacidad del sistema estudiado para disipar la energía cinética, cuantificado por la constante de amortiguamiento C , siendo sus unidades en S.I. newton por segundo entre metro ($N \cdot s/m$).

Para la obtención de este parámetro se utilizará la expresión: $C = 2 \cdot m \cdot \alpha \cdot \omega_n$

Dónde:

- C = constante de amortiguamiento
- α = coeficiente de amortiguación viscosa
- m = masa del sistema analizado
- ω_n = frecuencia natural del sistema

El cálculo del coeficiente de amortiguación viscosa y la frecuencia natural del sistema se explicará a continuación en los apartados 3.1. y 3.2.

3.1. OBTENCIÓN DE LA GRÁFICA AMPLITUD-TIEMPO

Para la determinación del amortiguamiento, será necesaria una medición temporal de vibración libre con una perturbación puntual.

El método ha utilizar constará en empotrar la probeta en un extremo, colocar el acelerómetro en el otro, aplicarle un desplazamiento vertical y dejarlo oscilar libremente.

De este procedimiento se obtendrá una gráfica de decaimiento exponencial de la amplitud que posteriormente se analizará para la obtención de los datos necesarios para el cálculo de la constante de amortiguamiento.

La medición obtenida por el DTECT X1 es una señal temporal de aceleración, imposible de integrar, para la obtención de la amplitud, en su software de trabajo, por lo que esta deberá ser procesada en un programa de cálculo.

El programa elegido es Mathematica 7.0, en el que se descargarán los datos de las medidas de aceleración ejecutadas por el DTECT X1.



3.1.1. PROCESADO EN MATHEMATICA 7.0

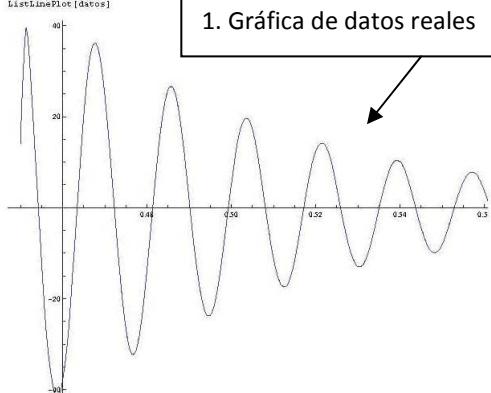
El objetivo de estos cálculos es convertir la gráfica aceleración-tiempo obtenida del equipo de medida de vibraciones, en una gráfica amplitud-tiempo. El procedimiento seguido es el siguiente:

1. Crear **hoja de cálculo con todo el rango de datos** de aceleración-tiempo, que definan la vibración puntual.
2. Crear **hoja de cálculo con los datos de aceleraciones máximas en valor absoluto**, obtenidos de todo el rango de datos.
3. Crear **hoja de cálculo con los datos del primer semiperiodo**.
4. **Importar todo el rango datos**.
5. Dibujar los datos importados para comprobar que la importación ha sido correcta.
6. **Importar datos del primer semiperiodo**.
7. Dibujar el primer semiperiodo de la señal de aceleración.
8. Realizar la **regresión de la curva con una función seno** ($f(x) = a \cdot \sin(b \cdot t + c)$).
9. Dibujar la regresión en todo el dominio del tiempo, comprobando que la curva obtenida corresponde a la oscilación sin amortiguamiento.
10. **Importar datos de aceleraciones máximas**.
11. Dibujar aceleraciones máximas para comprobar el decrecimiento.
12. Realizar la **regresión de la gráfica con una función exponencial** ($f(x) = d \cdot \text{Exp}(e \cdot t)$).
13. Dibujar la regresión en todo el dominio del tiempo.
14. **Definir una pareja de datos** reales aceleración-tiempo
15. Dibujar la función obtenida de la **multiplicación de la función seno y la exponencial**, comprobando que la gráfica obtenida es la regresión de la real medida con el equipo de medición DTECT X1. Se definirá cómo la función aceleración.
16. **Integrar la función aceleración dos veces**, para la obtención de la gráfica amplitud-tiempo.

A continuación se implementa un ejemplo de cálculo:

```
i[12]: datos = Import["C:\\\\usuarios\\\\Trabajo\\\\2011\\\\jamina\\\\prueba2\\\\nuevosdatos.xls"]
```

```
i[13]: datos = datos[[1]];
ListLinePlot[datos]
```



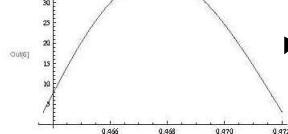
```
i[14]: datos = Import["C:\\\\usuarios\\\\Trabajo\\\\2011\\\\jamina\\\\prueba2\\\\unbucle.xls"];
```

```
i[15]: datos = datos[[1]];

```

3. Regresión:
Primer semiperíodo
Función senoidal

```
i[16]: ListLinePlot[datos]
```



2. Datos reales:
Primer semiperíodo

```
i[17]: funcioneseno = a Sin[b + t + c]
```

```
i[18]: a Sin[b + t + c]
```

```
i[19]: Needs["NonlinearRegression`"]
NonlinearRegress[datos, funcioneseno, {a, b, c}, t, WorkingPrecision -> 50]
```

```
i[20]: General::obspkg:
NonlinearRegression` is now obsolete. The legacy version being loaded may conflict with current
Mathematica functionality. See the Compatibility Guide for updating information. >>
```

```
i[21]: FindFit::prec:
The precision of the data and model function (MachinePrecision) is less than the specified WorkingPrecision (50).
>>
```

```
i[22]: {BestFitParameters -> {a -> 36.07684525660819287111793558793287919492435657134876508411866962133762,
b -> 357.20947687210637488445861426127731240401106179832945370465797162143128364421285465648 ,c -> -83.83487853707598953704657972512431283644212854656483088331367 ,
```

```
i[23]: ParameterTable[
```

	DE	Sum of Squares	Mean Sq
Model	3	17707.3	5773.45
ANOVATable -> FTest	22	6.34008	0.276694
Uncorrected Total	26	17176.7	
Corrected Total	25	3051.41	

```
i[24]: AsymptoticCorrelationMatrix -> {
```

```
i[25]: FitCurvatureTable -> {
```

```
i[26]: MaxCurvature -> {
```

```
i[27]: MaxParameterEffects -> {
```

```
i[28]: 95 % Confidence Region -> {
```

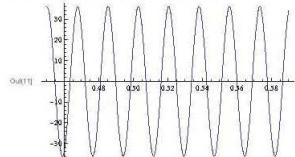
```
i[29]:
```

```
i[30]: a = 36.07684525660819287111793558793287919492435657134876508411866962133762 ;
```

```
i[31]: b = 357.20947687210637488445861426127731240401106179832945370465797162143128364421285465648 ,
```

```
i[32]: c = -83.83487853707598953704657972512431283644212854656483088331367 ;
```

```
i[11]: Plot[funcioneseno, {t, 0.45, 0.59}]
```



4. Onda obtenida por regresión sin amortiguamiento
Función senoidal

```
i[12]: funcioneseno
```

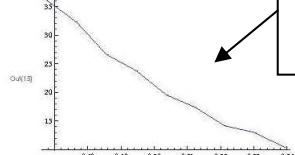
```
i[13]: Sin[a, b t + c]
```

```
i[14]: datos = Import["C:\\\\usuarios\\\\Trabajo\\\\2011\\\\jamina\\\\prueba2\\\\crestas.xls"];
```

```
i[15]: datos = datos[[1]];

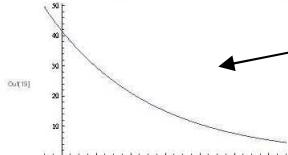
```

```
i[16]: ListLinePlot[datos]
```



5. Datos reales:
Decrecimiento de la señal

```
i[17]: Plot[106.363 * Exp[-17.045608494911318 * t], {t, 0.45, 0.59}]
```



6. Regresión:
Picos de amplitud
Función exponencial

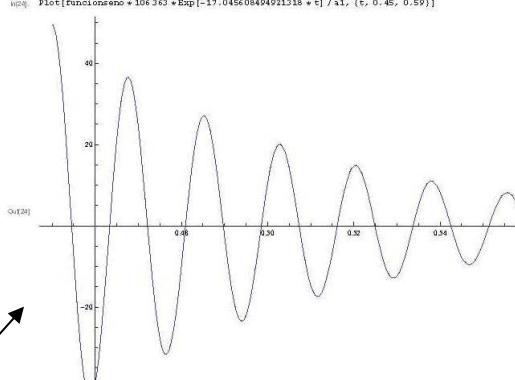
```
i[18]: funcioneseno = (d + Exp[e + t])
```

```
i[19]: d + Exp[e + t]
```

```
i[20]: Needs["NonlinearRegression`"]
NonlinearModelFit[datos, funcioneseno, {d, e}, t]
```

```
i[21]: FittedModel[106.363 e^-17.0456 t]
```

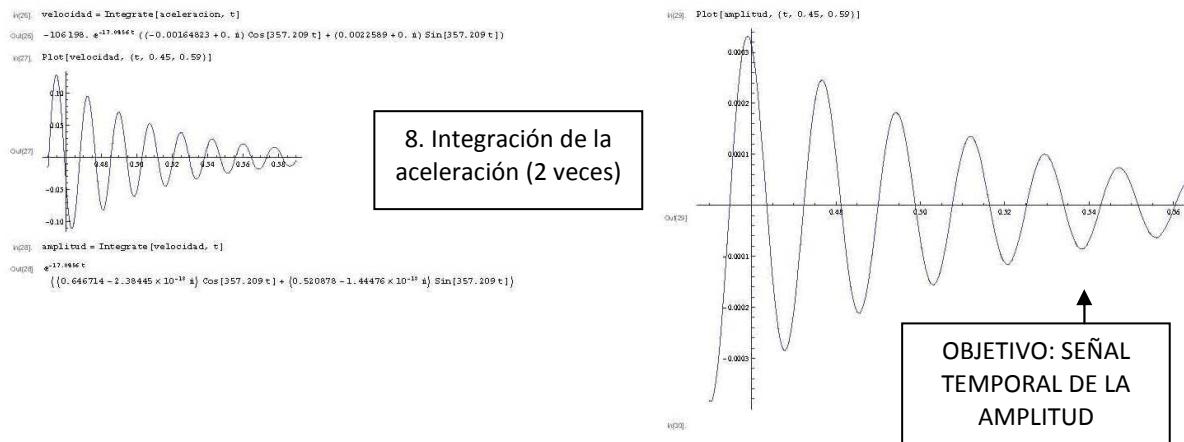
7. Regresión:
Señal aceleración real



```
i[22]: aceleracion = funcioneseno + 106.363 * Exp[-17.045608494911318 * t] / a1
```

```
i[23]: -106.198 e^-17.0456 t Sin[83.8348785370759895370465797261143128364422854656483088331367 -
```

```
i[24]: 357.209476872106374884458614261277312404011061798329453027321 ;
```



3.2. CÁLCULO DE PARÁMETROS INTERMEDIOS

Para obtener el valor de la constante de amortiguamiento según la ecuación descrita al inicio de este anexo, es necesario el conocimiento de los valores de amortiguación viscosa (α) y frecuencia natural de la probeta (ω_n) cuando está empotrada.

Estos valores se obtienen experimentalmente de las gráficas de amplitud-tiempo obtenidas.

3.2.1. COEFICIENTE DE AMORTIGUACIÓN VISCOA

En primer lugar se realizará un cálculo de la disminución de la amplitud mediante su decremento logarítmico. Se deberán tomar dos valores de amplitudes “pico” consecutivas (fig.1) y seguir la siguiente expresión: $\delta = \ln \frac{X_p}{X_{p+1}}$

Dividiendo el decremento logarítmico (δ) entre 2π obtendremos en valor de amortiguación viscosa.

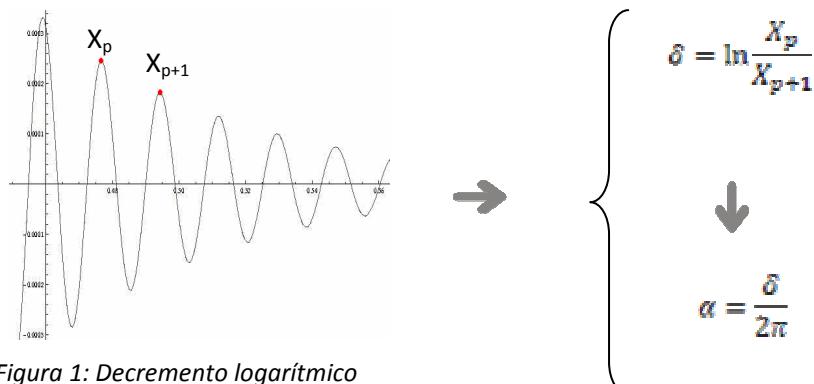


Figura 1: Decremento logarítmico

3.2.2. FRECUENCIA NATURAL

De la gráfica amplitud-tiempo, podremos obtener el periodo amortiguado (*fig.2*), que es el tiempo en que el sistema tarda en realizar una oscilación, este parámetro nos conducirá a la frecuencia natural mediante los siguientes cálculos.

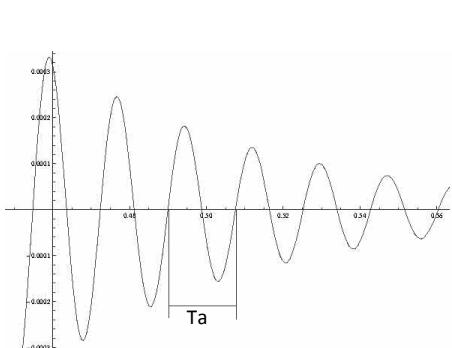


Figura 2: Periodo amortiguado

Frecuencia amortiguada:

$$\omega_a = \frac{2\pi}{T_a}$$

↓

Frecuencia natural

$$\omega_n = \frac{\omega_a}{\sqrt{1 - \alpha^2}}$$

Para la obtención de la frecuencia natural será necesaria la utilización del coeficiente de amortiguación viscoso calculado en el apartado anterior.

3.3. RELACIÓN CONSTANTE AMORTIGUAMIENTO – MASA ACCELERÓMETRO

Debido al pequeño peso de las probetas ensayadas, la masa del acelerómetro utilizado para la obtención de la característica dinámica de amortiguamiento, supone aproximadamente un 70% del peso del sistema analizado, por lo que influirá directamente en los datos reflejados.

Cómo es totalmente necesario el uso del acelerómetro adherido con cera de abeja descrito en la memoria, de un peso de 6,5 gramos, el conjunto, para llegar a la obtención de la constante de amortiguamiento real de la probeta; se realizó el siguiente estudio experimental para comprobar la influencia de colocar una masa puntual en el extremo, y conseguir el dato correcto.



Figura 3: Acelerómetro adherido con cera de abeja



Este estudio experimental se explica detalladamente a continuación, reflejando todos los datos necesarios para la realización y los resultados obtenidos.

3.3.1. ESTUDIO EXPERIMENTAL: DEPENDENCIA DE LA MASA

Para determinar la relación entre la constante de amortiguamiento y la masa puntual colocada en el extremo de la probeta, se realizaron cinco medidas en vibración libre y se calcularon los coeficientes de amortiguamiento para diferentes valores de masa puntual, según los procedimientos anteriormente descritos.

Las masas puntuales incrementadas se consiguieron a base de trozos de cera de abeja y piezas metálicas que se iban adhiriendo al sistema previamente pesados.

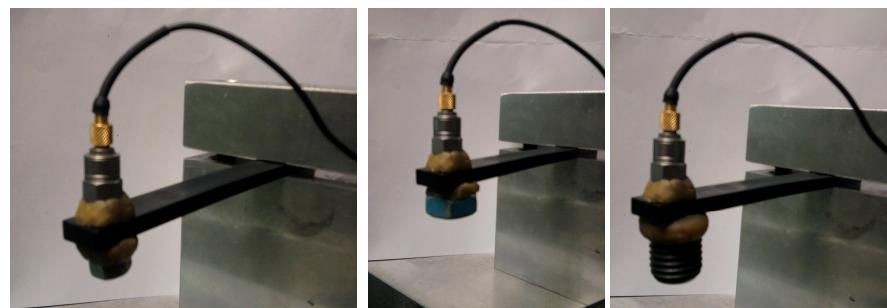


Figura 4: Estudio experimental, aumento de la masa puntual

Los datos y las gráficas obtenidas se presentan a continuación para cada tipo de material y probeta, en las siguientes tablas:

MATERIAL: POLIAMIDA 6 natural			MASA PROBETA	9g
M PUNTUAL (g)	M TOTAL (kg)	Grafica a(t) g	Gráfica x(t) g·s ²	C (N·s/m)
6,5	0,0155			0,3294
9	0,018			0,2837
9,5	0,0185			0,2911
17	0,026			0,3018
25,5	0,0345			0,3487

Tabla 2: Datos C-m Poliamida 6 natural



MATERIAL: POLIAMIDA 6 3%NTH				MASA PROBETA	9g
M PUNTUAL (g)	M TOTAL (kg)	Grafica a(t) g	Gráfica x(t) g·s ²	C (N·s/m)	
6,5	0,0155			0,2697	
9	0,018			0,3057	
9,5	0,0185			0,3022	
17	0,026			0,2757	
25,5	0,0345			0,3783	

Tabla 3: Datos C-m Poliamida 6 3% NTH

MATERIAL: POLIAMIDA 6 6%NTH			MASA PROBETA	9g
M PUNTUAL (g)	M TOTAL (kg)	Grafica a(t) g	Gráfica x(t) g·s ²	C (N·s/m)
6,5	0,0155			0,2738
9	0,018			0,2881
9,5	0,0185			0,2849
17	0,026			0,3056
25,5	0,0345			0,3323

Tabla 4: Datos C-m Poliamida 6 6% NTH



MATERIAL: PLEXIMER			MASA PROBETA	10,5g
M PUNTUAL (g)	M TOTAL (kg)	Grafica a(t) g	Gráfica x(t) g·s ²	C (N·s/m)
6,5	0,017			0,3753
9	0,0195			0,3723
9,5	0,02			0,3834
17	0,0275			0,4499
25,5	0,036			0,5009

Tabla 5: Datos C-m Pleximer

La regresión de los datos extraídos, enfrentando amortiguamiento - masa, proporciona la relación entre estas propiedades, de la que podremos obtener la constante de amortiguamiento real, es decir la constante C para un valor de masa igual a la de la probeta.

Para visualizar la relación de la masa total del sistema con la constante de amortiguamiento se presentan las siguientes gráficas C-m, con su correspondiente regresión, y obtención del parámetro C, en unidades N·s/m para cada una de las probetas sin masa puntual en su extremo.

Se ha comprobado mediante el parámetro R^2 que la regresión es aceptable y en algunos casos se han omitido datos debido a su incoherencia, por la posibilidad de resultar erróneos por fallo de medición o cálculo.

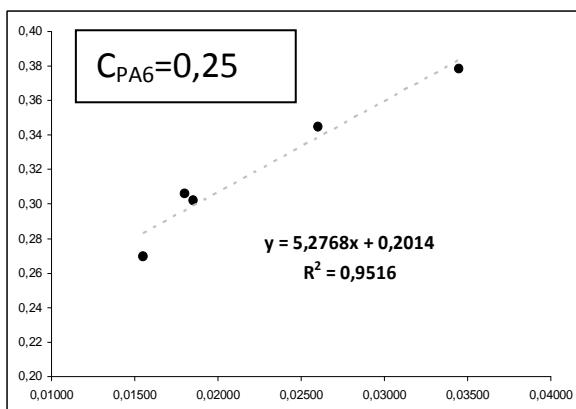


Figura 5: C-m Poliamida 6 natural

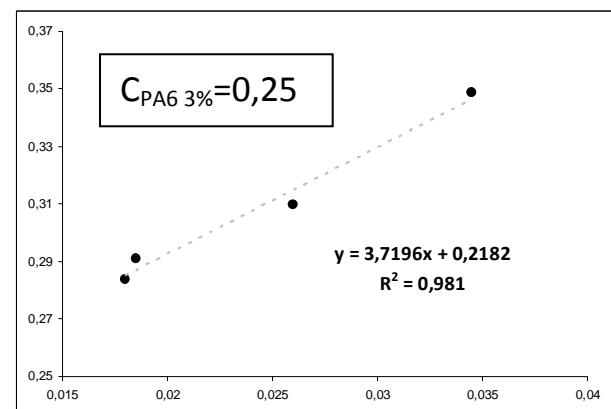


Figura 6: C-m Poliamida 6 con 3% NTH

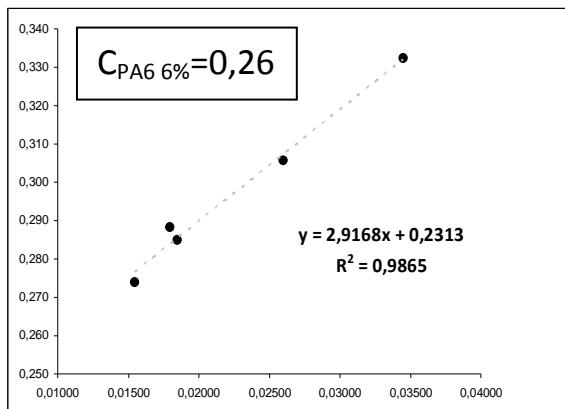


Figura 7: C-m Poliamida 6 con 6% NTH

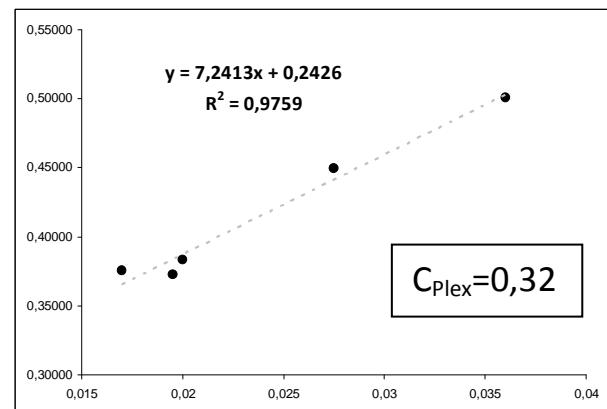


Figura 8: C-m Pleximer



2.3.1.1. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

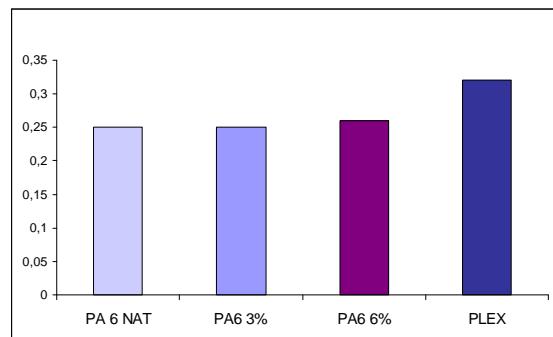


Figura 9: Comparación coeficientes de amortiguación

Podemos deducir que la constante de amortiguamiento aumenta a medida que se incrementa la concentración de nanotubos de halloysita, pero para variaciones muy pequeñas se puede asimilar constante. En el caso del Pleximer con un 30% de nanotubos, su constante de amortiguación es mayor que el resto, ya que su concentración de nanopartículas también lo es.

3.4. CONSTANTE DE AMORTIGUAMIENTO

Los resultados experimentales de amortiguamiento obtenidos, para cada uno de los materiales ensayados, que se tomarán como característica dinámica de cada una de las probetas, se presentan a continuación.

Las unidades del coeficiente de amortiguamiento se reflejan en S.I., porque aunque las gráficas obtenidas de aceleración se cuantifiquen en gramos, no afectará debido que en los cálculos se realiza un cociente de las amplitudes.

MATERIAL	C (N·s/m)
POLIAMIDA 6 NATURAL	0,25
POLIAMIDA 6 3% NTH	0,25
POLIAMIDA 6 6% NTH	0,26
PLEXIMER	0,32

Tabla 6: Constante de amortiguamiento

4. RIGIDEZ

Los coeficientes de rigidez son magnitudes físicas que cuantifican la rigidez de un elemento resistente bajo diversas configuraciones de carga. Normalmente la rigidez se calcula como la razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento obtenido por la aplicación de esa fuerza.

Para barras o vigas se habla así de rigidez axial, rigidez flexional, rigidez torsional, rigidez frente a esfuerzos cortantes, etc.

Las probetas utilizadas para el ensayo se pueden comparar a pequeñas vigas trabajando a flexión, ya que este es el esfuerzo al que están sometidas, por lo que será necesario el cálculo del módulo de rigidez a flexión de las probetas.

Este parámetro vendrá condicionado por las características del material y por las condiciones de apoyo que presente.

La rigidez a flexión experimental de las probetas del proyecto viene determinada por la siguiente expresión:

$$K = m \cdot \omega_n^2$$

Siendo:

- m = Masa de la probeta.
- ω_n = Frecuencia natural de la probeta en las condiciones del ensayo.
- K = Rigidez.

La frecuencia natural para cada uno de los materiales será la obtenida en el análisis modal realizado con Ansys Workbench 12.1, que se detalla en el apartado *4. Análisis dinámico de materiales*, más concretamente en el análisis modal de cada una de las probetas del documento de memoria, y con las condiciones de apoyo a las que está sometida la probeta en el ensayo.

De este modo la rigidez quedará definida para todas las probetas, detallándose en particular para cada una en la siguiente tabla:



MATERIAL	m(kg)	W _n (Hz)	W _n (rad/s)	RIGIDEZ K (N/m)
POLIAMIDA 6 NATURAL	0,009	137,40	863,31	6707,74
POLIAMIDA 6 3% NTH	0,009	149,92	941,98	7985,94
POLIAMIDA 6 6% NTH	0,009	164,92	1036,22	9663,77
PLEXIMER	0,0105	151,75	953,47	8181,95

Tabla 7: Valores de rigidez de las probetas

5. FUERZA ARMÓNICA INDUCIDA

La fuerza armónica necesaria para realizar la vibración forzada en la probeta vendrá dada por una función senoidal del tipo:

Siendo

$$F(t) = F_0 \cdot \operatorname{sen}(\omega \cdot t)$$

F_0 : Fuerza necesaria para crear en la probeta un desplazamiento vertical de 10 mm (N).

ω : Frecuencia a la que se realiza el esfuerzo (rad/s).

Cómo se ha calculado en el apartado 4.1.1.2. *Cálculo de frecuencia y carga*, del documento de memoria, la frecuencia a la que se producirá la fuerza inducida, vendrá dada por el giro del motor. Por ello su valor será de 237,085 rad/s para todas las probetas.

Pero la fuerza necesaria para realizar en ellas un desplazamiento de 1 cm cuando estén alojadas en la máquina de ensayo; vendrá determinada por cada uno de los materiales.

Para la obtención del valor particular de F_0 para cada una de las probetas se utilizó la fórmula general de la rigidez, razón entre una fuerza aplicada y el desplazamiento obtenido por la aplicación de esa fuerza.

Siendo:

$$K_i = \frac{F_i}{\delta_i}$$

K_i = rigidez anteriormente obtenida (N/m)

δ_i = deformación inducida en la probeta (0,01m)

F_i = fuerza aplicada para conseguir el desplazamiento de 1cm.

De este modo se cuantificó F_0 detallado a continuación para cada una de las probetas:

MATERIAL	K(N/m)	F ₀ (N)
POLIAMIDA 6 NATURAL	6707,74	67,08
POLIAMIDA 6 3%NTH	7985,94	79,86
POLIAMIDA 6 6%NTH	9663,77	96,64
PLEXIMER	8181,95	81,82

Tabla 8: Valores de F_0



6. RESUMEN DE DATOS

MATERIAL	m (kg)	F0 (N)	C (N·s/m)	K (N/m)
POLIAMIDA 6 NATURAL	0,009	67,08	0,25	6707,74
POLIAMIDA 6 3% NTH	0,009	79,86	0,25	7985,94
POLIAMIDA 6 6% NTH	0,009	96,64	0,26	9663,77
PLEXIMER	0,0105	81,82	0,32	8181,95

Tabla 9: Resumen de datos dinámicos

Con estos cuatro parámetros quedará definida la ecuación diferencial del movimiento vibratorio para todos los materiales.