



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DIVISIÓN DE INGENIERIA MECÁNICA E INDUSTRIAL

**VALIDACIÓN DE COMPONENTES DE PBT QUE CONTENGAN
ALOJAMIENTOS DE TORNILLOS.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

VÍCTOR HUGO MONTIEL ZAMBRANO

DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. MIGUEL ANGEL CRUZ MORALES



MEXICO. D.F.

2014

Índice.

Capítulo 1. Introducción.	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Descripción del problema.	1
1.3 Objetivo general.	2
1.3.1 Objetivo particular.	2
1.4 Hipótesis.	2
Capítulo 2. Marco teórico.	3
2.1 Sujeción.	3
2.1.1 Tornillos.	3
2.1.2 Alojamientos.	4
2.1.3 Alojamiento para tornillo autoroscante.	6
2.1.4 Medición de par de apriete en ensambles de tornillos.	7
2.2 Polibutilen tereftalato (PBT).	9
2.2.1 Propiedades del material.	11
2.3 Proceso de moldeo de inyección del PBT.	13
2.3.1 Proceso de secado.	13
2.3.2 Proceso de inyección.	14
2.4 Efectos en los componentes de PBT en el proceso de inyección.	15
2.4.1 Degradación del material.	15
2.4.2 Línea de unión o de soldadura.	16
Capítulo 3. Prueba en alojamientos para tornillos.	20
3.1 Descripción de la prueba de la empresa del sector automotriz.	21
3.2 Descripción de la prueba realizada en esta tesis.	21
3.2.1 Requerimientos de la prueba.	22
3.2.2 Consideraciones para el desarrollo de la prueba.	22
3.2.3 Máquina universal de pruebas mecánicas.	24
3.2.4 Desarrollo de la prueba.	24
3.2.5 Instrucciones de la máquina para la prueba.	26
3.3 Diseño y fabricación del herramental.	27
3.3.1 Consideraciones para la fabricación del herramental.	27
3.3.2 Maquinas: torno y fresadora.	28
3.3.3 Preparación para el maquinado.	29
3.3.4 Ruta de trabajo.	29

Capítulo 4 Modelo teórico.	31
4.1 Distribuciones de esfuerzos en el perno y el alojamiento.	33
4.2 Análisis de cilindros de pared gruesa.	34
4.3 Ecuaciones para el cálculo de esfuerzo y deformación.	36
Capítulo 5. Resultados.	40
5.1 Memoria de cálculo.	40
5.2 Resultados.	44
Capítulo 6. Análisis de resultados.	77
6.1 Análisis por componente.	77
6.1.1 Carga máxima - F_{max}	78
6.1.2 Desplazamiento - D_{max}	79
6.1.3 Diámetros.	80
6.1.4 Interferencia perimetral - i	81
6.1.5 Esfuerzos.	82
6.1.6 Deformación	83
6.2 Análisis esfuerzo vs deformación.	84
Capítulo 7. Conclusiones.	87
Anexo. Planos del herramental.	89
Referencias.	95

Capítulo 1 Introducción

1.1 Antecedentes

En las actividades de diseño, manufactura y ensamble, se requiere hoy en día, la especialización de equipos y personal para satisfacer los requerimientos del cliente, por lo que, cualquier estudio, prueba o tecnología propia, será una fuente importante de información para el desarrollo de un producto.

Actualmente, existen procedimientos para medir la fuerza de tracción en tornillos roscados y autoroscantes, pero existen pocos procedimientos para evaluar el comportamiento del componente plástico donde se ensambla, dicho esto, en materiales plásticos cada componente presenta propiedades mecánicas diferentes debido a:

- Variaciones de lote a lote del material.
- Momento en que se realizó el proceso (medio ambiente).
- Variables de procesamiento del material.

El realizar una prueba en un alojamiento para tornillo, proporciona información sobre el comportamiento de las propiedades mecánicas y procesamiento del componente. En el alojamiento se presenta una alta concentración de esfuerzos debido a:

- 1) Geometría del componente.
- 2) Cargas externas aplicadas al componente.
- 3) Condiciones de procesamiento del material.
- 4) Diseño del molde.

Una prueba en un alojamiento, evita el rechazo del producto, al saber y corregir errores, al detectar un componente defectuoso se detiene el ciclo de vida del componente, evitando que llegue al cliente final, con esto evitar generar elevados costos de producción, por lo que la prueba en alojamientos tiene la finalidad de establecer un proceso de calidad.

1.2 Descripción del problema

Una empresa del sector automotriz informó a su proveedor que los componentes que estaba produciendo están fallando en uno de los alojamientos del componente que está inyectando.

Los componentes se producen por el proceso de inyección de plástico convencional con polibutilen tereftalato (PBT) con 30% de fibra de vidrio, la empresa en su proceso de calidad para liberar los componentes que tienen alojamientos para tornillos, hace una prueba en el alojamiento.

La prueba consiste en introducir un perno cónico sobre el alojamiento a una velocidad de 50 [mm/min], el perno cónico se desplaza axialmente hasta el punto de fractura del alojamiento y sólo registra la carga máxima, pero no aporta más información acerca de la prueba.

La prueba del alojamiento para tornillos que presenta esta tesis con los valores de carga máxima y desplazamiento obtenidos con la máquina universal de pruebas mecánicas busca llegar al siguiente objetivo general y particular que a continuación se presentan:

1.3 Objetivo de la tesis.

- Validación de la prueba de alojamientos para la liberación de componentes de PBT con alojamientos para tornillos.

1.4 Objetivos particulares.

- Establecer un modelo teórico para validar los resultados de la prueba de los alojamientos.
- Entender los beneficios y desventajas de la prueba de validación.
- Comparación del desempeño de los diferentes alojamientos que tiene un componente.
- Determinación de la zona de falla en el alojamiento.

1.5 Hipótesis

- La fuerza axial que soportará el alojamiento depende de la deformación.

Capítulo 2 Marco teórico.

2.1 Sujeción

Para la sujeción, los componentes plásticos son los de mayor ensamble con otro o con el mismo material, es un proceso secundario dentro de una operación de manufactura, el factor más importante de la sujeción es la funcionalidad y la habilidad para desmontar el componente, será importante minimizar el número de partes, para fabricar un producto. Los componentes plásticos en su mayoría son fabricados por procesos de inyección con condiciones idealmente adecuadas para el diseño del ensamble.

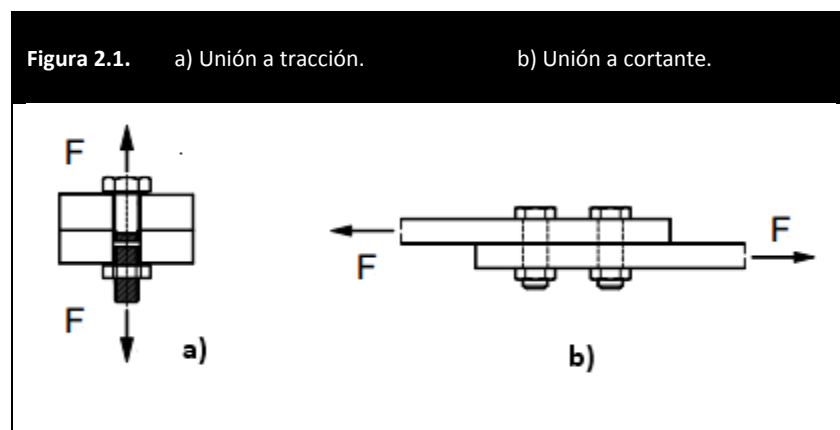
Desde el proceso de inyección es posible producir componentes incorporando mecanismos para su sujeción, técnicas tales como:

- I) Ajustes por interferencia.
- II) Técnicas de sujeción mecánica, por ej. tornillo-alojamiento.
- III) Técnicas de soldadura.
- IV) Unión con adhesivos y solventes.

2.1.1. Tornillos.

Los tornillos tienen como finalidad, fijar de manera semi-permanente a los componentes del ensamble en una determinada posición y su apriete debe prevenir un aflojamiento por factores externos como vibraciones, impactos o ciclos térmicos. Las uniones ensambladas por tornillos dependen de la dirección de la fuerza externa que actúa sobre el ensamble, de dos maneras como se muestra en la figura 2.1.

- Unión a tracción: Es cuando la acción de las fuerzas del ensamble es paralela al eje del tornillo, lo cual produce que el tornillo trabaje a tensión.
- Unión a cortante: Es cuando las fuerzas de acción se presentan de manera perpendicular al eje del tornillo, lo que produce que el tornillo se encuentre sometido a un trabajo cortante.



La fuerza de apriete expresada normalmente en Newton fuerza [N_f] en un ensamble, se da cuando la unión es apretada ya sea girando el tornillo o la tuerca, esto genera tracción sobre el tornillo, llamada también precarga, cuando se adiciona una carga externa el tornillo sufre un estiramiento que provoca una pérdida de fuerza de apriete.

Gran parte de la fuerza de apriete que se utiliza es para vencer la fuerza de fricción la cual se produce al entrar en contacto la cuerda del tornillo con la de la tuerca y el contacto de la cabeza del tornillo o tuerca con la superficie de los componentes del ensamble, ya que la fricción es una resistencia al movimiento por lo que es importante mantener la unión sin que se presente pérdida de fuerza de apriete.

Al apretar cualquiera de estos elementos induce a un esfuerzo torsional, esta fuerza llamada par de apriete (torque), expresada en [Nm], se aprovecha para vencer la fricción de contacto entre cuerdas 40%, la de superficies de contacto 50% y la tensión del tornillo 10%.

Los factores más importantes dentro de la sujeción de un tornillo son.

- Par de apriete.
- Axialidad.
- Diámetro del tornillo.
- Acabado superficial.
- Fuerza de apriete.
- Grado del tornillo.
- Instalación.
- Lubricación.
- Corrosión.
- Cuerdas.

Después de que la unión ha sido apretada por un par de apriete dinámico, es decir por algún tipo de herramienta eléctrica o neumática, se da un par de apriete estático medido a través de un torquímetro, el cual consiste en hacer girar cinco grados la tuerca o tornillo a manera de apretar. No existe un factor de correlación directa o fórmula con la cual se pueda determinar la correlación entre un par de apriete dinámico y estático.

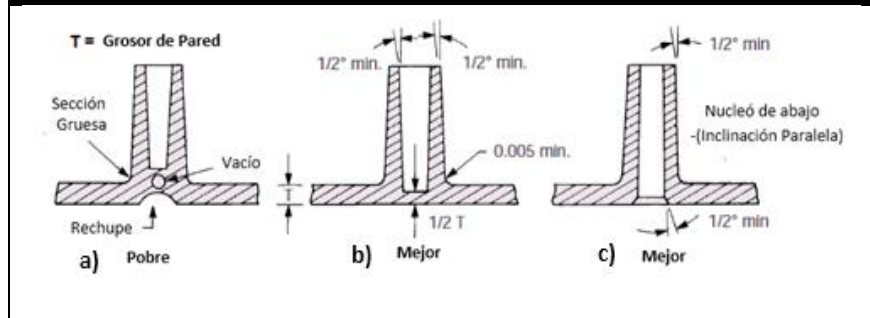
2.1.2. Alojamientos.

Los alojamientos son protuberancias de uso frecuente como montaje de puntos de fijación para un ensamble, la figura 2.2 muestra que se debe tomar en cuenta al diseñar componentes de plástico.

- La altura del alojamiento no debe ser más de dos veces el diámetro.
- El espesor de la pared del alojamiento debe ser menor que el espesor de pared nominal.
- Dar radios al fondo del alojamiento y donde se unen las secciones de pared para eliminar esquinas agudas, para facilitar su llenado y reducir al mínimo las tendencias de rechupes.
- Proporcionar el ángulo de salida lo suficiente para asegurar su fácil expulsión.

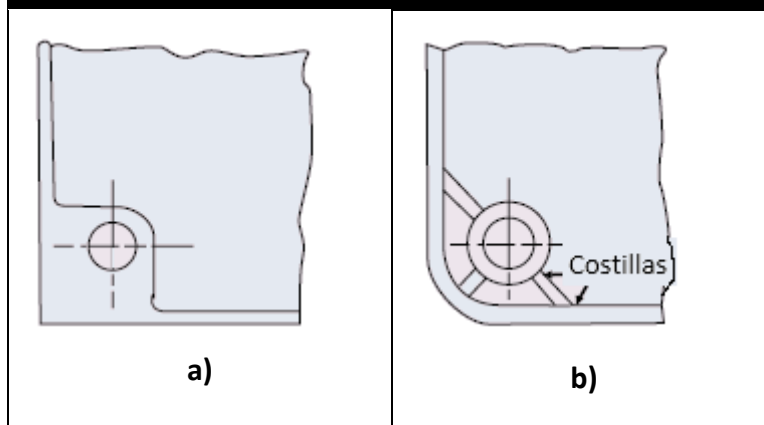
- Para eliminar problemas en alojamientos o espárragos largos, debe haber un adecuado venteo para liberar el aire en el fondo de los orificios de la cavidad en los que se moldean.

Figura 2.2. a) Marcas de rechupes, huecos. b) Angulo de salida. c) Espesor de pared más delgado que el espesor de pared nominal.



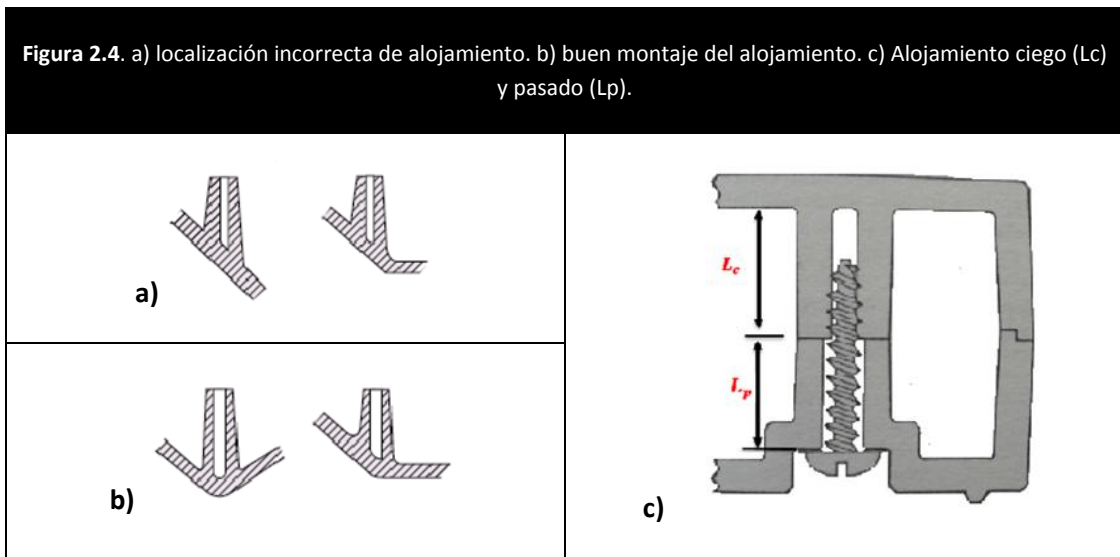
- La figura 2.3 muestra alojamientos situados junto a la pared lateral de un componente, lo viable será evitar secciones de pared gruesa.
- Use costillas para reforzar los alojamientos, para fortalecer el flujo de material hacia el alojamiento, como lo muestra la figura 2.3.b.

Figura 2.3. a) Incorrecto diseño. b) Correcto diseño reforzado con costillas.



Alojamiento ciego.

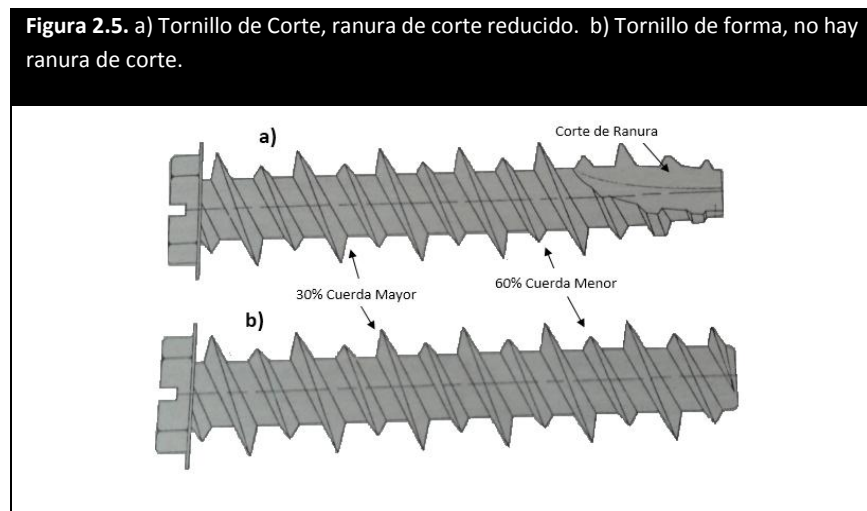
La figura 2.4.a muestra algunos problemas en la sujeción, debido a que el grosor de pared de la mayoría de los plásticos es insuficiente para las dimensiones geométricas que se dan para los esfuerzos generados por los tornillos, un incremento en la pared no es recomendado en ocasiones para el llenado de material por la concentración de esfuerzo, rechupes y vacío que se produce. Para mejorar la expulsión de alojamientos ciegos, se considera factores asociados con la contracción, el ángulo de salida, lubricación y el pulido.



En un ensamble el alojamiento pasado su diámetro del orificio es ligeramente más grande que el alojamiento ciego como lo muestra la figura 2.4.b, la profundidad del orificio debe ser más grande que la longitud del tornillo ya que esto ayuda para la viruta de los tornillos autoroscante.

2.1.3. Alojamiento-tornillo autoroscante

Los tornillos autoroscantes son un método eficaz y relativamente barato de montaje de componentes, se caracterizan por generar su propia cuerda al momento de ser apretados, eliminando la tuerca de ensamble, tornillos autoroscantes de corte, figura 2.5.a, como de forma, figura 2.5.b, son ampliamente utilizados debido a que tienen un excelente comportamiento de los esfuerzos producidos durante la formación de hilos.



Características de algunos tornillos autoroscantes.

- Trilobulares en la circunferencia de su cuerpo, se logra concentrar la fuerza en estos lóbulos, generando deformación plástica en el componente que hará la función de tuerca, evitando que el tornillo se afloje o pierda fuerza de apriete.
- La raíz de la cuerda comienza muy cerca de la cabeza con la finalidad de un mayor diámetro al final del apriete.
- Diseño especial en el perfil de las cuerdas combinado con el ángulo de espiral.
- Una punta que permite una buena penetración en los alojamientos.

Las condiciones que debe de cumplir en el ensamble son

- La longitud del tornillo autoroscante debe ser de acuerdo al espesor del ensamble ya que la punta del tornillo debe de estar más allá de la superficie última de apriete (4 cuerdas bien formadas como mínimo).
- Se necesita un material del componente que puede soportar los esfuerzos al ser perforado al momento del ensamble.

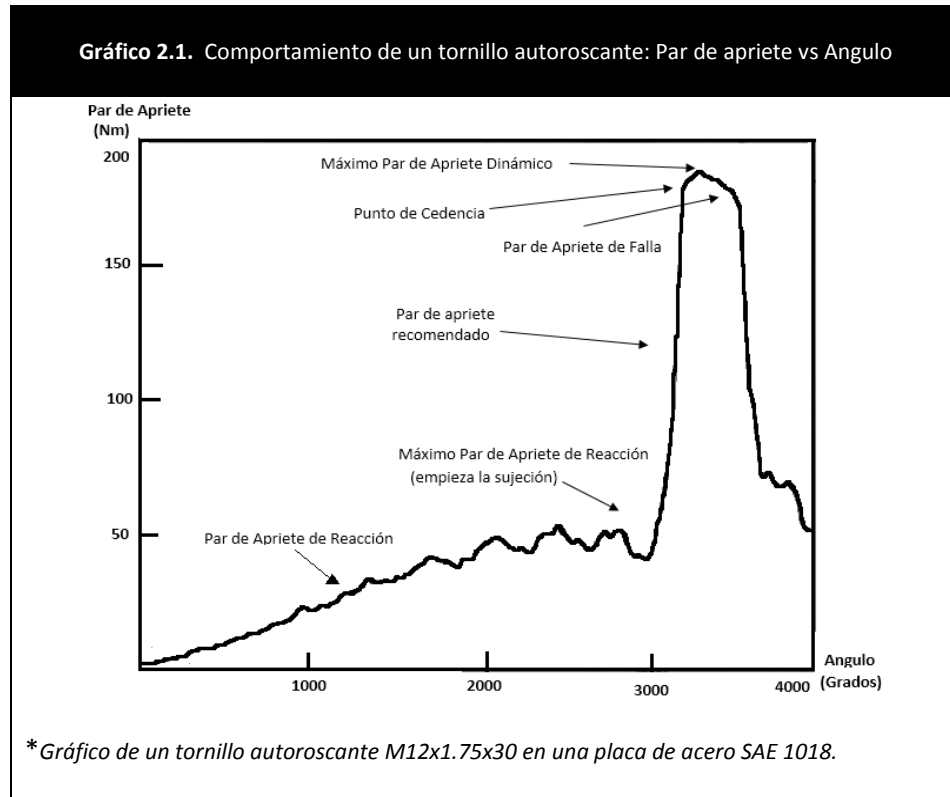
Es claro que consideraciones estructurales y manufactura deben ser tomadas en cuenta, cuando se diseñan alojamientos para tornillos, desafortunadamente, el número de variables asociadas con tornillos autoroscantes hacen un análisis teórico difícil, por ej. El par de apriete de reacción y falla son variables importantes para tornillos autoroscantes, ya que, son dependientes del coeficiente de fricción. El coeficiente de fricción es dependiente esfuerzos normales, de la temperatura y calidad de la superficie.

2.1.4. Medición de par de apriete en ensambles de tornillos.

La grafica 2.1 muestra el apriete dinámico que se da con una máquina eléctrica o neumática, el par de apriete dinámico será el valor máximo que se presenta al apretar el tornillo, este solamente puede ser medido por un transductor, después de que la unión ha sido apretada dinámicamente, el par de apriete estático es medido a través de un torquimetro, manualmente haciendo girar el tornillo 5°. Por lo que dicho esto, no existe algún factor o formula que pueda correlacionar el par de apriete dinámico y estático.

Dentro del apriete dinámico para tornillos autoroscantes se encuentra el par de apriete de reacción, recomendado y de falla.

- El par de apriete de reacción, se da en el toque de la superficie, donde se generan las cuerdas, este es menor al par de apriete recomendado ya que nunca será capaz de dar el apriete necesario a la unión.
- El par de apriete recomendado, es el punto ideal para el ensamble.
- El par apriete de falla, es en el cual ya no presenta un incremento de apriete en la unión, donde se puede presentar la falla sobre las cuerdas.



La fuerza de sostenimiento es medido por la fuerza de extracción para sacar, sin necesidad de girar los tornillos, una prueba de fuerza de extracción del tornillo, puede ser usada para determinar la fuerza de tracción y el modo de falla del alojamiento debido a cargas de tracción como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Valores de par de apriete y fuerza de extracción para tornillos autoroscantes para Poliésteres. Tomado del manual de diseño de poliésteres termoplásticos Celanex, Vandar, capítulo 9, Ticona

Tipo Tornillo	Profundidad de Penetración [mm]	Φ del Orificio [mm]	Par de Apriete Reacción [Nm]	Par de Apriete Falla [Nm]	Fuerza de Extracción [kN]
De forma					
8	8	3.8	1.01	4.52	2.89
	12.7	3.8	1.35	8.47	5.79
10	9.5	4.3	0.67	2.59	3.47
	12.7	4.3	1.07	3.38	4.23
De Corte					
8	9.5	3.7	0.56	2.93	2.98
	12.7	3.7	1.01	3.95	3.74
10	9.5	4.3	1.01	3.38	3.56

Métodos utilizados en la medición en ensambles de tornillos autoroscante.

Cuando se genera una prueba, es importante que la velocidad de conducción sea equivalente a la de producción, ya que el par de apriete de reacción y de falla son influenciados por la velocidad de conducción, el tipo de tornillo, tamaño, superficie, diámetro del alojamiento y longitud de contacto del tornillo sobre el alojamiento, este tipo de pruebas los valores cambiaran con el tiempo, debido a que si se mantiene la carga esta se seguirá deformando.

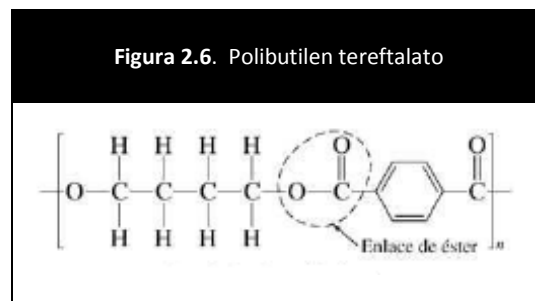
Los métodos utilizados en la medición de tracción en tornillos, son pruebas que se llevan a cabo, la mayoría sobre el tornillo, para verificar la fuerza de apriete del ensamble, por lo que, la prueba que se hace en esta tesis no va dirigida al ensamble que hay entre el alojamiento y el tornillo.

Los siguientes métodos de medición la mayoría son para un ensamble tornillo-alojamiento

- Medición con micrómetro.
- Medición con indicadores de caratula.
- Medición por tornillo de medición y tuerca.
- Tornillos de medición instrumentados de manera comercial.
- Galgas extensiométrica.

2.2. Polibutilen tereftalato (PBT)

Los poliésteres que existen en la naturaleza son conocidos desde 1830, pero el término poliéster generalmente se refiere a los poliésteres sintéticos (plásticos), provenientes de fracciones pesadas del petróleo, el poliéster ($C_{10}H_8O_4$) figura 2.6, es una categoría de polímeros que contienen el grupo funcional éster en su cadena principal, existen principalmente dos importantes poliésteres termoplásticos: polibutilen tereftalato (PBT) y polietileno tereftalato (PET).



Polibutilen tereftalato (PBT), está formado por una reacción de policondensación de butanodiol y tereftalato de dimetilo, el polímero base puede modificarse con varios aditivos, cargas y agentes de refuerzo, debido a su composición y grado de cristalinidad. El PBT es un material semicristalino que su cristalización es rápida, lo cual puede causar alabeo, la contracción de este material con fibra se da en dirección del flujo y será igual al material virgen en la sección transversal, el PBT es sensible a la hidrólisis

a altas temperaturas, por lo tanto es importante el secado antes de moldear, este material presenta una combinación única de propiedades que incluye:

- Alta resistencia, rigidez y dureza.
- Baja fluencia (incluso a temperaturas elevadas).
- Excelente resistencia a las altas temperaturas.
- Absorción de humedad mínima.
- Estabilidad dimensional excepcional.
- Resistencia a una amplia gama de productos químicos, aceites, grasas y disolventes.

Se utilizan en aplicaciones donde se requiere un producto fuerte, liso, térmicamente estable, químicamente resistente y aislante de la electricidad, la estabilidad dimensional es significativamente mejor que el nylon.

Los grados de reforzamiento tienen una excelente resistencia y alto módulo de Young, manteniendo características de procesamiento idóneas, con excelente llenado de moldes complejos, en los tiempos de ciclo relativamente cortos. Los grados de vidrio-mineral están también disponibles que producen piezas con alta resistencia al impacto, baja deformación y una excelente estabilidad dimensional, los altos niveles de fibra de vidrio hace al componente más frágil. En la tabla 2.2 se muestra algunas de las aplicaciones del PBT %30 con fibra de vidrio.

Tabla 2.2. Aplicaciones	
<i>Electrodomésticos</i>	
Manijas y perillas.	Alta estabilidad térmica. UL 94 clasificación V-0.
Teclado del ordenador	Excelente estabilidad dimensional.
<i>Automotriz</i>	
Limpiaparabrisas.	Buena estabilidad dimensional, aislante eléctrico.
Manijas de Puertas.	Se puede pintar.
Paletas de ventilación.	Alta resistencia, alta resistencia a la abrasión
Carcasas de motor.	Excelente estabilidad dimensional.
<i>Eléctrica /Electrónica</i>	
Interruptores	Buenas propiedades aislantes.
Bobinas	Retardante a la flama, UL 94 clasificación V-0.

Nombres comerciales.

Empresas que distribuyen PBT 30% con fibra de vidrio y su nombre comercial.

- Anjacom (almaak internacional)
- Arnite (DSM)
- Celanex, (Celanese)
- Crastin (DuPont)
- Pocan (Lanxess)
- Ultradur (BASF)
- Valox (antes GE Plastics, ahora SABIC Innovative Plastics)
- Schuladur (A. Schulman)
- Later (LATI)
- Kebater (BARLOG plastics)
- VESTODUR (Evonik Degussa)

2.2.1. Propiedades del material.

La densidad de un polímero cristalino es mayor que la de un polímero amorfo del mismo material y peso molecular, ya que las cadenas de la estructura cristalina están más empaquetadas. La determinación de cristalinidad tiene una considerable importancia práctica, ya que una cristalinidad creciente tiene el efecto útil de mejorar propiedades tales como la resistencia y la rigidez, la resistencia a la disolución y la estabilidad dimensional (ablandamiento térmico).

Los materiales cristalinos tienen una resistencia mayor a la elasticidad, al calor y productos químicos pero también son quebradizos. Un polímero totalmente cristalino requiere de mayores temperaturas de fusión ya que tienden a contraerse y deformarse más que los amorfos, en la tabla 2.3 muestra ejemplos de resinas cristalinas y amorfas.

Tabla 2.3. Diferentes materiales termoplástico	
Resinas cristalinas.	Resinas amorfas.
Acetal	Poliestireno
Nylon	ABS
Polietileno	SAN
Polipropileno	Policarbonato
Poliéster (PET PBT)	PVC

Los plásticos cristalinos tienen regiones amorfas entre las regiones cristalinas que se interconectan a estas, las regiones amorfas le confieren ductilidad al polímero, es decir, la habilidad de poder plegarse sin romperse.

El grado de cristalización de un polímero, depende principalmente de dos factores: la mayor o menor flexibilidad de sus cadenas y la regularidad de las mismas. Temperaturas de moldeo afectan significativamente el grado de cristalinidad de piezas moldeadas, que a su vez influyen en el rendimiento.

El material sufre un cambio significativo en sus propiedades, tabla 2.4, generalmente por debajo de la temperatura vítrea T_g , el material tiene una respuesta rígida y frágil a la carga, mientras que por encima de T_g habrá una respuesta más dúctil y elástica.

Tabla 2.4. Rango de temperatura vítrea de dos poliésteres	
Producto	Rango de temperaturas °C
PBT	40-50
PET	70-80

El PBT está estrechamente relacionado con otros poliésteres termoplásticos, en comparación con el polietileno tereftalato PET, el PBT tiene una resistencia y rigidez algo menor, una resistencia al impacto un poco mejor y una temperatura de transición vítrea ligeramente inferior.

El índice de fluidez se define como la cantidad de material (medido en gramos) que fluye a través del orificio de un dado capilar en 10 minutos consiste en tomar una cantidad de polímero a una temperatura conocida arriba de su T_g y un peso dado a pasar a través de un orificio por un tiempo determinado, Se mide en g/10min. El poliéster es muy fluido en el estado fundido, fluye bien en un molde, sin embargo, la rápida cristalización impone limitaciones.

Los materiales plásticos son también viscoelásticos por lo tanto presentan un comportamiento dependiente del tiempo, también son parcialmente elásticos, que tiene la capacidad de almacenar energía y son parcialmente viscosos, disipan la energía en forma de calor por fricción, lo que resulta en un comportamiento no lineal y la deformación asociada con el procedimiento de prueba afectará el comportamiento viscoso y por lo tanto los resultados de una prueba.

Entre las variables de proceso que influyen en el flujo de la resina son la temperatura de fusión, temperatura del molde, presión de inyección y el espesor de la pared. Secciones más gruesas permiten longitudes de flujo más largas que las secciones más delgadas, al aumentar la velocidad de corte, la temperatura y la presión, la viscosidad baja lo que aumenta su índice de fluidez.

2.3. Proceso del moldeo de inyección del PBT.

El moldeo por inyección del PBT debido a que la resina absorbe humedad, requiere de un proceso de secado antes de ser moldeado, es extremadamente importante minimizar la exposición al medio ambiente antes de inyectar para que se seque el material poliéster correctamente, para tener buena estabilidad durante el proceso de inyección.

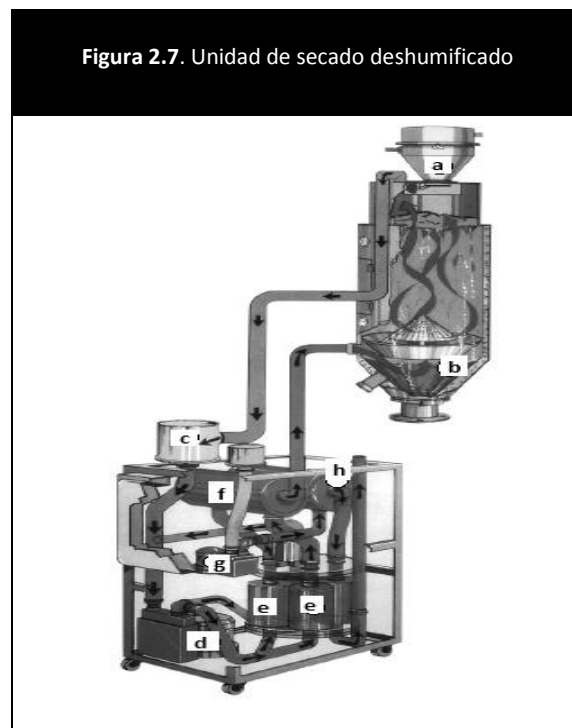
El proceso de inyección consiste en fundir el material plástico normalmente termoplásticos en condiciones adecuadas e introducirlo a presión en las cavidades de un molde, donde se enfría hasta una temperatura que la pieza pueda ser extraída sin deformarse.

2.3.1. Proceso de secado.

Durante el almacenamiento se tiene que evitar la exposición al medio ambiente y humedad extrema que pueda conducir a una excesiva absorción de humedad, deben estar libres de contaminación, los altos niveles de humedad pueden causar:

- Problemas de procesamiento.
- Crear imperfecciones de la superficie, incluyendo huecos.
- Degradar el material, causando una reducción significativa de las propiedades mecánicas.

Para el material CELANEX debe ser secado a una temperatura de 120 a 140 °C con un tiempo de secado 2 a 4 horas y un nivel de humedad menos que el 0.02%. Existen en el mercado equipos de secado de aire deshumidificado figura 2.7.



El proceso de deshumificado es el siguiente: en el cargador de vacío (a) cae resina dentro del aislamiento de la tolva de secado (b), el aire entra en la tolva de secado deshumificado, penetrando la resina y lleva el vapor de humedad hasta la línea de retorno, el aire lleno de humedad pasa a través de un filtro (c) para eliminar las partículas muy pequeñas antes de que entre en el cartucho desecante (e) donde la humedad es atrapada, el aire caliente para ser recirculado es ayudado por un soplador de aire (d), el aire cargado de humedad pasa a través de cartuchos desecantes en funcionamiento, el aire deshumificado es recalentado (f) y entregado de nuevo a la tolva de deshumificado de secado mientras el cartucho desecante está eliminando la corriente de humedad, mientras se hace otro proceso de regeneración que pasa por cartucho, sopladores, regeneración (g) y calentadores (h).

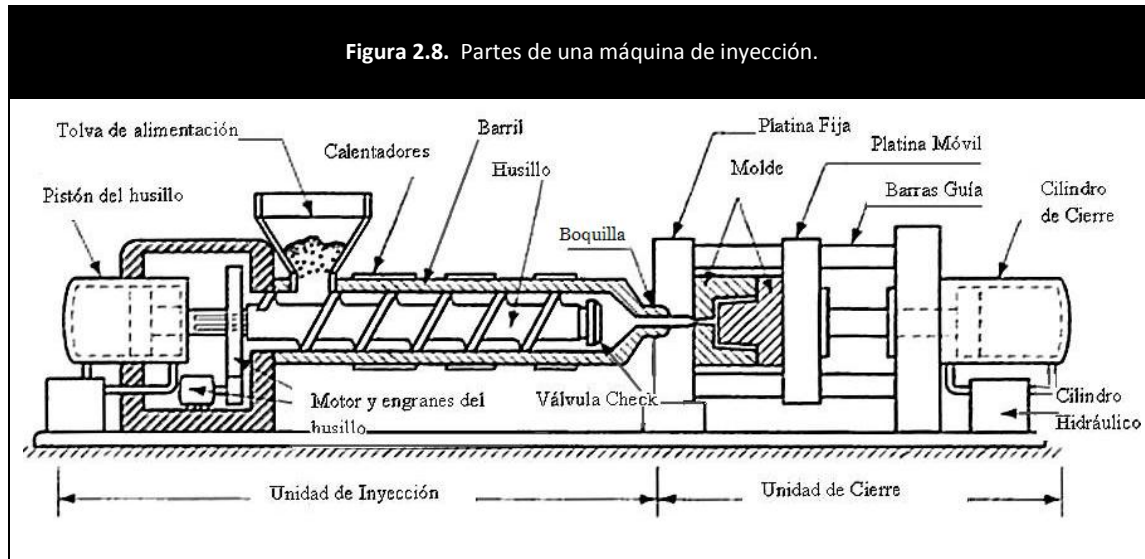
2.3.2. Proceso de inyección.

La inyección convencional es un proceso automatizado que se utiliza para producir componentes de plástico, con geometrías complejas, utilizando prácticamente cualquier material plástico, es importante saber que el diseño del producto determinará el moldeo y la fabricación del componente, así como los requerimientos de herramientas y costos. Detalles específicos de características de la colada para mejorar la capacidad de moldeo del componente plástico y sus propiedades serán factores para el diseño del herramental para las condiciones de procesamiento.

Con el fin de desarrollar un componente de calidad, el diseñador del componente de plástico, el diseñador del molde, el proveedor del material y el ingeniero de proceso, todos deben trabajar juntos para desarrollar una parte que sea moldeable y completamente funcional. El proceso de inyección es un proceso complejo que implica una serie de etapas de proceso secuenciales las fases del proceso de inyección son:

- *Llenado del molde:* después de que se cierra el molde, la masa fundida fluye desde la unidad de inyección de la máquina al molde relativamente frío a través del canal de colada, corredores, compuerta y luego en la cavidad del molde.
- *Fase de empaquetamiento:* la masa fundida se somete a presión y se comprime para garantizar el llenado completo, la fusión se lleva a cabo en el molde bajo presión para compensar la contracción de la pieza se enfría
- *Fase de sostenimiento:* la presión se aplica por lo general hasta que se solidifica la compuerta, una vez que se produce, el material deja de entrar a la cavidad de molde.
- *Fase de enfriamiento:* El material fundido sigue enfriándose y se contrae dentro del molde.
- *Expulsión:* el molde se abre y el componente sale de la cavidad, en la mayoría de los casos utilizando un sistema de expulsión mecánica.

Cada fase del proceso de inyección tiene una influencia en el diseño del componente. A fin de que la pieza de plástico pueda ser considerada moldeable, debe satisfacer los requisitos moldeabilidad para cada una de estas cinco fases de elaboración, mientras que hay una gran cantidad de interacción entre las fases del proceso de moldeo por inyección.



2.4. Efectos en los componentes de PBT en el proceso de inyección.

2.4.1. Degradación del material.

Por degradación de un material se asocia a todo tipo de transformación que afectan su composición original y en sus propiedades químicas, una disminución del peso molecular, por el rompimiento de su cadena principal por varios puntos.

Dependerá de su estructura química, temperatura de transición vítrea, grupos susceptibles (ésteres, amidas, carbonatos), ramificaciones, cristalinidad. Los polímeros cristalinos tienen más dificultad para degradarse debido a que presentan mayor densidad, estados amorfos se degradan más fácilmente.

Los polímeros están expuestos a diversos agentes (luz, humedad, calor, oxígeno, hongos, microorganismos) que dan lugar a diferentes tipos de degradación tales como: térmica, radiación, oxidativa, hidrolítica y biodegradable.

Hidrólisis.

La reacción de hidrólisis es la responsable de romper las largas cadenas moleculares que se da cuando se van rompiendo los enlaces que forman los polímeros, ayudándose con la inserción de una molécula de agua, el resultado de esto es la producción de monómeros. La hidrólisis es una reacción opuesta a las reacciones de condensación (formación de largas moléculas).

Los poliésteres, poliamidas, polianhídridos con facilidad sufren degradación hidrolítica pues en este caso hay ruptura de la cadena principal. La velocidad de absorción del agua que sufren estos materiales dependen de cuatro factores: tiempo, temperatura, humedad atmosférica (punto de rocío) y cristalinidad, a medida que la temperatura sube, la velocidad de hidrólisis también aumenta.

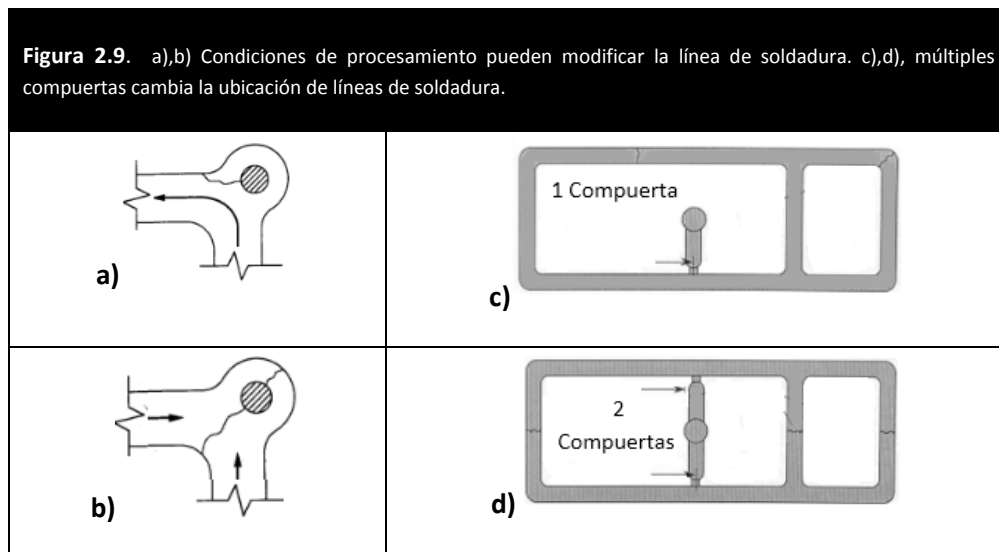
En el caso de PBT, la humedad contenida no sólo se encuentra en la superficie sino también es absorbida por el granulado debido a la penetración de humedad, se requiere un tiempo relativamente largo de secado a temperaturas elevadas de operación, por otro lado, la estructura y tamaño del granulado influyen en la velocidad del secado.

La pérdida de la viscosidad intrínseca se debe básicamente a una degradación hidrolítica ocurrida durante el estado de fusión, una segunda causa de la caída de viscosidad intrínseca es la degradación térmica durante la fusión del polímero para inyectarlo.

La viscosidad intrínseca (V.I.) es una medida indirecta del peso molecular, o sea, del tamaño promedio de moléculas que definen al polímero, cualquier disminución en la viscosidad del polímero en su paso de granulado a preforma, significará una reducción del peso molecular, entre mayor sea el peso molecular del polímero existe una menor tendencia a la cristalización.

2.4.2. Línea de unión o soldadura.

Líneas de soldadura, figura 2.9, se forman durante el proceso de llenado del molde cuando la masa fundida se separa y se recombina con otro flujo. La separación o división de la masa fundida puede ser debido a fluir alrededor de un núcleo/obstrucciones, distintos grosores, debido a múltiples compuertas o mover los lugares de compuerta con el fin de posicionar la línea de soldadura.



Las líneas de soldadura se ven como grietas en la superficie de las piezas moldeadas, estas grietas a menudo son visible con el ojo, estéticamente se consideran inaceptables en muchas aplicaciones, la resistencia mecánica en el área de la soldadura es más baja que otros puntos, es uno de los problemas más importantes debido a la posibilidad de falla en el área. La resistencia de soldadura, la resistencia química y la apariencia son influenciados por:

1. Selección de materiales
2. Diseño de la Parte.
3. Diseño del molde.
4. Condiciones de procesamiento.

Sin embargo, sólo hay una cantidad limitada de datos referente a líneas de soldadura, es difícil predecir el comportamiento estructural y la apariencia de las piezas de plástico que contienen las líneas de soldadura. Las condiciones de procesamiento tienen un gran impacto en el rendimiento y aspecto de las líneas de soldadura.

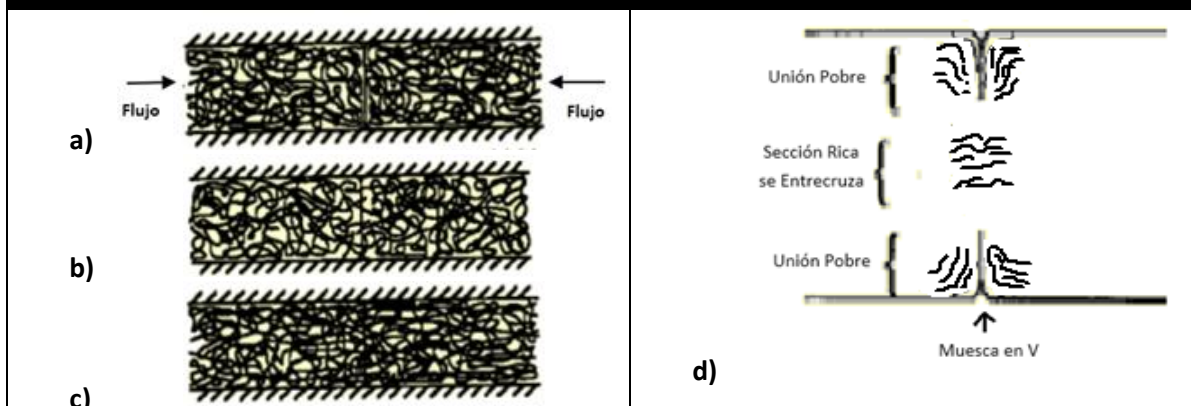
La regla más importante del diseño es posicionar la línea de soldadura en el lugar que no son críticos en términos de estética y de concentración de esfuerzos, se puede variar la geometría del componente, espesor de pared, condiciones de procesamiento con el fin de posicionar apropiadamente las líneas de soldadura. Las simulaciones de llenado de inyección de plástico ayuda a predecir la ubicación de la línea de soldadura para componentes de geometría complejas.

Las deficiencias de la línea de soldadura se han atribuido a una variedad de factores tales como.

- I. Incompleto entrelazamiento / difusión molecular, figura 2.10.a.
- II. Desfavorable orientación molecular (o fibra), figura.
- III. Existencia de muescas en V en la superficie de la línea de soldadura.
- IV. Presencia de sustancias extrañas o micro-huecos en la interfaz de soldadura.

Para aumentar la resistencia de la línea de soldadura, es necesario la difusión molecular, figura 2.10.c. y el entrelazamiento molecular posterior con el fin de lograr una buena resistencia. La figura 2.10.d muestra en la línea de soldadura una muesca en V, está muestra ambas uniones (pobre y rica), el área pobre tendrá una escasas difusión molecular y también puede actuar como un concentrador de esfuerzos.

Figura 2.10. a) No hay difusión. b) Difusión Parcial. c) Difusión Completa. d) Áreas dentro de una línea de soldadura.

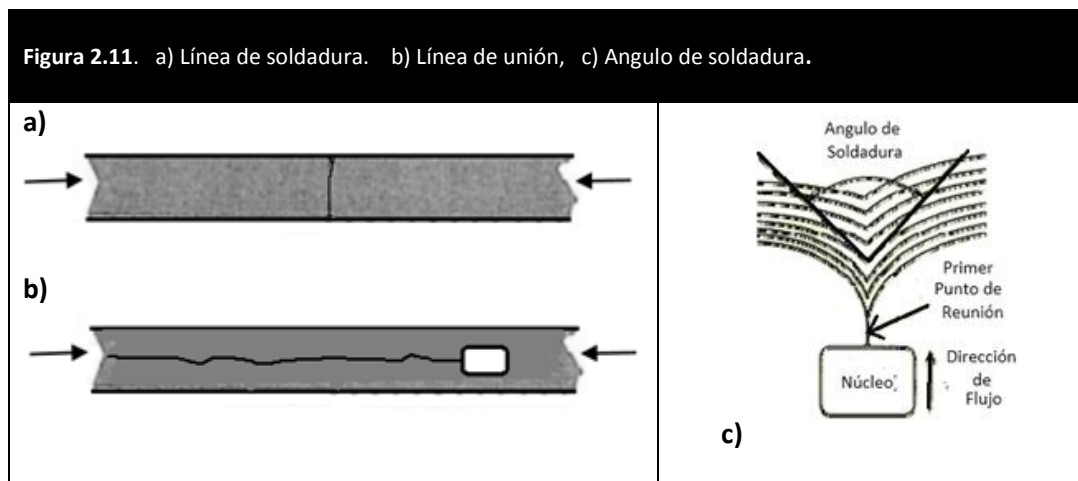


Puede ser visto que cualquier parte del molde o variable de proceso que aumenta la temperatura de la masa fundida deben aumentar la resistencia de la soldadura, la presión de masa fundida en la línea soldadura debe ser importante pero la temperatura de la masa fundida en la línea soldadura es la variable de proceso más importante debido a su influencia en la movilidad molecular, más caliente mejora la resistencia, pero la degradación molecular no puede pasarse por alto.

VARIABLES DE PROCESO COMO VELOCIDAD DE INYECCIÓN, PRESIÓN DE SOSTENIMIENTO Y TEMPERATURA DEL MOLDE HAN DEMOSTRADO QUE TIENEN UN IMPACTO EN LA RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE SOLDADURA, LA RESISTENCIA DE LA LÍNEA DE SOLDADURA TAMBIÉN PUEDE SER INFLUENCIADA POR LA FORMA Y TAMAÑO DEL NÚCLEO, Y POR EL NÚMERO DE NÚCLEOS.

Tipos de soldadura de líneas.

Se clasifican en función de la cantidad de flujo en la recombinación de los frentes, una línea de soldadura se puede formar cuando el frente de fusión viaja en direcciones opuestas y se encuentran se le llama línea de soldadura, son considerados como las peores, figura 2.11.a. La línea de unión es cuando viajan en el mismo sentido pero es dividida por un núcleo o corazón, figura 2.11.b.



Las líneas de soldadura tienden a desaparecer, figura 2.11.c, en un ángulo de unión frente al flujo de 120°C a 150°C , dependiendo del material, el ángulo de soldadura ha sido considerado como medida de calidad de la soldadura, tiene relativamente longitudes cortas de flujo y ángulos de soldadura.

Consideraciones de materiales: Variables de materiales que influyen son la morfología, peso molecular, reforzamiento y aditivos. La Tabla 2.5 muestra los factores de retención de resistencia a tensión con soldadura en porcentaje, entrada de la masa fundida por dos compuertas, línea de soldadura y el tipo de reforzamiento del material.

Tabla 2.5. Valores de línea de soldadura de algunos materiales plásticos.

Material	Tipo de Reforzado	Retención de carga de Tensión %
PP	No Reforzado	86
PP	30% Fibra de Vidrio	34
SAN	No Reforzado	80
SAN	30% Fibra de Vidrio	40
PC	No Reforzado	99
PC	30% Fibra de Vidrio	64
PSU	No Reforzado	100
PSU	30% Fibra de Vidrio	62
PPS	No Reforzado	83
PPS	40% Fibra de Vidrio	20
Nylon 66	No Reforzado	83-100
Nylon 66	30% Fibra de Vidrio	56-64

El problema de la retención de carga de la línea de soldadura puede ser más grave, para la fibra larga reforzada para termoplásticos, la retención de carga de la línea de soldadura para los polímeros reforzados con fibras de vidrio largas son relativamente bajas cuando las concentraciones de fibras es muy alta. Los polímeros reforzados pueden tener una resistencia excepcional, rigidez, resistencia a la fluencia, y estabilidad dimensional.

Las variables de proceso tienen efecto sobre la resistencia de la línea de soldadura, pero la propia línea de soldadura es la variable más significativa, puede ser mejor trabajada con materiales ligeramente reforzados, diseño de componentes con alivio de material moviendo la línea de soldadura a otra posición alejada de concentradores de esfuerzos, mantiene las propiedades mecánicas de mejor forma como se muestra en tabla 2.6.

Tabla 2.6. Valores de Máxima Carga a la Tensión tomadas de un estudio de Celanese; " Tooling Modification Study For The Improvement Of Weld Line Properties".

[Material	Porcentaje y tipo de relleno	1 compuerta [MPa]	2 compuertas [MPa]	2 compuertas y Alivio [MPa]
Celcon GC25A	25% Fibra de Vidrio	105	44	68
Vectra A130	30% Fibra de Vidrio	174	24	81
Celanex 3300	33% Fibra de Vidrio	130	61	96
Fortron 4184	53% Mineral/fibra de Vidrio	139	65	110
Nylon 1503	33% Fibra de Vidrio	192	100	154

Capítulo 3. Prueba en alojamientos para tornillos.

Introducción.

La mayoría de las piezas de plástico están sujetas a algún tipo de carga mecánica durante el montaje o en el uso final, los componentes pueden ser diseñadas para soportar cargas y esfuerzos asociados con la aplicación. Las condiciones de carga asociados con la aplicación incluyendo el uso indebido se pueden identificar, si el comportamiento mecánico del material plástico se puede describir con precisión.

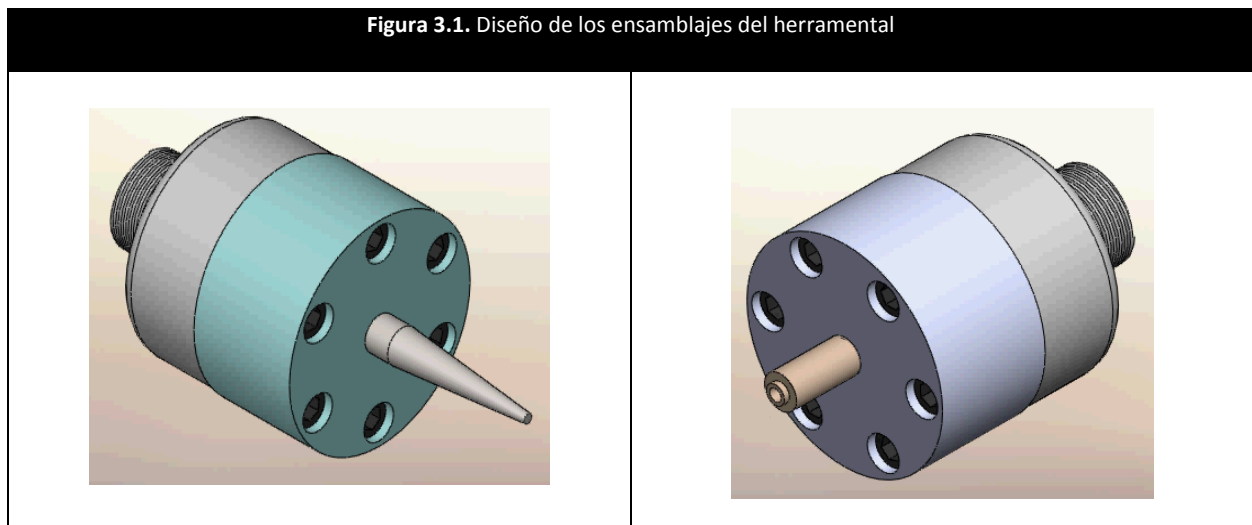
El desempeño mecánico de un material está influenciados por el medio ambiente, el proceso de fabricación, factores tales como el tiempo de carga, velocidad de carga, temperatura, exposición a rayos UV, concentración de esfuerzos y líneas de soldadura, tienen un efecto sobre el rendimiento mecánico del material o de la pieza. Así mismo cabe señalar que las propiedades mecánicas de un material, están influenciadas por las condiciones en las que se realiza la prueba sobre el componente plástico.

Los datos de las propiedades del material que generan los proveedores son pruebas estandarizadas bajo normas establecidas por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM) o de la Organización Internacional de Normalización (ISO). Las pruebas de laboratorio tienen lugar durante un período de tiempo limitado (típicamente minutos), la hoja de datos de propiedades de materiales no representan una descripción precisa de las características mecánicas de un material, pero si una base para la selección de materiales. Los datos de esfuerzo-deformación se generan usando procedimientos y condiciones estándares.

- i. Temperatura ambiente a 50 % de humedad relativa.
- ii. Velocidad y desplazamiento constantes en una máquina de ensayo universal.

Debido a la sensibilidad a la temperatura de la mayoría de los materiales plásticos sus propiedades cambian considerablemente, la humedad es otro factor importante para materiales hidrosfópicos tales como nylon y PBT ya que la humedad puede originar un comportamiento frágil en el caso del PBT.

Figura 3.1. Diseño de los ensamblajes del herramienta



3.1 Descripción de la prueba de la empresa del sector automotriz.

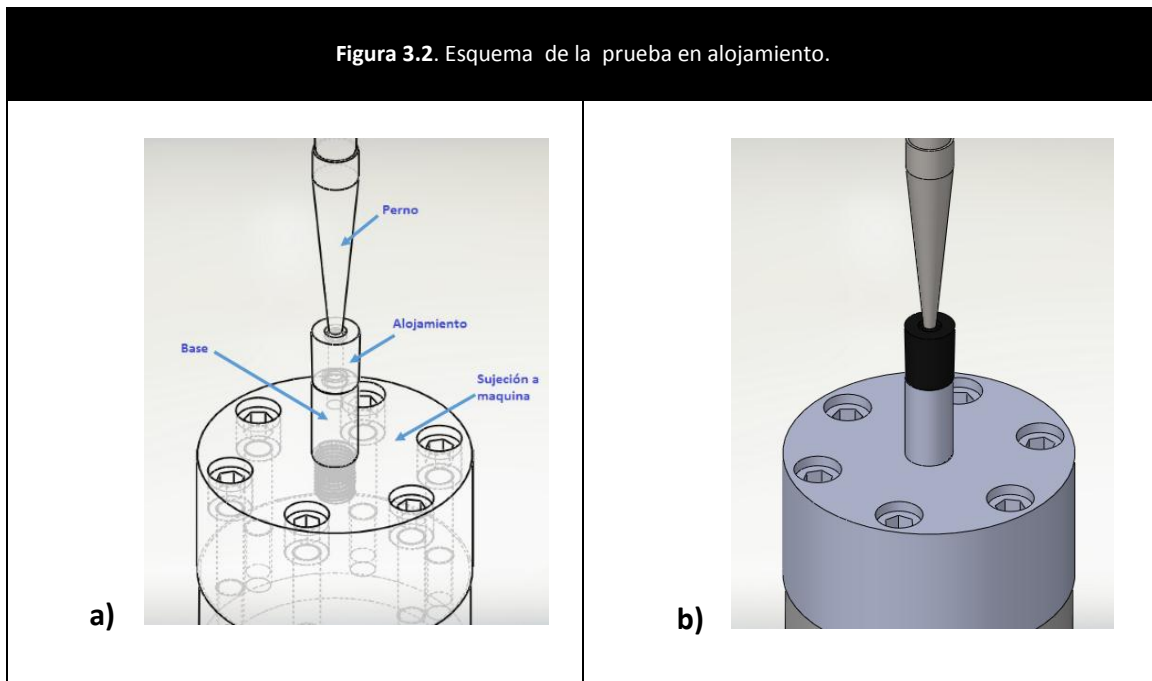
Esta prueba se enfoca en obtener una carga de 1500 N que soporta un alojamiento para tornillo hasta su punto de fractura, prueba que se utiliza en el área de calidad para componentes de plástico de una empresa del sector automotriz para liberar el componente.

El componente se coloca sobre una base que se sostiene del alojamiento del tornillo que se prueba, la máquina se encuentra programada a una velocidad de 50 [mm/min], el perno cónico se desplaza axialmente hasta que la pieza se fractura, la máquina da únicamente el valor de carga. Si el valor de carga es menor a 1500 N, se considera como un componente defectuoso.

3.2 Descripción de la prueba en alojamiento realizada en esta tesis.

La prueba se realiza de la misma forma que la empresa del sector automotriz, solo que el perno cónico se pinta con un marcador negro y se toman mediciones del alojamiento antes de cada prueba. Al final de cada prueba se tomarán mediciones en el perno cónico de la huella que se queda por el contacto entre el perno cónico y el alojamiento. La máquina universal para esta prueba se programa para gráficos carga vs desplazamiento, así mismo con los valores de la prueba en el alojamiento y un modelo teórico para entender que es lo que pasa con el material en el alojamiento.

La prueba es el ajuste a presión de un perno cónico que se desplaza axialmente dentro de un alojamiento para tornillos generando esfuerzos normales, radiales y tangenciales. Como se ve en la figura 3.2 el diámetro interno y área de contacto del componente aumenta gradualmente hasta que se fractura. El perno hace interferencia sobre la pared interna del alojamiento generando una presión de contacto.



3.2.1. Requerimientos de la prueba.

Al no ser una prueba estandarizada los requerimientos y especificaciones los proporciono una empresa del sector automotriz.

Tipo	Ensayo a Compresión
Nombre	Compresión de un perno Cónico
Equipo	Maquina Universal de pruebas INSTRON
Recolector de Datos	Consola del equipo de pruebas y computadora
Velocidad de Prueba	50 [mm/min]
Miembro Móvil	Perno Cónico
Miembro Fijo	Componente
Parámetros de Paro	Fractura del alojamiento.
Temperatura Ambiente	23 ° C
Humedad Relativa	50%
Especificación de Carga	1500 N
Comentarios	A cada pieza se analizan 3 alojamientos identificados como (M1, M2, M3). El punto crítico es M2

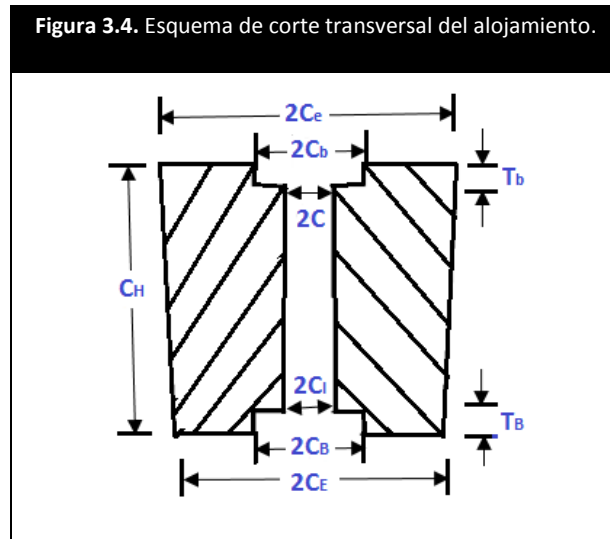
3.2.2. Consideraciones para el desarrollo de prueba en alojamiento.

No existen pruebas para el material del componente, pruebas para tornillo autoroscante (galgas extensiométrica), analizan este tipo de ensambles, pero no analiza el componente sino el ensamble, la prueba en alojamiento que se hace en esta tesis se enfoca en el análisis de las propiedades mecánicas del material. Se analiza la prueba y los tres alojamientos del componente (M1, M2, M3), así como su proceso de inyección, y se hizo el siguiente planteamiento.

- 1) El material de los componentes es un PBT % 30 de fibra de vidrio, figura 3.3.



- 2) En la prueba solo se consideran resultados de carga (F_{max}) y desplazamiento (D_{max}), por tratarse de una prueba no estandarizada.
- 3) No es posible detener el movimiento del perno cónico en la prueba en el alojamiento en el punto de carga máxima.
- 4) El molde tiene 4 cavidades.
- 5) El alojamiento tiene ángulos de salida por lo que sus diámetros superiores como inferior son de diferentes dimensiones, sus propiedades mecánicas y dimensiones del alojamiento varían debido a sus condiciones de procesamiento como lo muestra la figura 3.4.



La nomenclatura de las mediciones que se toman al alojamiento son:

- $2C_e$: diámetro superior exterior.
- $2C_b$: diámetro superior del counter bound.
- T_b : altura del counter bound.
- $2C$: diámetro superior del orificio.
- C_H : altura del alojamiento.
- $2C_e$: diámetro inferior exterior.
- $2C_b$: diámetro inferior del counter bound.
- T_B : Altura del counter bound.
- $2C_i$: diámetro inferior del orificio.
- $2B$: diámetro superior de la huella del perno.
- $2b$: diámetro inferior de la huella del perno.

3.2.3. Máquina universal de pruebas mecánicas.

Es una maquina estandarizada de ensayos de tracción, compresión y flexión. La ficha técnica de la máquina universal de pruebas instron modelo 4206 es:

- Capacidad de 15 toneladas.
- Velocidad variable.
- Electromecánica de tornillo sin fin y motores eléctricos.
- Cabezal móvil y base fija.

3.2.4. Desarrollo de la prueba.

Antes de la prueba.

1. El herramental se ensambla en la máquina universal, figura 3.5.
2. Se requiere de un calibrador, un marcador de color negro y cámara digital.
3. Se Identifica el componente.

Nº de prueba - Ubicación en el molde - Cavidad del molde

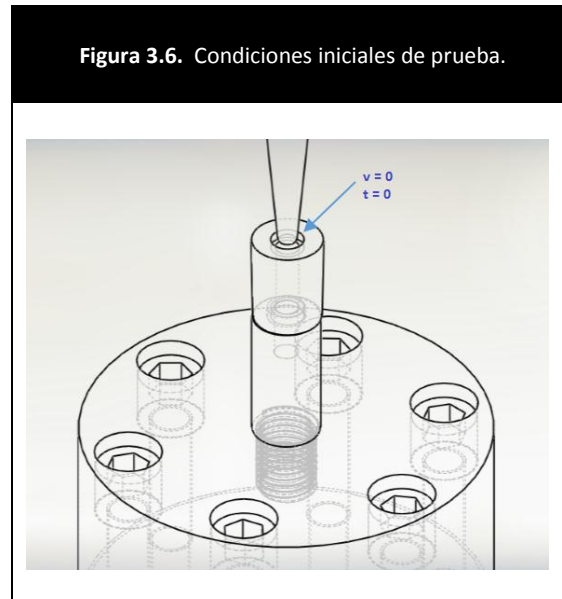
3 - Derecho - C1

4. Se toma mediciones del alojamiento y se coloca de forma horizontal con el vástago de metal hacia arriba, sostenido por el herramental-base en el counter board del componente por un ajuste a presión para después pintar con marcador negro el perno cónico.

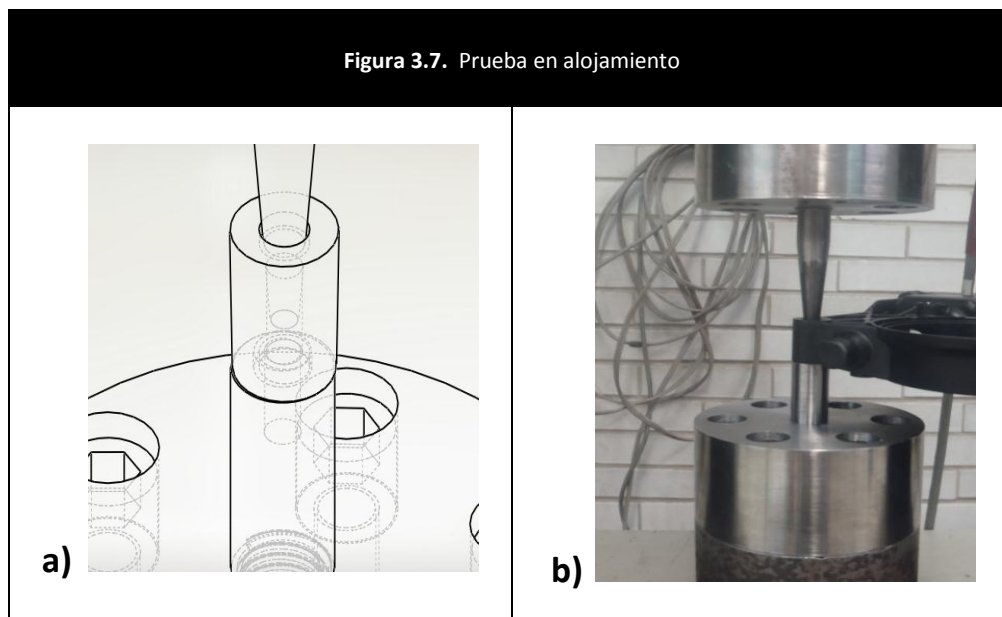
Figura 3.5. Ensamble del herramental en maquina universal.



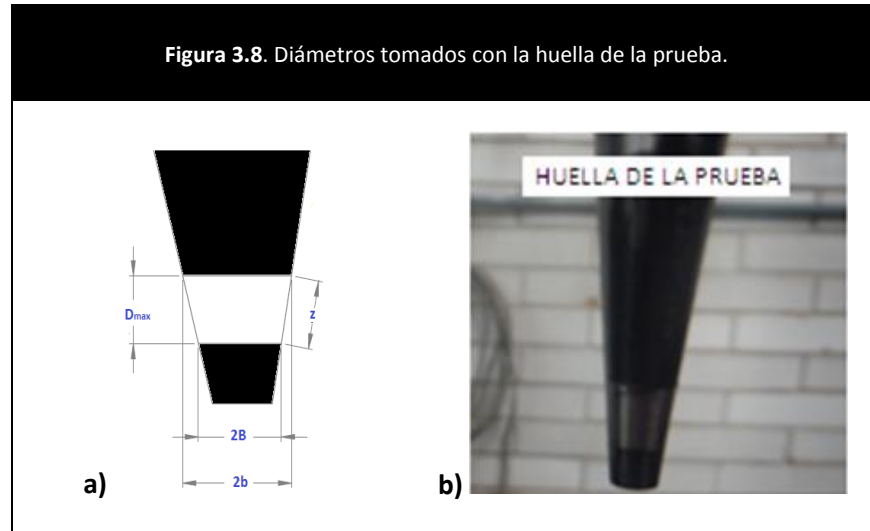
5. El perno se desplaza axialmente al punto de referencia donde la superficie superior del componente y el diámetro menor de perno se colocan a la misma altura ajustados con un pedazo de hoja de papel de espesor 0.1 [mm], como se muestra en la figura 3.6.



La prueba inicia con el desplazamiento libre del perno hasta que toca el diámetro interno (2C) del alojamiento como lo muestra la figura 3.7 y se detiene en el momento que el alojamiento se fractura.



Se desmonta el componente y este dejara una huella en el perno donde tuvo contacto, figura 3.8.b. Con el calibrador se toman datos de los diámetros inferiores ($2b$) y superiores ($2B$) de la huella, figura 3.8.a.



3.2.5. Instrucciones de la máquina para la prueba.

Debido a que se tienen 3 alojamientos en cada componente se realizó de la siguiente manera.

- I. Ejecuta el programa establecido para carga [kN] vs desplazamiento [mm].
- II. Identifica componente y se establecen condiciones de velocidad, temperatura y humedad.
- III. Sujeta el componente en el alojamiento M1.
- IV. Lleva a punto de referencia.
- V. Ejecuta la prueba.
- VI. Detiene cuando el componente se fractura.
- VII. Quita el componente y se coloca mismo componente en M2 y después en M3.
- VIII. Se repiten los pasos del I al VII para los 8 componentes.
- IX. Se imprimen los resultados de las pruebas.

3.3. Diseño y fabricación del herramental.

Para realizar la prueba es necesario desarrollar el herramental, hay una decena de métodos para producirlos, pero todo dependerá de lo que se requiere, del material, tamaño, tiempo disponible y del presupuesto. Para efectuar la prueba se parte de acoplar lo que la empresa automotriz hace, para trasladarlo a la máquina universal de pruebas y con ello diseñar el herramental. El herramental para realizar la prueba es

- I. Base: se sostiene la muestra aquí durante la prueba para que no se mueva.
- II. Portaherramientas: adaptar herramental-portaherramientas y portaherramientas-máquina.
- III. Perno cónico: condiciones de geometría y rugosidad especificadas por la empresa.

3.3.1. Consideraciones para la fabricación del herramental.

Para la manufactura del herramental se hizo el siguiente plan de trabajo:

1. Definir las necesidades y especificaciones de la prueba.
2. Planeación del trabajo dentro del taller de manufactura, laboratorio de pruebas mecánicas, y área de plásticos de la Facultad de Ingeniería.
3. Diseño del herramental para su ensamblaje en la máquina, figura 3.1.
4. Conocer taller y manejar maquinas (torno y fresadora).
5. Comprar material y herramienta (buril, brocas, machuelo).
6. Maquinado de portaherramientas, base y perno cónico truncado.
7. Revisión final del herramental para generar la prueba.

El proveedor de la materia prima para estas piezas fue Carpenter Aceros Fortuna, cada proveedor proporciona una clave específica como se muestra en la Tabla 3.1. El material utilizado tiene propiedades mecánicas específicas tales como la maquinabilidad del material como un factor importante.

Tabla 3.1. Características del acero para maquinar el herramental								
Aceros fortuna	AISI/NOM (aprox)	Análisis básico medio %					Dureza Brinell máx.	Características
		C	Si	Mn	Cr	Mo		
TCMO 4T	4140 Templado	0.4	0.25	0.88	0.95	0.2	220 a 330	Acero al Cromo-Molibdeno dureza controlada para la construcción de maquinaria.
TCMO 4R	4140 Recocado	0.4	0.25	0.88	0.95	0.2	207	Acero al Cromo-Molibdeno dureza controlada para la construcción de maquinaria.
GB 4	1045	0.5	0.25	0.75			206	Acero al 0.45% de Carbono para la construcción de maquinaria.

El portaherramientas se maquina con un acero AISI 1045 conocido por una resistencia buena y por sus propiedades de impacto y fácil maquinado, capacidad para el acabado del acero por arranque de viruta.

El perno cónico y su base se maquinó con un acero tratado térmicamente AISI 4140 recocado, con buenas características mecánicas mostrada en tabla 4.2, con el recocado aumenta la ductilidad ya que provoca un alivio de tensiones ablandándolo lo que nos aportó fácil maquinado para el herramental.

Tabla 3.2. Propiedades mecánicas del acero 4140.

Acero AISI	Condición	% e	% RA	F_{max} [N]	σ_{max} [MPa]	F_{rup} [N]	σ_{rup} [MPa]
4140	Original	19.52	33.44	64.96	1.118	55.84	1.45
	Recocado	20.3	57.33	43.44	0.748	32.13	1.3
	Normalizado	17.76	24.29	68.65	1.182	62.46	1.42

3.3.2 Máquinas: torno y fresadora.

En el torno paralelo cuando el carro principal desplaza la herramienta a lo largo del eje de rotación, produce el cilindrado (desbaste) de la pieza, y cuando el carro transversal se desplaza de forma perpendicular al eje de la pieza se realiza un refrentado (careado), el carro auxiliar se usó para hacer conicidades, el equipo se utilizó para el maquinado del perno cónico y la base.

La fresadora vertical Bridgeport se apoya sobre dos carros que permiten el movimiento longitudinal y transversal y la consola se desliza verticalmente sobre las guías del cuerpo, sobre la mesa se colocó dispositivos para sujeción de herramientas giratoria (plato circular graduado) para un fácil maquinado, se utilizó para maquinar el porta-herramientas.



3.3. Preparación para el maquinado.

Cuando hablamos de preparación para el maquinado debemos ser conscientes de la importancia de la seguridad y la higiene en el trabajo, incumplir los parámetros de seguridad e higiene nos puede llevar a accidentes de riesgos innecesarios. Cuando llevamos a cabo la preparación debemos considerar una cantidad de factores inherentes como pueden ser; la pieza, sus características de proceso de fabricación, como se comporta el material, para seleccionar máquina y herramienta de trabajo más factible y segura.

Para fabricar el herramental es necesario montar los accesorios, contar con las cajas de herramientas de las máquinas y equipo de seguridad:

- i. Torno. Chuck universal, porta buriles, broquero, llaves.
- ii. Fresadora. Boquilla, broquero, cortador, chuck universal, plato circular graduado.
- iii. Equipo de seguridad. Bata, botas, goggles, brocha, aceitera, vernier, mazo de hule, estopa.

Para el uso del torno se usó un buril de acero rápido (HSS) que se maquinó para cilindrar o desbastar por derecha, se maquina otro buril HSS con una plantilla para roscas de 60° para poder generar las cuerdas, en el taladrado, las brocas se afilaron con los ángulos adecuados de los labios para un fácil maquinado.

3.3.4 Ruta de trabajo.

Las posiciones para las diferentes operaciones del torno y la fresadora dependen de variables como, avance, RPM y afilado de la herramienta.

Tabla 3.3. Ruta de trabajo del Portaherramientas.			
Materia prima:	Perfil NOM 1045 cilíndrico 3" x 1.5"		Piezas: 2
Paso	Operación	Máquina	Herramienta
1	Refrentar	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2[m]	Buril HSS maquinado por derecha
2	Taladrar 1.5" a un radio de 30[mm] cada 60°	Fresadora vertical Bridgeport	Broca 5/16", plato circular graduado
3	Perforar 13[mm] a un radio de 30[mm] cada 60°	Fresadora vertical Bridgeport	Cortador 1/2", plato circular graduado
4	Taladrar	Fresadora vertical Bridgeport	Broca 25/64"
5	Fileteado	Prensa de banco	Machuelo 7/16" UNF 20
6	Limado	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2[m]	Lima plana

Tabla 3.4. Ruta de trabajo de la base.

Materia prima: Perfil NOM 4140 recocido cilíndrico 0.5" x 2"				Piezas: 1
Paso	Operación	Máquina	Herramienta	
1	Refrentar	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Butil HSS maquinado por derecha	
2	Taladrar 13 [mm]	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Broca 5/32"	
3	Desbastar 2[mm] a un diámetro de 6 [mm]	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Butil HSS maquinado por derecha	
4	Desbastar 13[mm] a un diámetro de 11.11 [mm]	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Butil HSS maquinado por derecha	
5	Roscado 7/16 UNF 20	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Butil HSS maquinado a 60°	

Tabla 3.4. Ruta de trabajo del perno cónico.

Materia prima: Perfil NOM 4140 recocido cilíndrico 0.5" x 3"				Piezas: 1
Paso	Operación	Máquina	Herramienta	
1	Refrentar	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Butil HSS maquinado por derecha	
2	Desbastar 13[mm] a un diámetro de 11.11 [mm]	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Butil HSS maquinado por derecha	
3	Roscado 7/16 UNF 20	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Butil HSS maquinado a 60°	
4	Desbaste cónico a 5°	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Butil HSS maquinado por derecha y contrapunto	
5	Lijado	Torno paralelo volteo 6" distancia/ejes 1.2 [m]	Lija 600 ANSI	

Capítulo 4. Modelo teórico

Introducción.

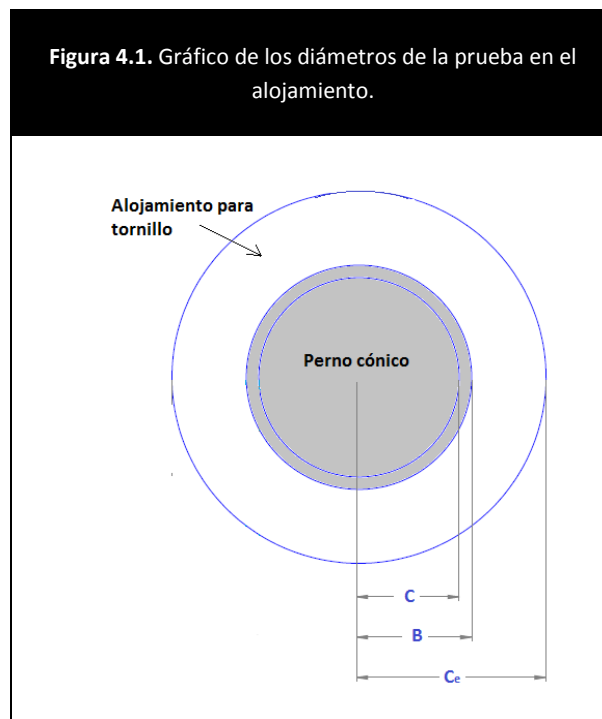
Durante el ensamble se vuelve un problema evaluar la confiabilidad del componente, debido a los esfuerzos y deformaciones que se generan, lo difícil de predecir la probable falla de un componente plástico parte desde las propiedades, medio ambiente, diseño y procesamiento.

El objetivo de la prueba de un alojamiento para tornillos es garantizar que se tiene la certeza que cumple con la fuerza mínima requerida en el componente plástico por lo que se parte de:

- I. Experiencias pasadas: reglas empíricas y suposiciones.
- II. Aproximación por modelo teórico: usando relaciones para esfuerzos y deformaciones, referido a alojamientos, al aplicársele una fuerza de empuje sobre su pared interna.
- III. Prueba experimental: desarrollando una muestra confiable.

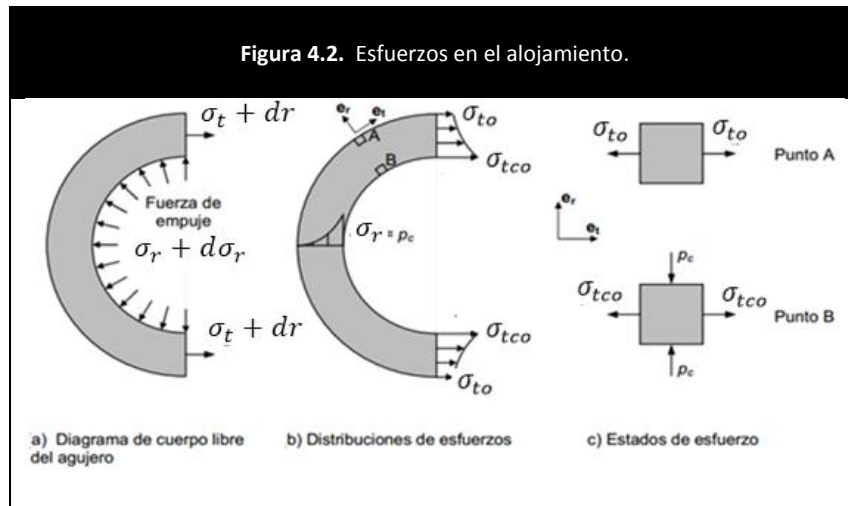
El procesamiento del material y propiedades mecánicas son factores con alto grado de importancia para su análisis, componentes diseñados correctamente pero procesados incorrectamente perjudican en un alto porcentaje sus propiedades mecánicas, por lo que, tanto el modelo teórico como la prueba experimental solo llegarán a una aproximación por la importancia de las condiciones de procesamiento.

El presente modelo está enfocado en la implementación de un ensamble por interferencia de dos cilindros que se ajustan uno sobre otro como lo muestra la figura 4.1, provocando una presión de contacto, se fundamenta en el análisis de cilindros de pared gruesa.

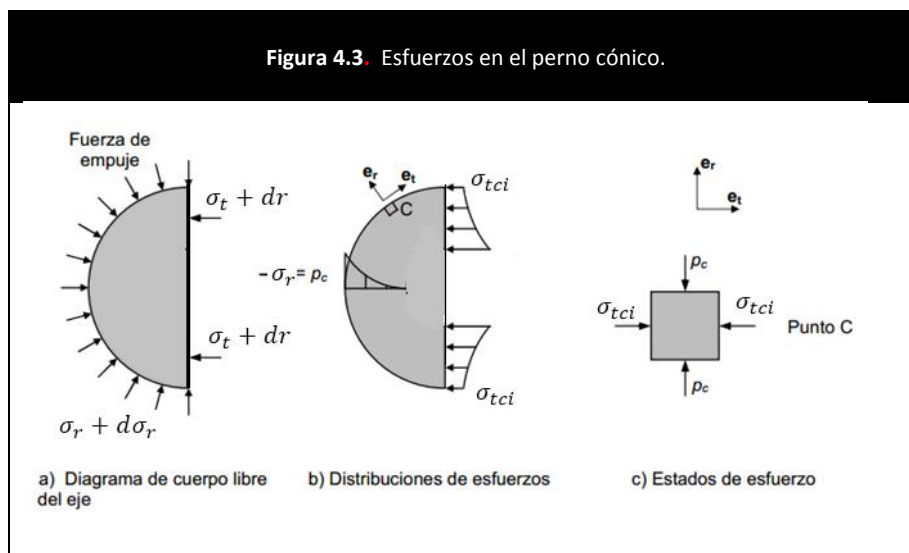


4.1. Distribuciones de esfuerzos en el perno y el alojamiento.

Para determinar qué esfuerzos se originan en la unión, se considera primero un corte longitudinal que divide el cilindro externo (alojamiento) en dos partes iguales; al aislar la mitad del cilindro y hacer el diagrama de cuerpo libre se obtiene el diagrama de la figura 4.2.a, en donde se observa la fuerza de empuje producida por el cilindro pequeño y dos reacciones iguales, que garantizan el equilibrio. Para determinar cómo se distribuyen los esfuerzos en el alojamiento se muestra en la figura 4.2.b.



Se hace un análisis similar para el elemento interno (perno). La figura 4.3 muestra las distribuciones de esfuerzos radiales y tangenciales, similares a los que se presentan en el alojamiento, con la diferencia que en el eje todos los esfuerzos son de compresión, en el alojamiento los tangenciales son de tracción.



Nomenclatura:

- B: radio mayor del perno en el punto de carga máxima.
- b: radio menor del perno en el punto de carga máxima.
- z: generatriz del perno cónico.
- C: radio interior inicial del alojamiento.
- C_e : radio exterior del alojamiento.
- A_l : área lateral de un cono truncado.
- ν_o : relación de Poisson del alojamiento.
- ν_i : relación de Poisson del perno.
- F_{max} : Fuerza axial máxima del alojamiento.
- D_{max} : Desplazamiento axial del perno cónico en el punto de carga máxima.
- E_o : módulo de elasticidad del alojamiento.
- E_i : módulo de elasticidad del perno.
- P_c : presión en la superficie de contacto.
- σ_r : esfuerzo radial de compresión en la superficie de contacto.
- σ_{to} : esfuerzo tangencial en la superficie externa del alojamiento.
- σ_{tco} : esfuerzo tangencial en la superficie de contacto del alojamiento.
- σ_{tci} : esfuerzo tangencial en la superficie de contacto del perno cónico.
- ε_{tco} : deformación tangencial en la superficie de contacto del elemento externo.

4.2. Análisis de cilindros de pared gruesa.

Para determinar el esfuerzo radial σ_r , y el tangencial σ_t , se considera primero que el espesor de pared es mayor 1/10 parte de su radio medio. Se considera el alojamiento separado del perno cónico, se le asigna un radio r. Al sumar las fuerzas e igualar a cero la suma, obtendremos.

$$2\sigma_t dr + 2\sigma_r r - 2(\sigma_t + d\sigma_r)(r + dr) = 0 \quad (1)$$

Al simplificar y despreciar cantidades diferenciales de orden superior (dr), la ecuación entonces puede describirse.

$$\sigma_t - \sigma_r - r \frac{d\sigma_r}{dr} = 0 \quad (2)$$

$$\sigma_t = \sigma_r + r \frac{d\sigma_r}{dr} \quad (3)$$

La ecuación relaciona las incógnitas σ_t y σ_r , pero una segunda ecuación se obtiene para partir de la hipótesis de que la deformación longitudinal es constante, tanto σ_t como σ_r son positivos en el caso de tracción, de modo que la ecuación a compresión se expresa.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (5)$$

$$\varepsilon_l = -\frac{\nu\sigma_t}{E} - \frac{\nu\sigma_r}{E} \quad (6)$$

Donde ν_0 es la relación de Poisson y ε_l es la deformación longitudinal. Ambas son constantes

$$-\frac{E\varepsilon_l}{\nu_0} = \sigma_t + \sigma_r \quad (7)$$

El lado izquierdo de la ecuación es constante, por brevedad la llamaremos $2K_1$.

$$\sigma_t + \sigma_r = 2K_1 \quad (8)$$

De la ecuación (3), σ_t sustituimos en la ecuación (8), y simplificamos.

$$\sigma_r + \sigma_r + r \frac{d\sigma_r}{dr} = 2K_1 \quad (9)$$

Para resolver la ecuación se tiene,

$$r \frac{d\sigma_r}{dr} + 2\sigma_r = 2K_1 \quad (10)$$

Al multiplicar la ecuación (9) por r queda,

$$r^2 \frac{d\sigma_r}{dr} + 2r\sigma_r = 2rK_1 \quad (11)$$

Se observa que.

$$\frac{d}{dr}(r^2\sigma_r) = r^2 \frac{d\sigma_r}{dr} + 2r\sigma_r \quad (12)$$

Por lo tanto

$$\frac{d}{dr}(r^2\sigma_r) = 2rK_1 \quad (13)$$

Por integración,

$$r^2\sigma_r = r^2K_1 + K_2 \quad (14)$$

Donde K_2 es una constante de integración. La ecuación (14) puede escribirse como.

$$\sigma_r = K_1 + \frac{K_2}{r^2} \quad (15)$$

Al sustituir este valor en la ecuación (8), resulta.

$$\sigma_t + K_1 + \frac{K_2}{r^2} = 2K_1 \quad (16)$$

$$\sigma_t = -K_1 - \frac{K_2}{r^2} + 2K_1 \quad (17)$$

$$\sigma_t = K_1 - \frac{K_2}{r^2} \quad (18)$$

Para evaluar las constantes de integración se debe notar que, en los límites del cilindro,

$$\sigma_r = -P_i \quad \text{En } r = B \quad (19)$$

$$\sigma_r = -P_0 \quad \text{En } r = C_e \quad (20)$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación (15) queda,

$$-P_i = K_1 + \frac{K_2}{B^2} \quad (21)$$

$$-P_0 = K_1 + \frac{K_2}{C_e^2} \quad (22)$$

Las constantes se determinan por solución simultánea de estas dos ecuaciones.

$$K_1 = \frac{P_i B^2 - P_0 C_e^2}{C_e^2 - B^2} \quad (23)$$

$$K_2 = \frac{B^2 C_e^2 (P_0 - P_i)}{C_e^2 - B^2} \quad (24)$$

Los esfuerzos positivos indican tracción y los negativos compresión. A continuación se determinan los esfuerzos que se producen cuando la presión externa es igual a cero. Al sustituir $p_0 = 0$ en las ecuaciones (25) y (26) se obtiene.

$$\sigma_t = \frac{P_c B^2 - P_0 C_e^2 - C^2 C_e^2 (P_0 - p_c) / r^2}{C_e^2 - B^2} \quad (25)$$

$$\sigma_r = \frac{P_c B^2 - P_0 C_e^2 + B^2 C_e^2 (P_0 - p_c) / B^2}{C_e^2 - B^2} \quad (26)$$

$$\sigma_t = \frac{B^2 P_c}{C_e^2 - B^2} \left(1 + \frac{C_e^2}{r^2} \right) \quad (27)$$

$$\sigma_r = \frac{B^2 P_c}{C_e^2 - B^2} \left(1 - \frac{C_e^2}{r^2} \right) \quad (28)$$

Para demostrar cómo se distribuyeron los esfuerzos en el alojamiento, los esfuerzos máximos se producen en la superficie interna, donde $r=B$. Su magnitud es.

$$\sigma_t = P_c \frac{C_e^2 + B^2}{C_e^2 - B^2} \quad (29)$$

$$\sigma_r = -P_c \quad (30)$$

Los esfuerzos que se producen en la superficie externa del alojamiento, sometido sólo a presión exterior, se determinan de forma semejante, tales esfuerzos son.

$$\sigma_t = -P_0 \frac{C_e^2 + B^2}{C_e^2 - B^2} \quad (31)$$

$$\sigma_r = -P_0 \quad (32)$$

De este análisis se generan esfuerzos normales en las direcciones radial y tangencial, las distribuciones de estos esfuerzos se muestran en la figura 4.2 en los puntos interiores se presenta un esfuerzo radial máximo de compresión $\sigma_r = -P_c$. El esfuerzo radial se reduce desde este valor máximo hasta cero en los puntos exteriores.

Los esfuerzos tangenciales varían desde un máximo σ_{tco} en el diámetro interno del alojamiento y hasta un mínimo σ_{to} en el diámetro exterior del alojamiento. Los estados de esfuerzo de los puntos en la superficie interior (punto B) y en la exterior (punto A) se muestran en la figura 4.2.

4.3. Ecuaciones para el cálculo de esfuerzo y deformación.

Una de las formas de montar o desmontar dos piezas con ajuste de interferencia es aplicar una fuerza axial máxima figura 4.4, por ejemplo, con una prensa hidráulica, con un dispositivo especial o mediante impactos. La fuerza axial máxima F_{max} que debe aplicarse para efectuar su montaje (o desmontaje) es igual a la fuerza de fricción F_f , que aparece en la superficie de contacto, la fuerza de fricción es igual al coeficiente de fricción μ_k , multiplicado por la fuerza normal F_n :

$$F_a = F_f = \mu_k F_n \quad (33)$$

Las fuerzas de fricción que obran entre superficies en reposo, una con respecto a la otra, se llaman fuerzas de fricción estática μ_e , una vez que el movimiento comienza, las fuerzas de fricción que actúan entre las superficies ordinariamente disminuyen se llaman fuerzas de fricción cinética μ_k .

$$\mu_e > \mu_k \quad (34)$$

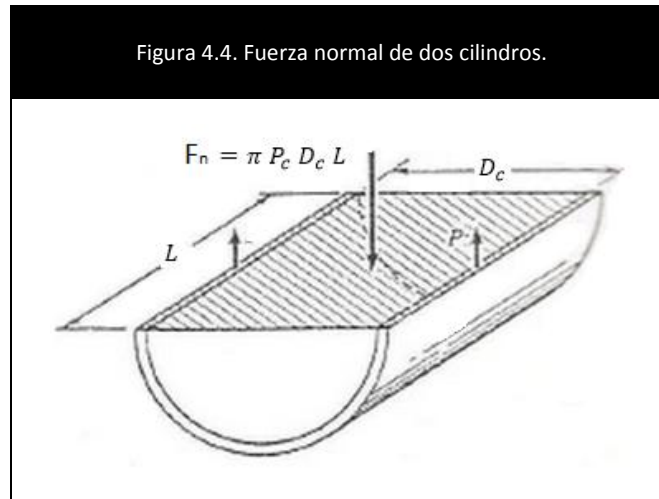
Donde para dos cilindros ajustados por interferencia.

$$F_n = P_c A = P_c \pi D_c L \quad (35)$$

Entonces la fuerza axial de dos cilindros.

$$F_a = P_c \pi D_c L \mu_k \quad (36)$$

Donde en la figura 4.4 se muestra el área de contacto de dos cilindros, la F_n fuerza normal durante el montaje o desmontaje varía a medida si la superficie de contacto aumenta o disminuye por la longitud (L) y el diámetro (D_c).



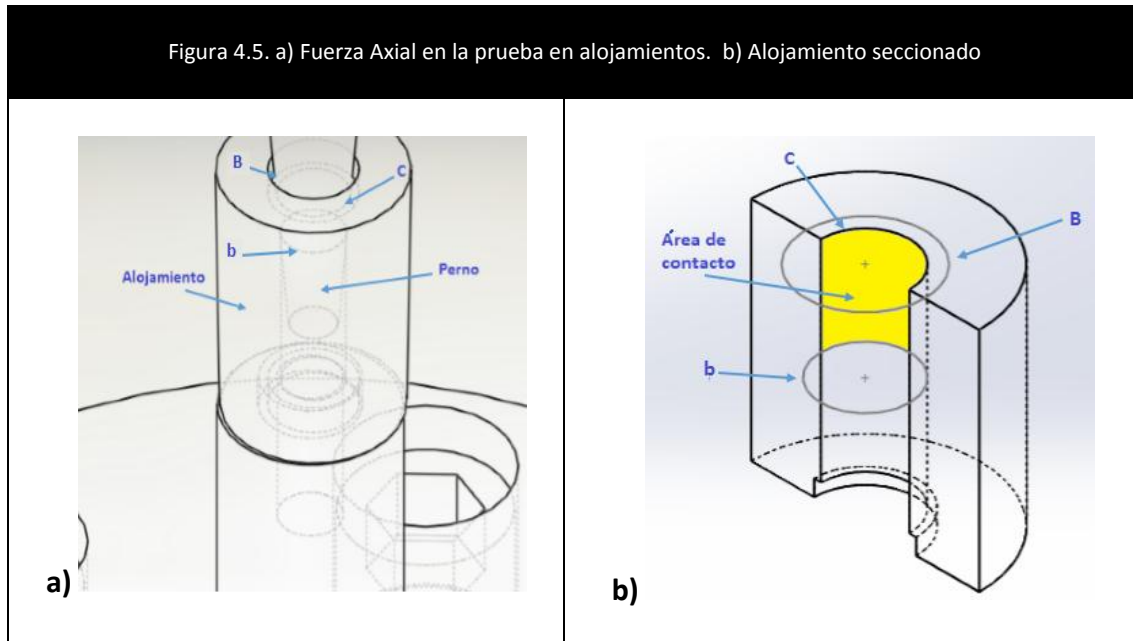
Para el caso de estudio en esta tesis se tiene un perno cónico, por lo que, el área lateral de un perno cónico es el área de contacto, donde B, b, z , es respectivamente el radio mayor, menor y la generatriz de un cono truncado, como lo muestra la figura 4.5.a.

$$A_l = \pi(B + b) * z \quad (37)$$

La fuerza axial máxima F_{max} para un perno cónico es:

$$F_{max} = [\pi(B + b) * z] P_c \mu_k \quad (38)$$

El alojamiento aumenta su radio de C a B. El área de contacto axialmente va del radio mayor B al diámetro menor b del perno cónico.



Los esfuerzos que produce esta presión, figura 4.5.b. se puede determinar con las ecuaciones de (Lamé y Birnie); cada uno de ellos se usa conjuntamente con una teoría de falla.

$$\sigma_{to} = \frac{2P_c B^2}{C_e^2 - B^2} \quad (39)$$

$$\sigma_{tco} = P_c \left(\frac{C_e^2 + B^2}{C_e^2 - B^2} \right) \quad (40)$$

Las ecuaciones de Birnie se usan conjuntamente con la teoría de falla por deformación máxima:

$$\sigma_{to} = \frac{2P_c B^2}{C_e^2 - B^2} \quad (41)$$

$$\sigma_{tco} = P_c \left(\frac{C_e^2 + B^2}{C_e^2 - B^2} + \nu_o \right) \quad (42)$$

En un ajuste por contracción o forzado, la presión es causada por la interferencia (i) del perno cónico con el alojamiento, debido a esta presión el diámetro del alojamiento se incrementa. Los valores de la diferencia de los diámetros del alojamiento (2C) y el perno (2B), es la interferencia diametral para el ajuste a presión.

$$i = 2B - 2C \quad (43)$$

La disminución en el componente exterior en la parte de contacto δ_{modteo} .

$$\delta_{modteo} = B \varepsilon_{tco} \quad (44)$$

Ya que,

$$\varepsilon_{\text{modteo}} = \frac{\sigma_{\text{tco}}}{E} + \frac{\nu \sigma_{\text{tco}}}{E} \quad (45)$$

Si se ensambla un alojamiento sobre un perno macizo, entonces el radio interior es igual a cero con lo que la ecuación resultante es:

$$\delta_{\text{modteo}} = \frac{P_c B}{E_o} \left[\frac{c^2 + B^2}{c^2 - B^2} + \nu_o \right] + \frac{P_c B}{E_1} [1 - \nu_i] \quad (46)$$

Por lo que, la superficie interna del alojamiento, la deformación es.

$$\varepsilon_{\text{modteo}} = \frac{\text{cambio en la longitud de la circunferencia}}{\text{longitud original de la circunferencia}}$$

O sea,

$$\varepsilon_{\text{modteo}} = \frac{2\pi(B + \delta_o) - 2\pi B}{2\pi b} = \frac{\delta_o}{B} \quad (47)$$

Capítulo 5. Resultados

5.1 Memoria de cálculo.

El cálculo de cada componente se programó, por lo que en este subtema se muestra los cálculos con respecto al componente 3: 3-Derecho-C1 para el alojamiento M2, basándose en el modelo teórico del subtema 4.3.

- a) Propiedades del componente de PBT con 30% de fibra de vidrio.

Tabla 5.1. Celanex 2300 GV 1/30 PBT.			
Propiedades físicas.	Valor	Unidad	Prueba estándar
Densidad	1150	Kg/m ³	ISO 1183
Absorción Humedad (23°C/50/RH)	0.15	%	ISO 62
Índice de fluidez	9	cm ³ /10min	ISO 1183
Temperatura Masa fundida	250	°C	ISO 1183
Carga Masa fundida	2.16	Kg	ISO 1183
Propiedades Mecánicas.			
Módulo de Young	10300	MPa	ISO 527-2/1A
Esfuerzo (5mm/min)	150	MPa	ISO 527-2/1A
Deformación (5mm/min)	2.5	%	ISO 527-2/1A
Módulo de cedencia (1h)	9200	MPa	ISO 899-1
Módulo de cedencia (1000h)	6500	MPa	ISO 899-1
Impacto CHARPY @23°C	60	KJ/m ²	ISO 179/1eU

- b) Presión de contacto (P_c).

$$\sigma_r = -P_c$$

Se obtiene a partir de la fuerza axial (F_{max}), de la ecuación (38) del capítulo 3.

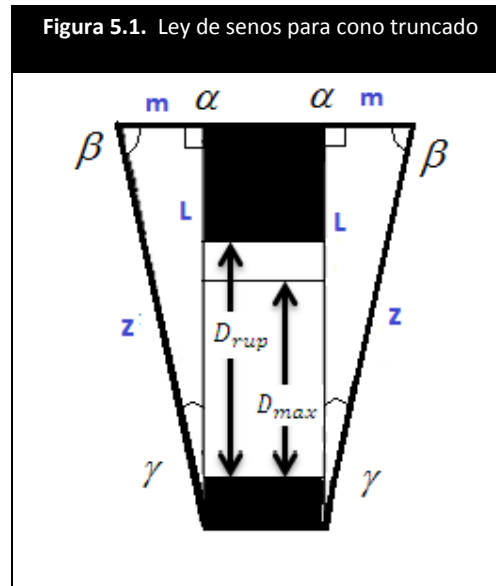
$$F_{max} = [\pi(B + b) * z] P_c \mu_k$$

$$P_c = \frac{F_{max}}{[\pi(B + b) z \mu_k]}$$

La fuerza axial (F_{max}), corresponde al valor máximo registrado en la prueba por la máquina universal de pruebas. El diámetro menor (b), corresponde al diámetro inicial de la huella, que es igual al diámetro interior (C) del alojamiento.

b = Diámetro inicial de la huella

El diámetro mayor (B) se obtiene usando la ley de senos para 2 ángulos [α , γ] y un cateto (L), este último que corresponde al desplazamiento vertical del perno hasta el punto de carga máxima como se muestra en la figura 5.1.



La fórmula para la ley de senos para la carga máxima es:

$$\frac{\sin \alpha}{z} = \frac{\sin \beta}{L} = \frac{\sin \gamma}{m}$$

$$\alpha = 90^\circ \quad z = ?$$

$$\beta = 85^\circ \quad L = D_{max}$$

$$\gamma = 5^\circ \quad m = ?$$

La generatriz (z) y el diámetro mayor (B) se obtienen.

$$z = \frac{\text{sen} \alpha * D_{max}}{\text{sen} \beta} = \frac{\text{sen} 90 * 4.6 [\text{mm}]}{\text{sen} 85} = 4.617 [\text{mm}]$$

$$B = \left(\frac{\text{sen} \gamma * D_{max}}{\text{sen} \beta} \right) * 2 + C = \left(\frac{\text{sen} 5 * 4.6 [\text{mm}]}{\text{sen} 85} \right) * 2 + 2.235 [\text{mm}] = 2.6374 [\text{mm}]$$

Se despeja la presión de contacto (P_c) y se calcula.

$$P_c = \frac{F_{max}}{[\pi(B + b) z \mu_k]} = \frac{165.3 [\text{kg}]}{[3.1416 * (2.6374 [\text{mm}] + 2.34 [\text{mm}]) * 3.5937 [\text{mm}] * 0.25]} = 12.7509 \left[\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$P_c = 91.77 [\text{MPa}]$$

Esfuerzos.

c) Esfuerzos tangenciales.

c.1) Esfuerzo tangencial en la superficie externa del elemento externo. (σ_{to}).

$$\sigma_{to} = \frac{2P_c B^2}{C_e^2 - B^2} =$$

$$\sigma_{to} = \frac{2(91.77[\text{MPa}] * (2.6374 [\text{mm}])^2}{((6.63 [\text{mm}])^2 - (2.6374 [\text{mm}])^2)} =$$

$$\sigma_{to} = 34.5 [\text{MPa}]$$

c.2) Esfuerzo tangencial en la superficie de contacto del elemento externo. (σ_{tco})

$$\sigma_{tco} = P_c \left(\frac{c_e^2 + B^2}{c_e^2 - B^2} \right)$$

$$\sigma_{tco} = 91.77 [\text{MPa}] * \left(\frac{(6.59 [\text{mm}])^2 + (2.6374 [\text{mm}])^2}{(6.59 [\text{mm}]^2 - (2.6374 [\text{mm}])^2)} \right)$$

$$\sigma_{tco} = 126.277 [\text{MPa}]$$

d) Esfuerzo Radial. (σ_{rco})

$$\sigma_{rco} = -P_c$$

$$\sigma_{rco} = -91.77 [\text{MPa}]$$

e) Desplazamiento del modelo teórico.

$$\delta_{modteo} = \left(\frac{P_c B}{E_o} \left[\frac{c_e^2 + B^2}{c_e^2 - B^2} + v_o \right] + \frac{P_c B}{E_1} [1 - v_i] \right)$$

$$\delta_{modteo} = \left(\frac{91.77 [\text{MPa}] * 2.6374 [\text{mm}]}{(10300 [\text{MPa}])} \left[\frac{(6.63 [\text{mm}])^2 + (2.6374 [\text{mm}])^2}{(6.63 [\text{mm}])^2 - (2.6374 [\text{mm}])^2} + 0.4 \right] \right) +$$

$$+ \frac{91.77 [\text{MPa}] * 2.6374 [\text{mm}]}{200000 [\text{MPa}]} [1 - 0.3]$$

$$\delta_{modteo} = 0.0426 [\text{mm}]$$

Deformación.

f) Deformación del modelo teórico en la superficie de contacto del elemento externo. (ε_{tco})

$$\varepsilon_{modteo} = \frac{\delta_{modteo}}{C}$$

$$\varepsilon_{modteo} = \frac{0.0426 [mm]}{2.235 [mm]}$$

$$\varepsilon_{modteo} = 1.9052 \left[\frac{mm}{mm} \right]$$

g) Interferencia diametral periférica (i).

$$i = 2B - 2C$$

$$i = 2(2.6374 [mm]) - 2(2.235 [mm])$$

$$i = 0.8049 [mm]$$

5.2. Resultados.

El capítulo presenta los resultados obtenidos al realizar la prueba en el alojamiento y el utilizar un modelo teórico. La hoja de resultados es para cada componente, siendo 8 componentes a los que se les hicieron las pruebas en este subtema 5.2, encontramos 8 hojas de resultados, ya que se cuenta con 2 componentes iguales, se tienen 4 tipos de componentes diferentes.

Los datos y valores de cada alojamiento se acomodan en la hoja de resultados en columna, teniendo tres columnas que son de cada alojamiento (M1, M2, M3).

En el momento que se hizo la prueba los valores que se midieron fueron diámetros y alturas del alojamiento y del perno cónico, pero por comodidad para aplicar las ecuaciones del subtema 4.3, los valores medidos de los diámetros en la hoja de resultados se anotan los radios del alojamiento y del perno cónico.

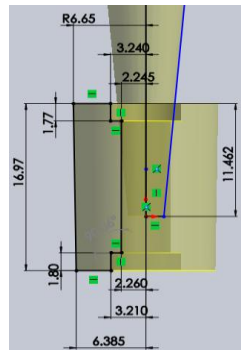
El orden como están anotados los resultados en la hoja de resultados es como se realizó la prueba en el alojamiento y su cálculo: se miden las dimensiones del alojamiento y del perno, se obtienen los resultados de la prueba en el alojamientos que proporciona la maquina universal al realizar la prueba, se calculan variables para poder obtener los esfuerzos y las deformaciones como presenta en el capítulo 4.3.

Después de cada hoja de resultados se encuentran 3 gráficos, que corresponde al comportamiento que tuvo cada alojamiento carga vs desplazamiento, al realizar la prueba.

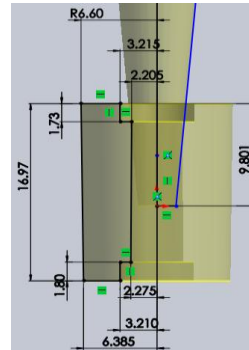
Hoja de resultados de los alojamientos M1, M2 y M3 del componente 1.

Componente 1: 1-Izquierdo-C1

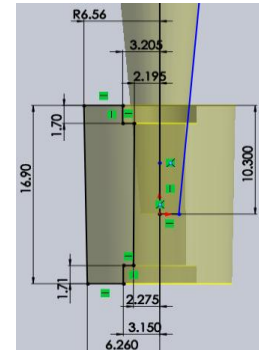
Alojamiento: M1 [mm]



Alojamiento: M2 [mm]



Alojamiento: M3 [mm]



Dimensiones del alojamiento y perno

	M1	M2	M3
Superior			
C _e [mm] =	6.645	6.6	6.555
C _b [mm] =	3.24	3.215	3.205
C [mm] =	2.245	2.205	2.195
T _b [mm] =	1.77	1.73	1.7
C _H [mm] =	16.97	16.97	16.9
b [mm] =	2.255	2.23	2.201
Inferior			
C _E [mm] =	6.385	6.385	6.26
C _B [mm] =	3.21	3.21	3.15
C _I [mm] =	2.26	2.275	2.275
T _B [mm] =	1.8	1.8	1.71

Resultados de la prueba en el alojamiento

F _{max} [kN]=	2.021	1.607	1.85
D _{max} [mm]=	5.4	4.3	4.95

Variables calculadas

B [mm] =	2.717	2.581	2.628
z [mm] =	5.421	4.316	4.969
P _C [MPa] =	95.758	99.141	98.387

Esfuerzos de carga máxima

σ _{to} [Mpa]=	38.460	35.804	37.688
σ _{tco} [MPa]=	134.218	134.945	136.075

Desplazamiento

δ _{modteo} [mm]=	0.0464	0.0447	0.0457
i [mm] =	0.945	0.752	0.866

Deformación

ε _{modteo} [mm/mm]=	2.068	2.025	2.080
------------------------------	-------	-------	-------

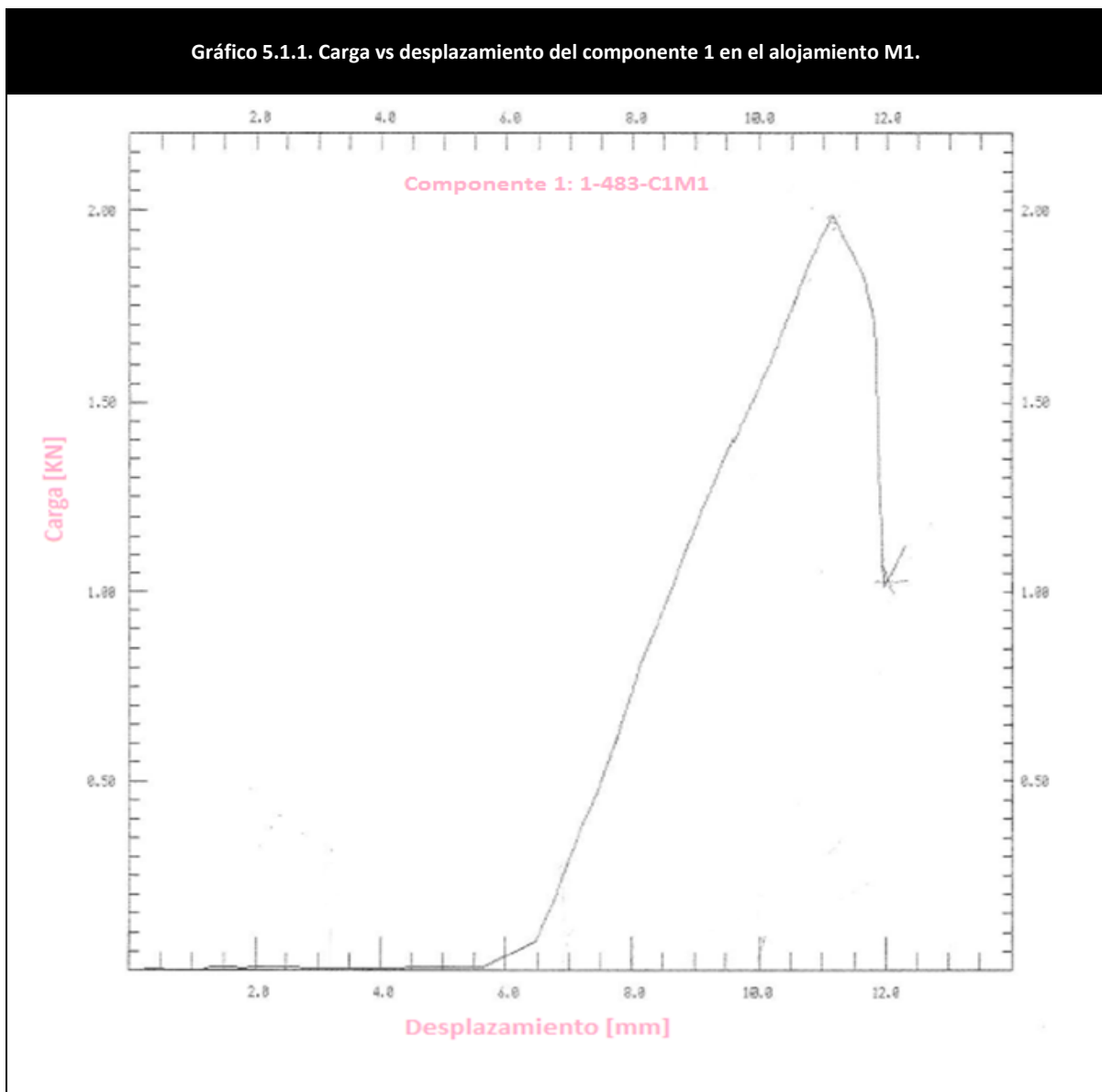
Alojamiento M1 del componente 1-Izquierdo-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 11.1 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.7 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 2.021 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.4 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{modteo} = 2.068 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



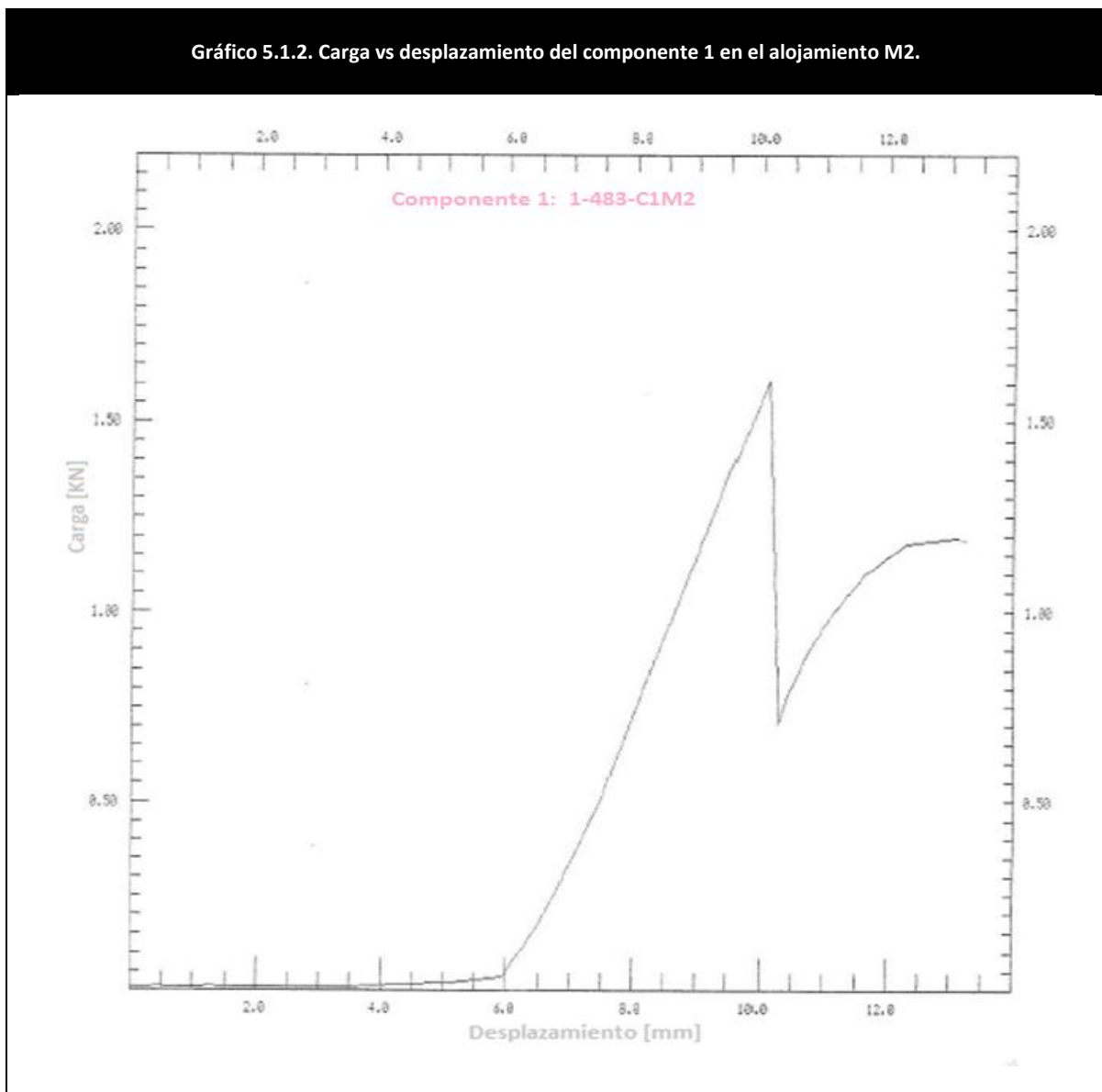
Alojamiento M2 del componente 1-Izquierdo-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.2 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.9 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.607 [KN]$
- $D_{max} = 4.3 [mm]$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{modteo} = 2.025 \left[\frac{mm}{mm} \right]$



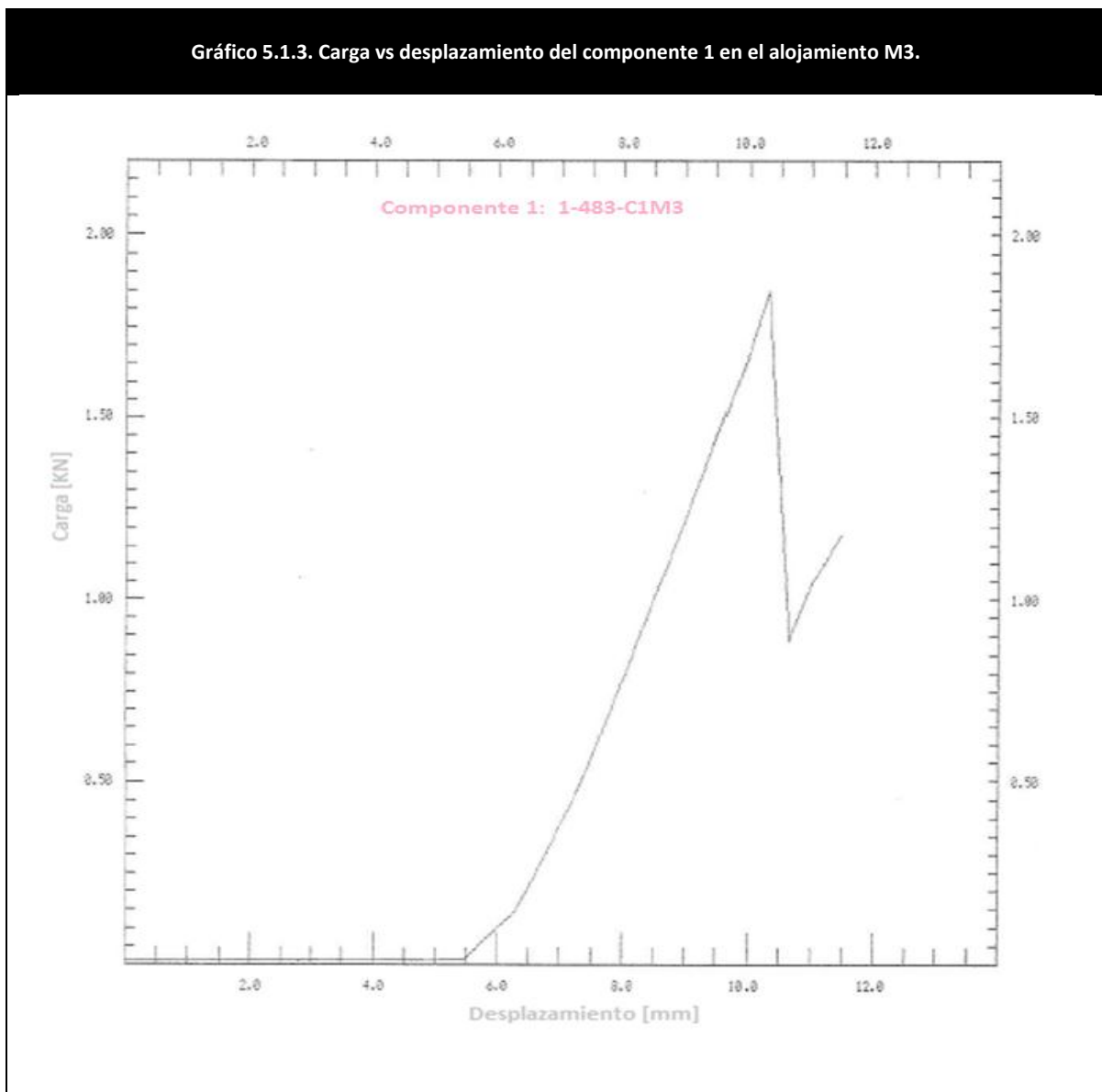
Alojamiento M3 del componente 1-Izquierdo-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.4 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.5 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.85 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.9 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

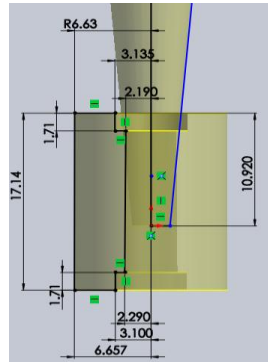
- $\varepsilon_{modteo} = 2.080 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



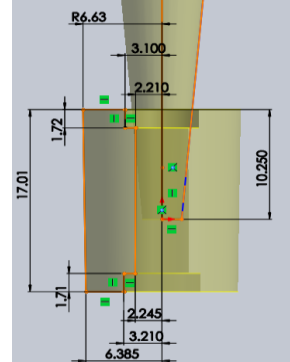
Hoja de resultados de los alojamientos M1, M2 y M3 del componente 2.

Componente 2: 2-Izquierdo-C1

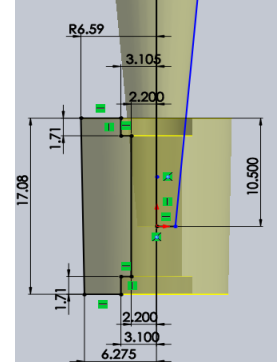
Alojamiento: M1 [mm]



Alojamiento: M2 [mm]



Alojamiento: M3 [mm]



Dimensiones del alojamiento y perno

	M1	M2	M3
Superior			
C_e [mm] =	6.63	6.63	6.585
C_b [mm] =	3.135	3.1	3.105
C [mm] =	2.19	2.21	2.2
T_b [mm] =	1.71	1.72	1.71
C_H [mm] =	17.14	17.01	17.08
b [mm] =	2.255	2.275	2.28
Inferior			
C_E [mm] =	6.565	6.385	6.275
C_B [mm] =	3.1	3.21	3.1
C_i [mm] =	2.29	2.245	2.2
T_B [mm] =	1.86	1.71	1.8

Resultados de la prueba en el alojamiento

F_{max} [kN]=	2.501	1.901	1.9
D_{max} [mm]=	5.5	4.8	5.05

Variables calculadas

B [mm] =	2.671	2.630	2.642
z [mm] =	5.521	4.818	5.069
P_c [MPa] =	118.769	103.895	98.662

Esfuerzos de carga máxima

σ_{to} [Mpa]=	46.030	38.801	37.852
σ_{tco} [MPa]=	164.799	142.697	136.514

Desplazamiento

δ_{modteo} [mm]=	0.0562	0.0480	0.0460
i [mm] =	0.962	0.840	0.884

Deformación

E_{modteo} [mm/mm]=	2.565	2.172	2.093
-----------------------	-------	-------	-------

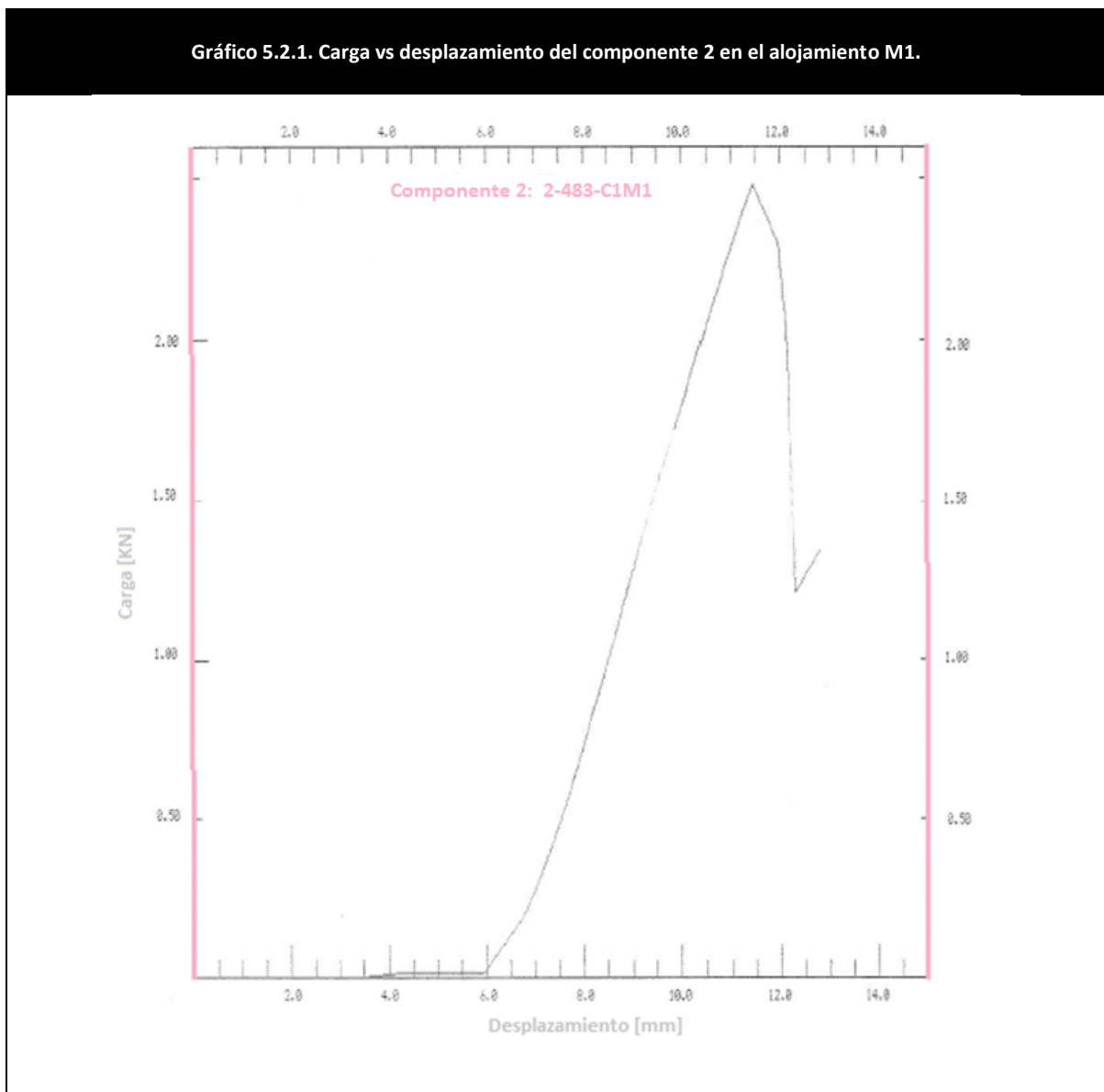
Alojamiento M1 del componente 2-Izquierdo-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 11.4 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 6 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 2.501 [KN]$
- $D_{max} = 5.5 [mm]$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{modteo} = 2.565 \left[\frac{mm}{mm} \right]$



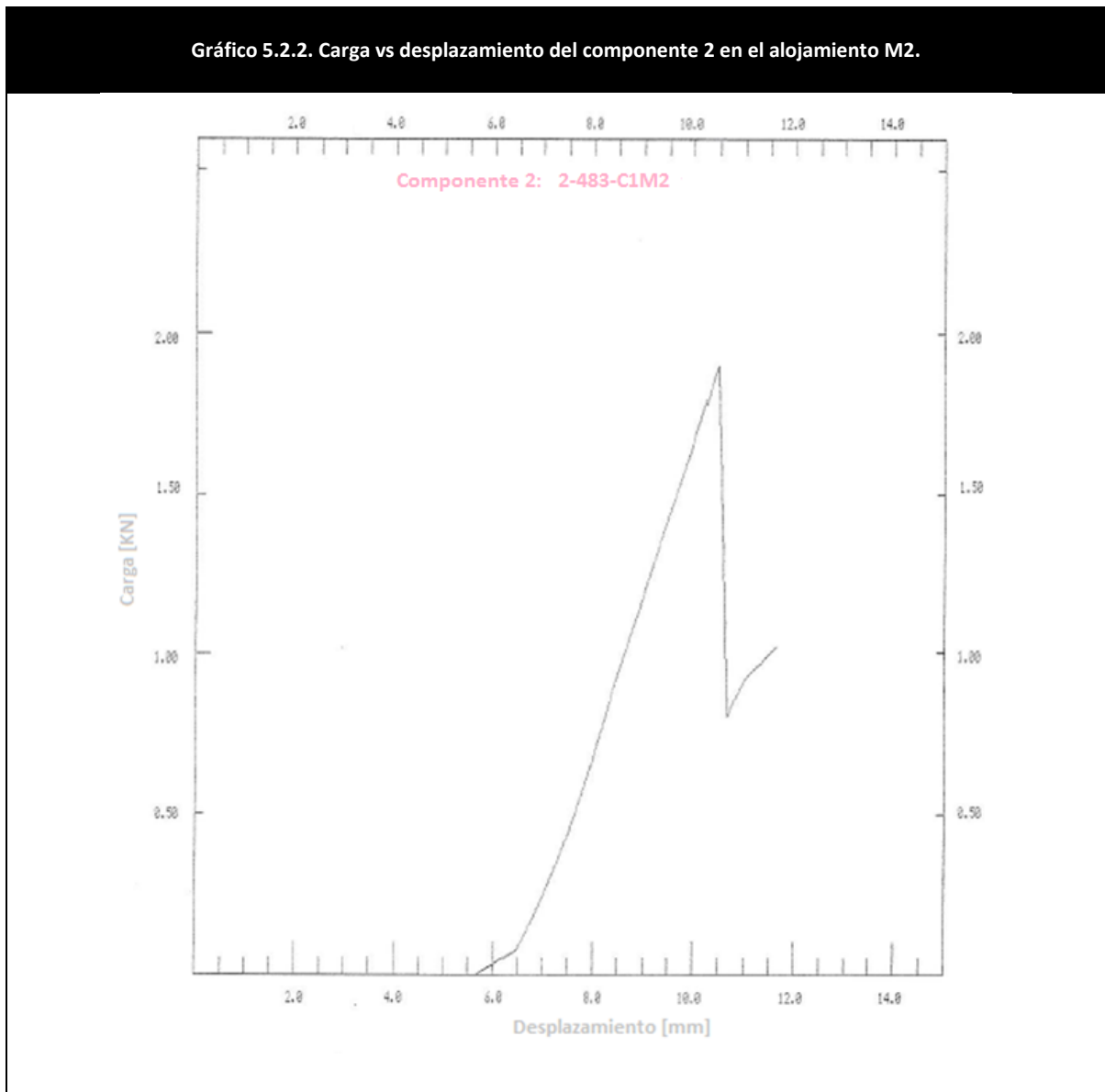
Alojamiento M2 del componente 2-Izquierdo-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.5 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.7 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.901 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.8 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{modteo} = 2.172 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



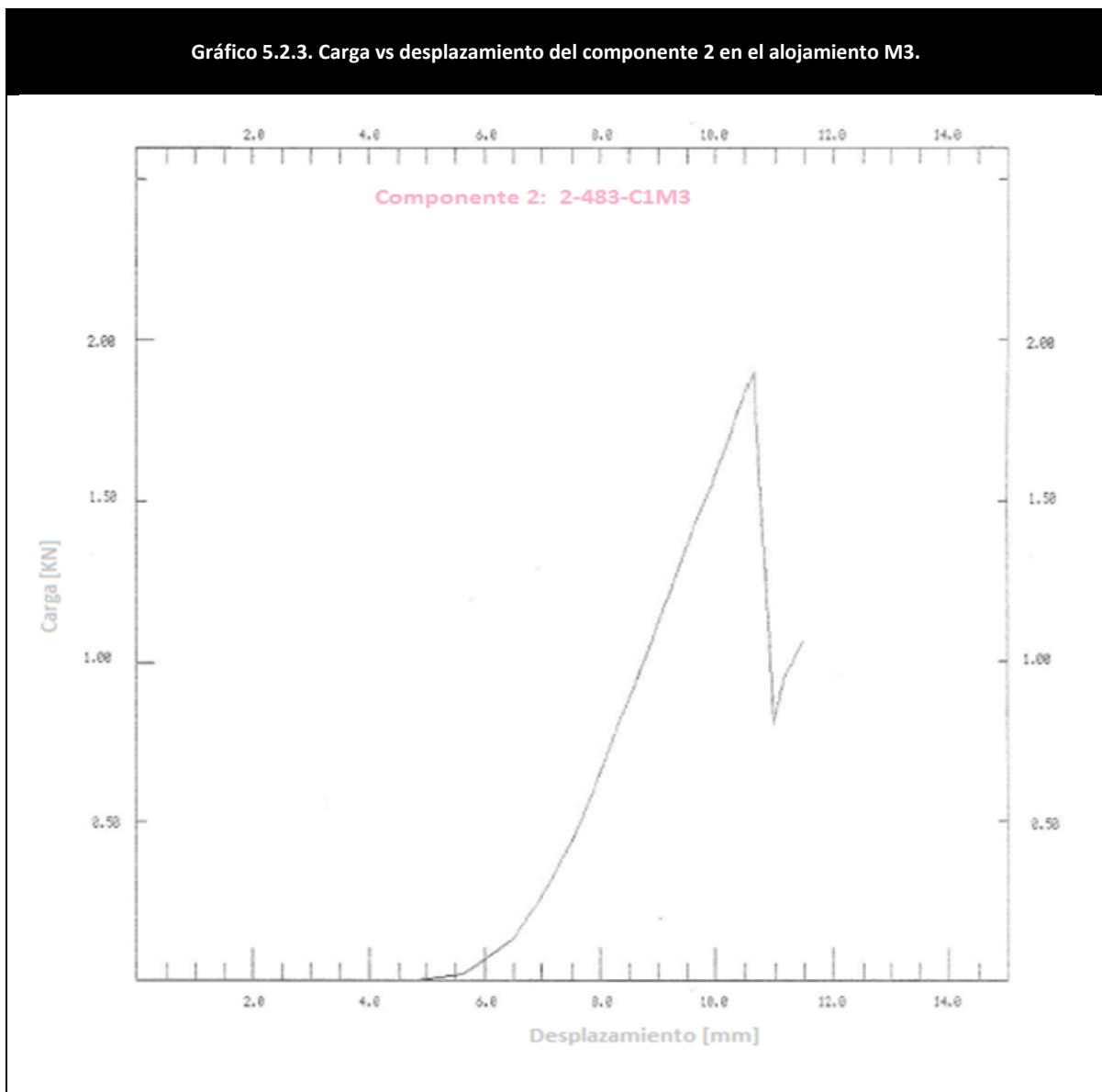
Alojamiento M3 del componente 2-Izquierdo-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.7 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.65 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.90 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.05 \text{ [mm]}$

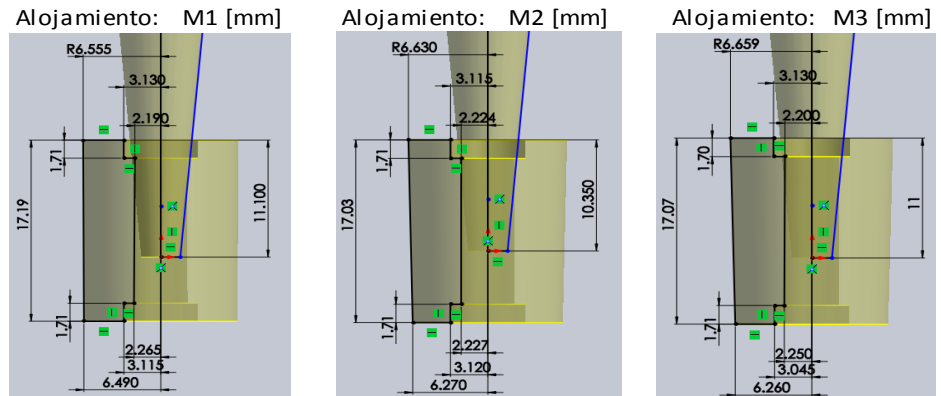
El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{modteo} = 2.093 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



Hoja de resultados de los alojamientos M1, M2 y M3 del componente 3.

Componente 3: 3-Derecho-C1



Dimensiones del alojamiento y perno

	M1	M2	M3
Superior			
C_e [mm] =	6.555	6.63	6.585
C_b [mm] =	3.13	3.115	3.13
C [mm] =	2.19	2.235	2.2
T_b [mm] =	1.71	1.71	1.7
C_H [mm] =	17.19	17.03	17.07
b [mm] =	2.285	2.34	2.335
Inferior			
C_E [mm] =	6.49	6.27	6.26
C_B [mm] =	3.115	3.12	3.045
C_i [mm] =	2.265	2.265	2.25
T_B [mm] =	1.66	1.66	1.71
Resultados de la prueba en el alojamiento			
F_{max} [kN]=	2.066	1.62	1.66
D_{max} [mm]=	5.5	4.6	5.15
Variables calculadas			
B [mm] =	2.671	2.637	2.651
z [mm] =	5.521	4.618	5.170
P_c [MPa] =	98.112	91.771	84.373
Esfuerzos de carga máxima			
σ_{to} [Mpa]=	39.073	34.506	32.626
σ_{tco} [MPa]=	137.185	126.277	116.999
Desplazamiento			
δ_{modteo} [mm]=	0.0467	0.0426	0.0396
i [mm] =	0.962	0.805	0.901
Deformación			
ϵ_{modteo} [mm/mm]=	2.131	1.905	1.799

Alojamiento M1 del componente 3-Derecho-C1.

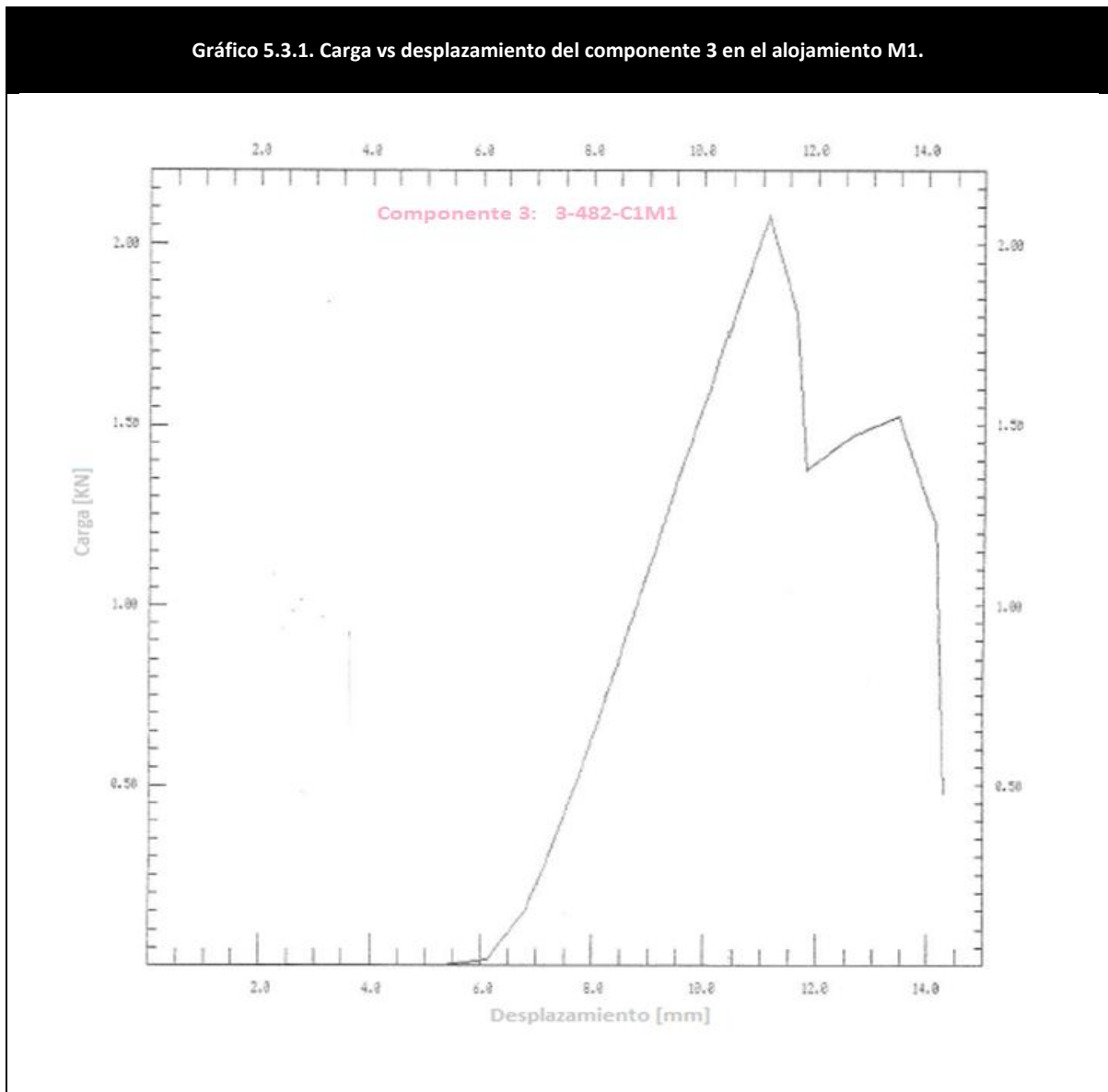
El perno cónico se desplaza axialmente 11.1 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 6.1 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 2.066 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.5 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{modteo} = 2.13 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$

Gráfico 5.3.1. Carga vs desplazamiento del componente 3 en el alojamiento M1.



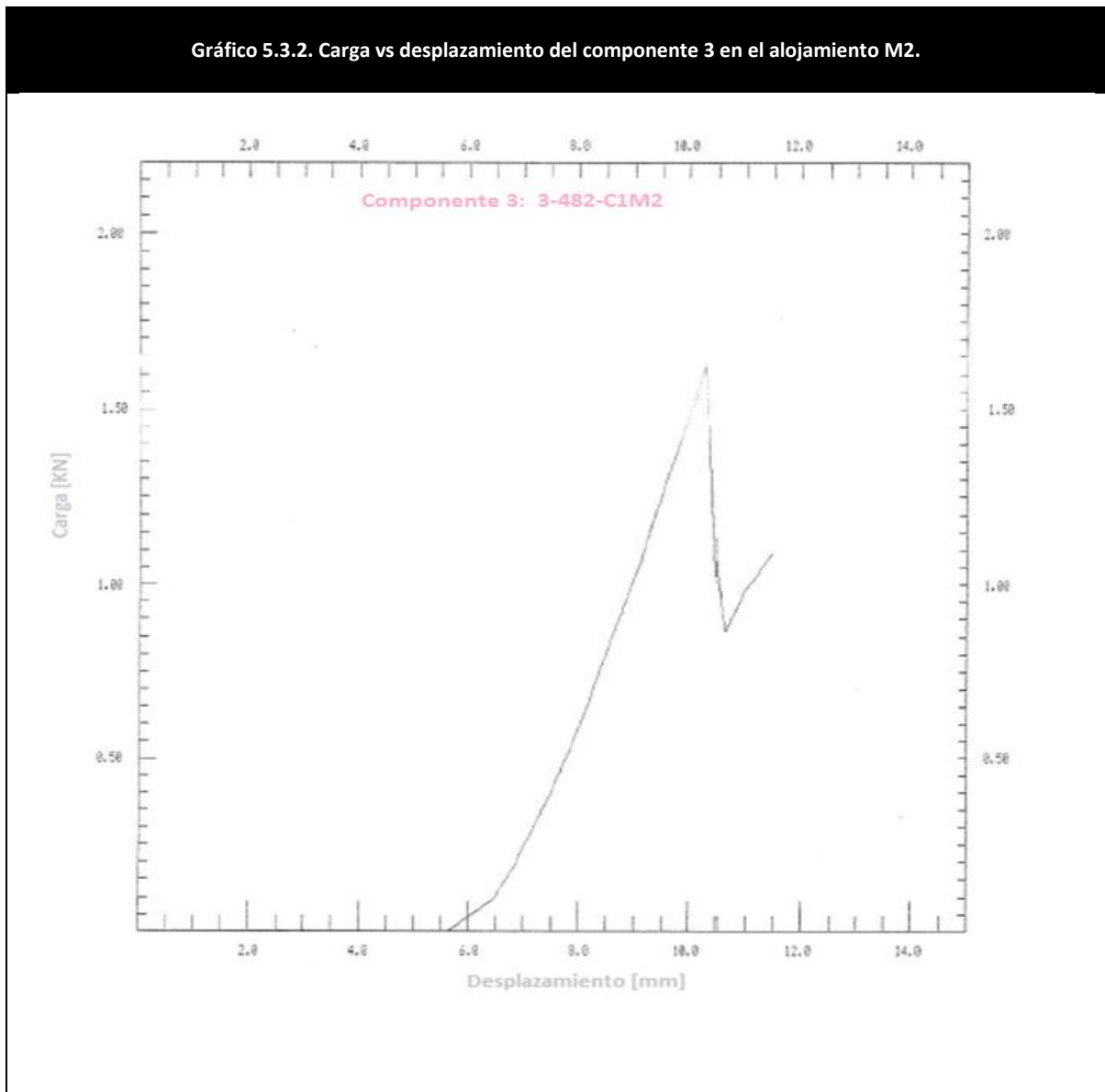
Alojamiento M2 del componente 3-Derecho-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.3 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.70 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.62 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.60 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{\text{modteo}} = 1.9052 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



Alojamiento M3 del componente 3-Derecho-C1.

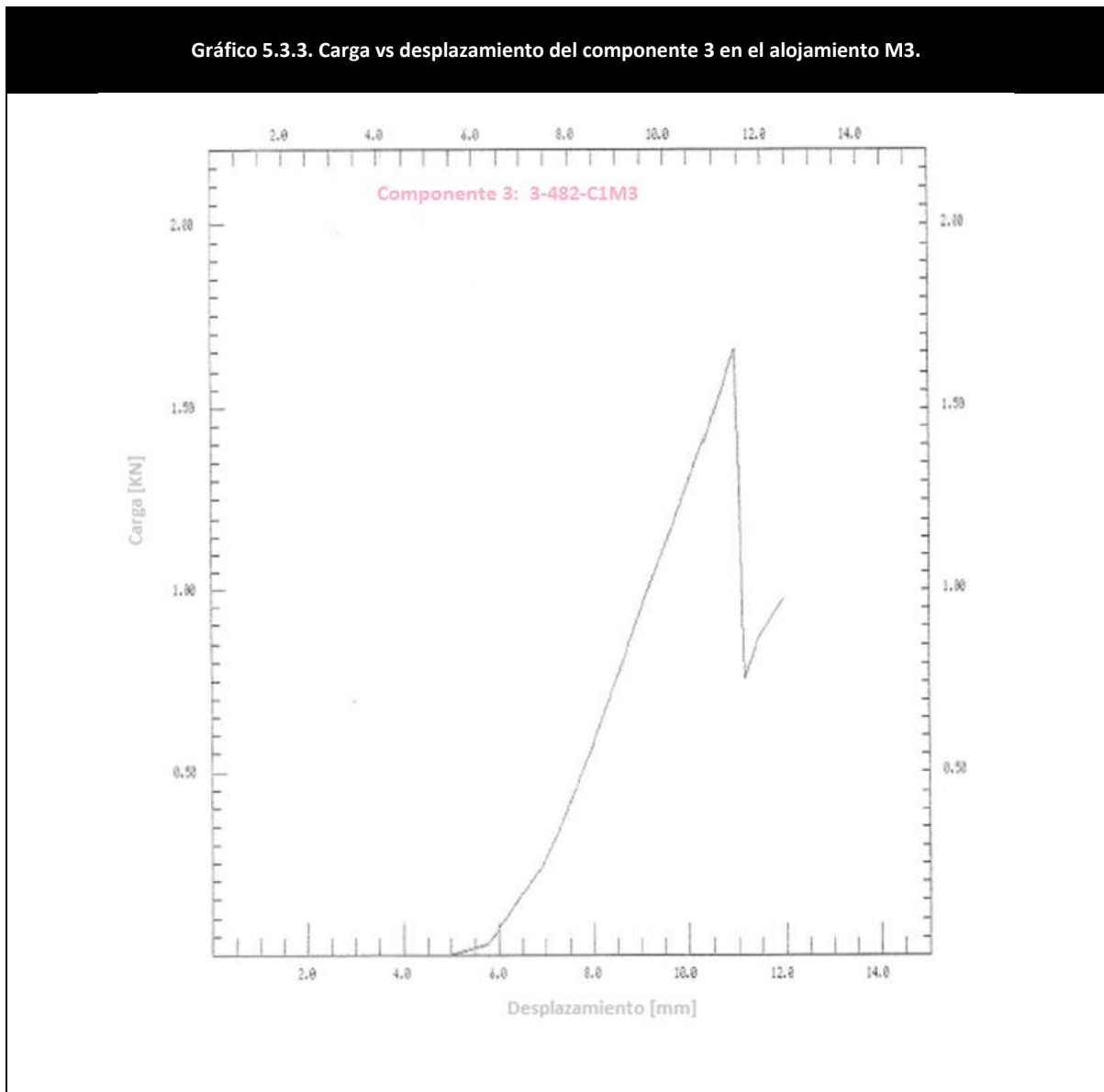
El perno cónico se desplaza axialmente 10.95 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.8 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.66 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.15 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

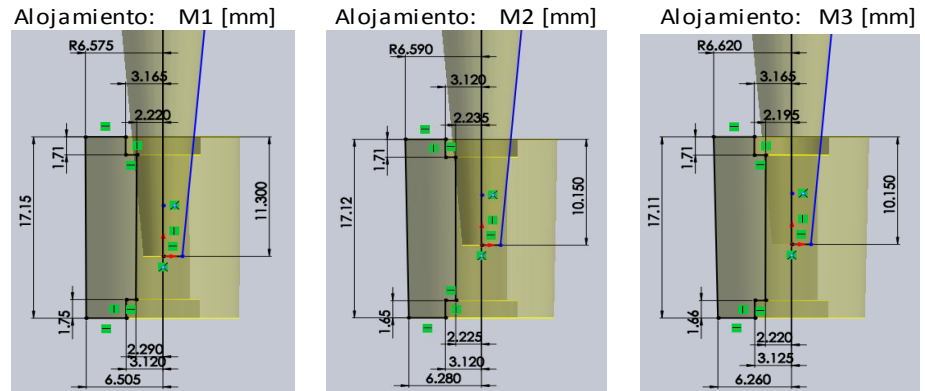
- $\varepsilon_{\text{modteo}} = 1.799 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$

Gráfico 5.3.3. Carga vs desplazamiento del componente 3 en el alojamiento M3.



Hoja de resultados de los alojamientos M1, M2 y M3 del componente 4.

Componente 4: 4-Derecho-C1



Dimensiones del alojamiento y perno

	M1	M2	M3
Superior			
C_e [mm] =	6.575	6.59	6.62
C_b [mm] =	3.165	3.12	3.165
C [mm] =	2.22	2.235	2.195
T_b [mm] =	1.71	1.71	1.71
C_H [mm] =	17.15	17.12	17.11
b [mm] =	2.31	2.335	2.305
Inferior			
C_E [mm] =	6.505	6.28	6.26
C_B [mm] =	3.12	3.12	3.125
C_i [mm] =	2.29	2.225	2.22
T_B [mm] =	1.75	1.65	1.66
Resultados de la prueba en el alojamiento			
F_{max} [kN]=	1.82	1.33	1.61
D_{max} [mm]=	5.45	4.45	5.3
Variables calculadas			
B [mm] =	2.697	2.624	2.659
z [mm] =	5.471	4.467	5.320
P_C [MPa] =	86.236	78.093	79.465
Esfuerzos de carga máxima			
σ_{to} [Mpa]=	34.884	29.437	30.564
σ_{tco} [MPa]=	121.120	107.530	110.029
Desplazamiento			
δ_{modteo} [mm]=	0.0416	0.0361	0.0373
i [mm] =	0.954	0.779	0.927
Deformación			
ϵ_{modteo} [mm/mm]=	1.872	1.614	1.701

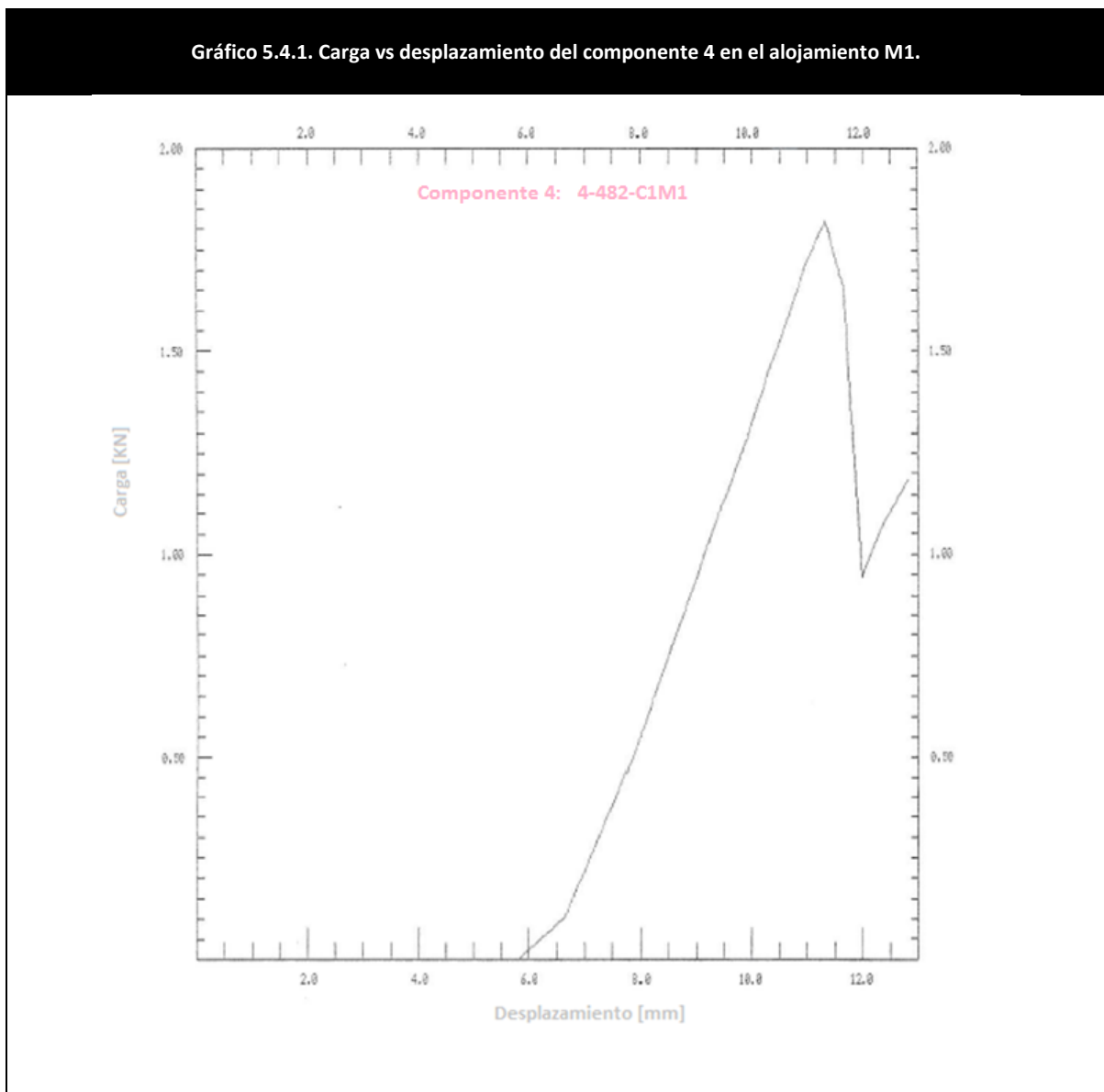
Alojamiento M1 del componente 4-Derecho-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 11.3 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.85 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.82 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.45 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{modteo} = 1.872 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



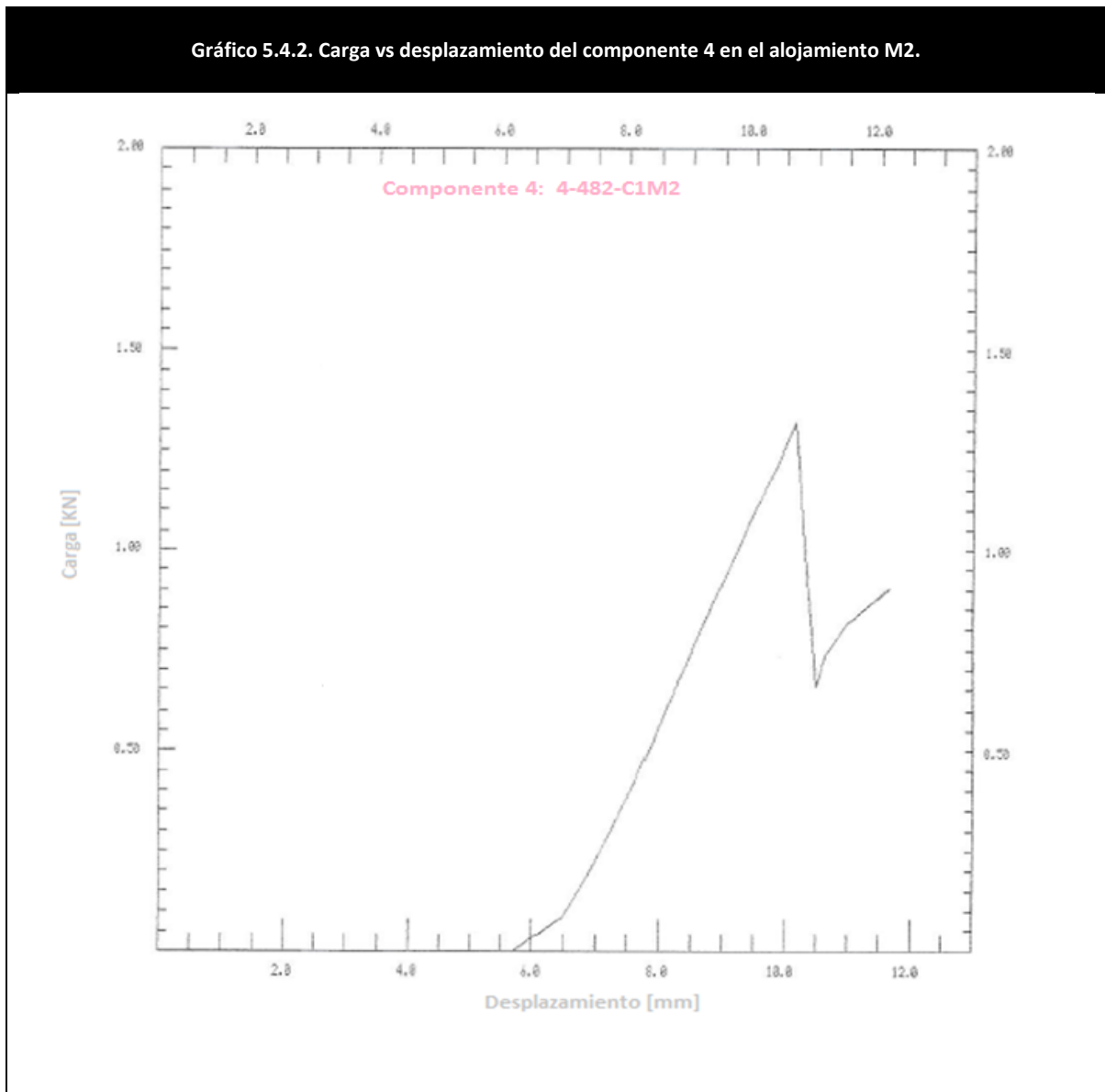
Alojamiento M2 del componente 4-Derecho-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.2 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.75 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.33 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.45 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{modteo} = 1.614 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



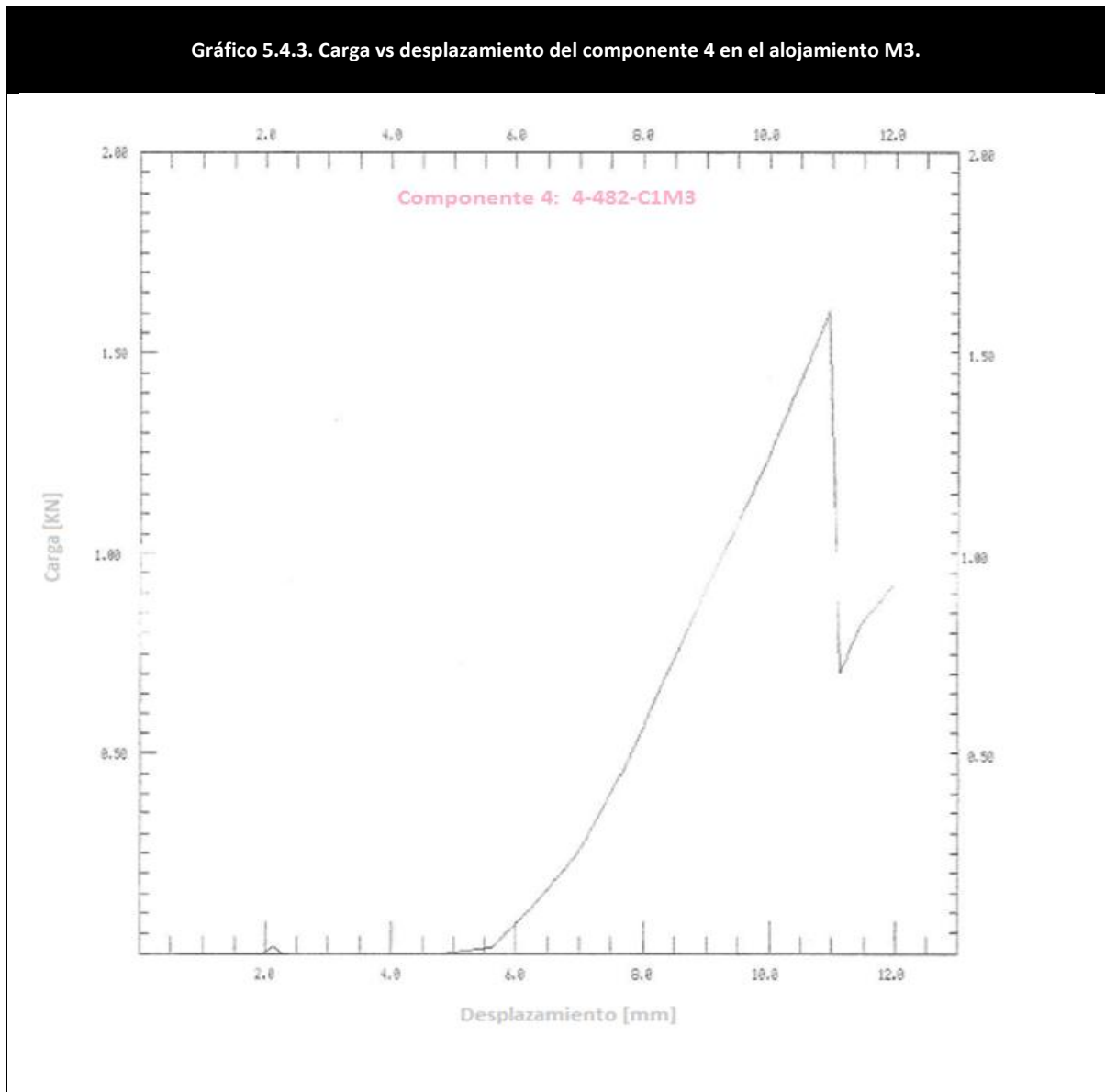
Alojamiento M3 del componente 4-Derecho-C1.

El perno cónico se desplaza axialmente 11 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.3 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.61 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.3 \text{ [mm]}$

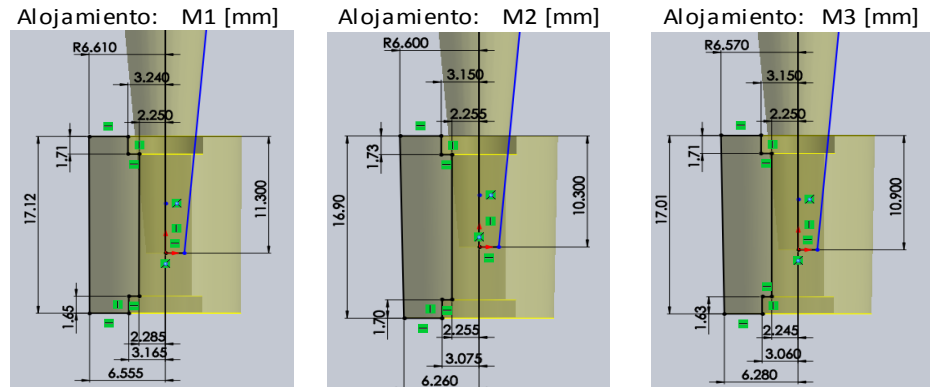
El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{\text{modteo}} = 1.701 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



Hoja de resultados de los alojamientos M1, M2 y M3 del componente 5.

Componente 5: 5-Izquierdo-C2



Dimensiones del alojamiento y perno

	M1	M2	M3
Superior			
C_e [mm] =	6.61	6.6	6.57
C_b [mm] =	3.24	3.15	3.15
C [mm] =	2.25	2.255	2.25
T_b [mm] =	1.71	1.73	1.71
C_H [mm] =	17.12	16.9	17.01
b [mm] =	2.345	2.315	2.295
Inferior			
C_E [mm] =	6.555	6.26	6.28
C_B [mm] =	3.165	3.075	3.06
C_i [mm] =	2.285	2.255	2.245
T_B [mm] =	1.65	1.7	1.63

Resultados de la prueba en el alojamiento

F_{max} [kN]=	1.86	1.44	1.691
D_{max} [mm]=	4.65	4.7	5.25

Variables calculadas

B [mm] =	2.657	2.666	2.709
z [mm] =	4.668	4.718	5.270
P_C [MPa] =	103.504	79.048	82.463

Esfuerzos de carga máxima

σ_{to} [Mpa]=	39.887	30.831	33.793
σ_{tco} [MPa]=	143.391	109.879	116.256

Desplazamiento

δ_{modteo} [mm]=	0.0486	0.0374	0.0400
i [mm] =	0.814	0.822	0.919

Deformación

ϵ_{modteo} [mm/mm]=	2.161	1.657	1.779
------------------------------	-------	-------	-------

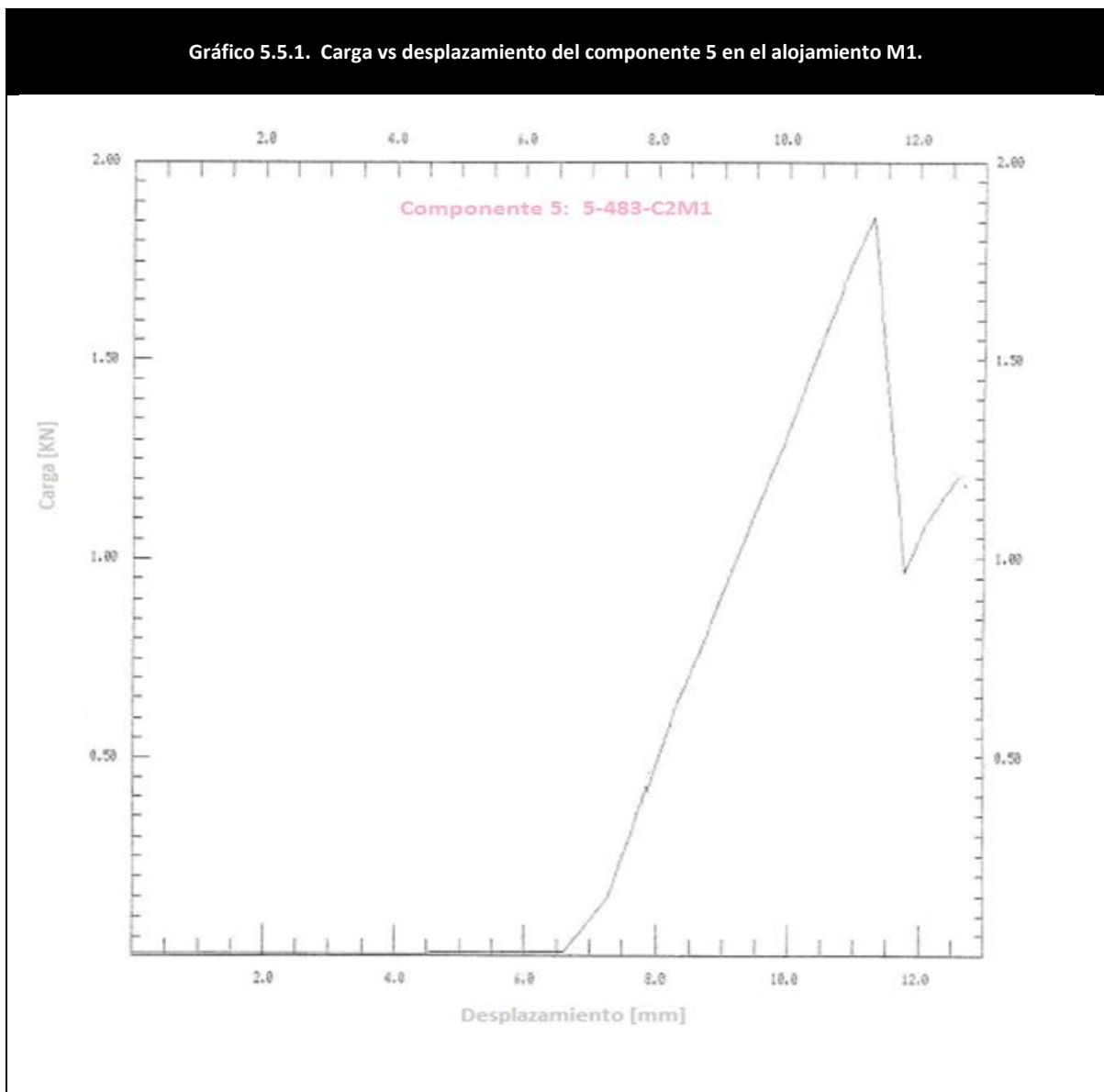
Alojamiento M1 del componente 5-Izquierdo-C2.

El perno cónico se desplaza axialmente 11.25 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 6.6 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.86 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.65 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{modteo} = 2.161 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



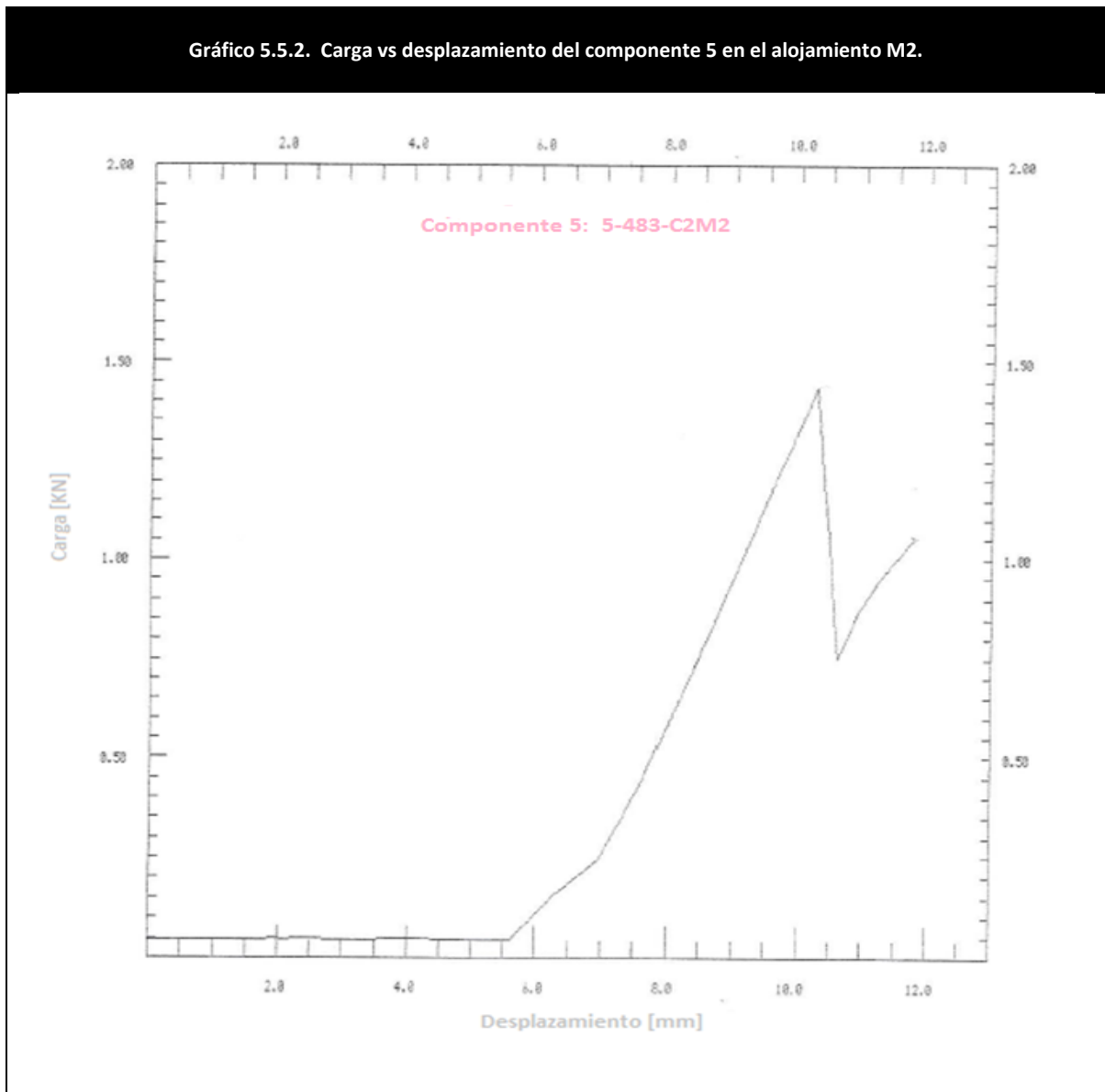
Alojamiento M2 del componente 5-Izquierdo-C2.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.3 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.6 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.44 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.7 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{modteo} = 1.657 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$



Alojamiento M3 del componente 5-Izquierdo-C2.

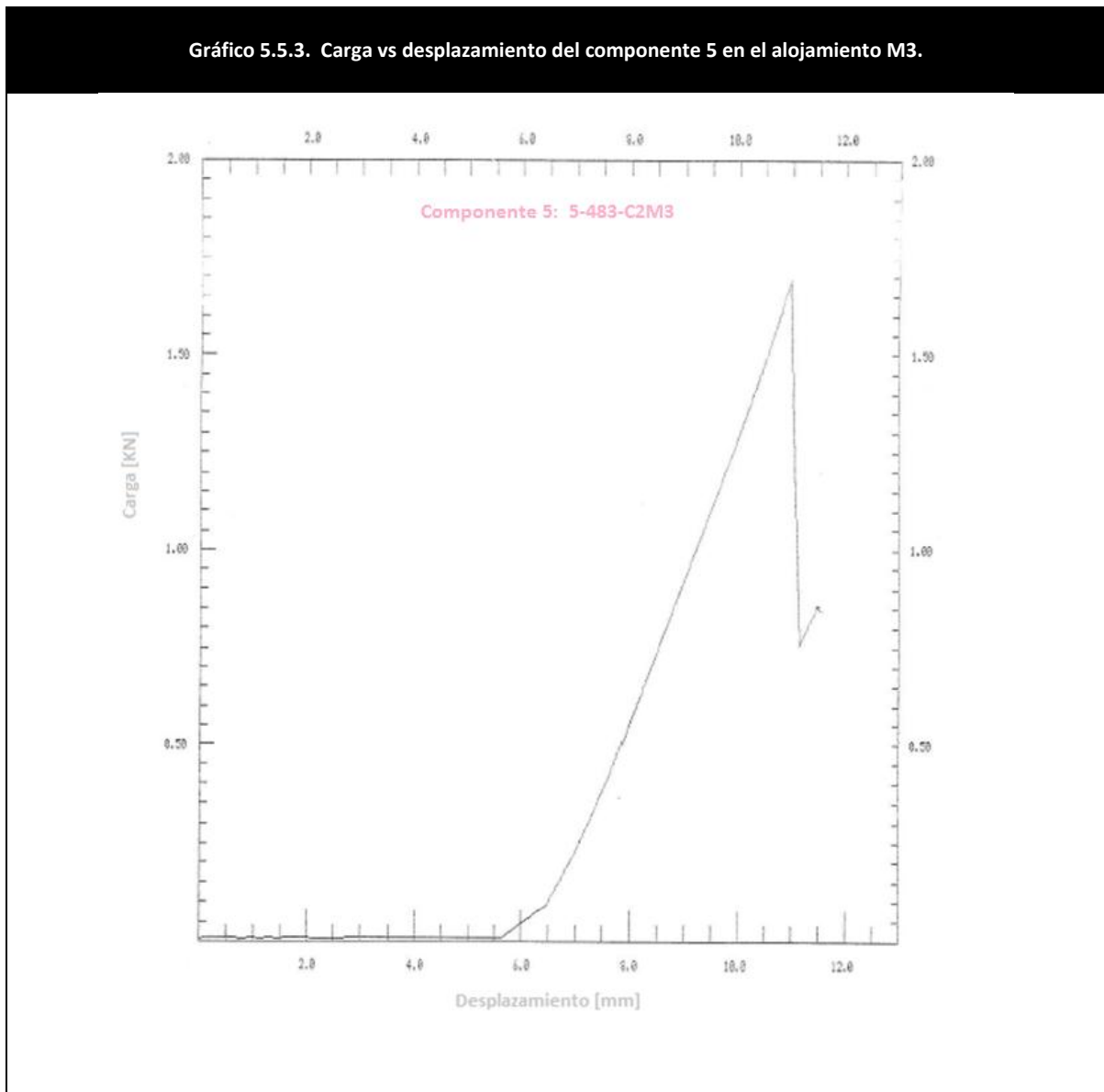
El perno cónico se desplaza axialmente 10.95 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.7 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.691 [KN]$
- $D_{max} = 5.25 [mm]$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

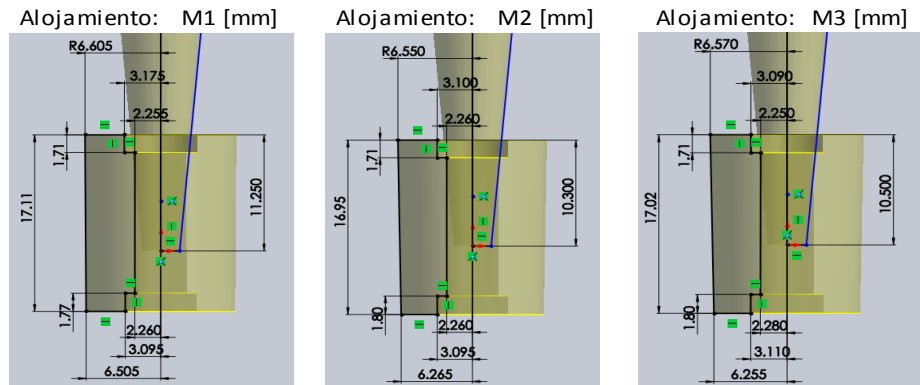
- $\epsilon_{modteo} = 1.779 \left[\frac{mm}{mm} \right]$

Gráfico 5.5.3. Carga vs desplazamiento del componente 5 en el alojamiento M3.



Hoja de resultados de los alojamientos M1, M2 y M3 del componente 6.

Componente 6: 6-Izquierdo-C2



Dimensiones del alojamiento y perno

	M1	M2	M3
Superior			
C_e [mm] =	6.605	6.55	6.57
C_b [mm] =	3.175	3.1	3.09
C [mm] =	2.255	2.26	2.25
T_b [mm] =	1.71	1.71	1.71
C_H [mm] =	17.11	16.95	17.02
b [mm] =	2.38	2.275	2.29
Inferior			
C_E [mm] =	6.505	6.265	6.255
C_B [mm] =	3.095	3.095	3.11
C_i [mm] =	2.26	2.26	2.28
T_B [mm] =	1.77	1.8	1.77

Resultados de la prueba en el alojamiento

F_{max} [kN]=	1.92	1.429	1.53
D_{max} [mm]=	4.7	4.8	5

Variables calculadas

B [mm] =	2.666	2.680	2.687
z [mm] =	4.718	4.818	5.019
P_C [MPa] =	105.397	76.518	78.689

Esfuerzos de carga máxima

σ_{to} [Mpa]=	41.034	30.770	31.624
σ_{tco} [MPa]=	146.431	107.288	110.313

Desplazamiento

δ_{modteo} [mm]=	0.0498	0.0366	0.0377
i [mm] =	0.822	0.840	0.875

Deformación

ϵ_{modteo} [mm/mm]=	2.208	1.619	1.677
------------------------------	-------	-------	-------

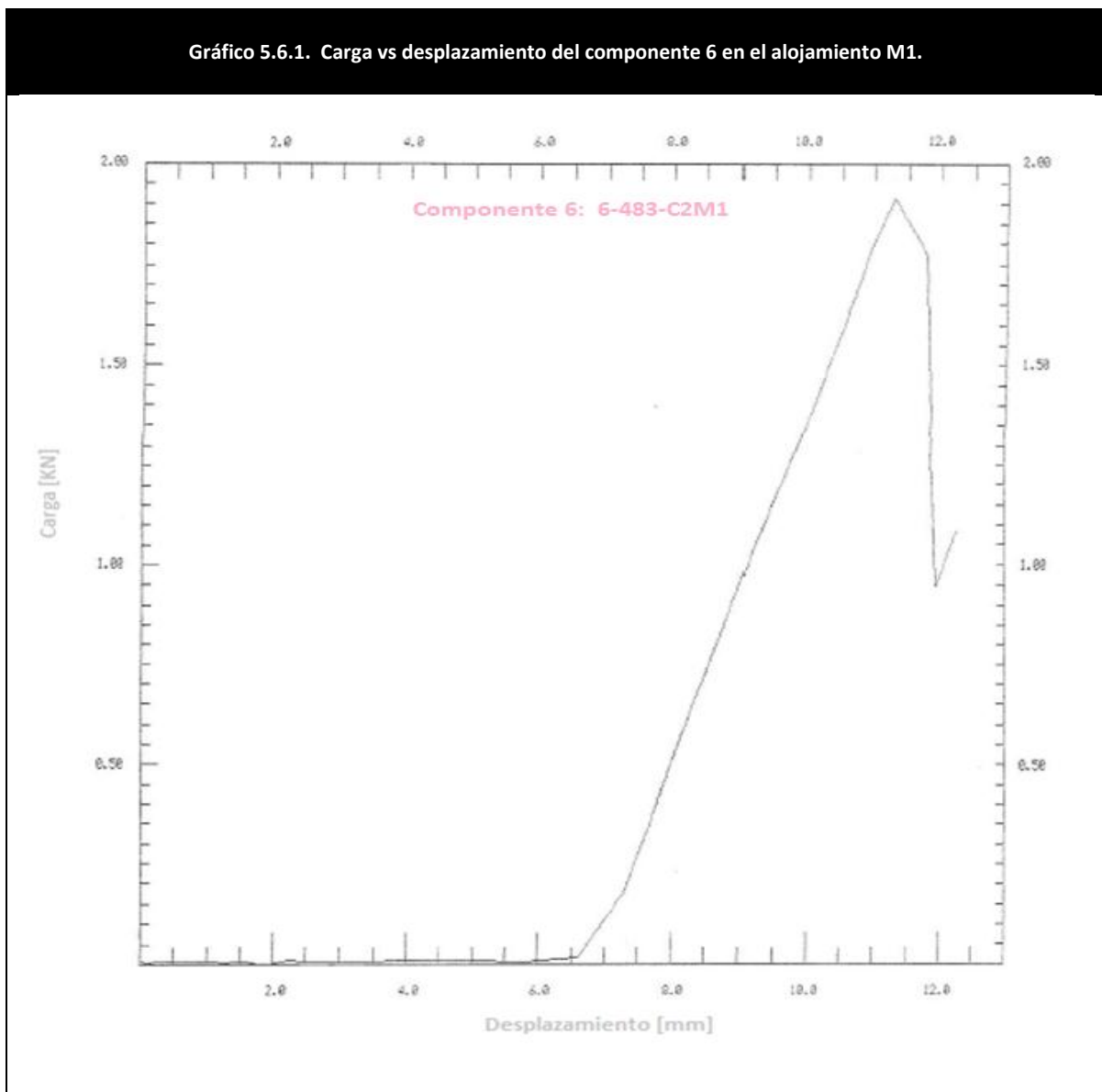
Alojamiento M1 del componente 6-Izquierdo-C2.

El perno cónico se desplaza axialmente 11.3 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 6.6 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.92 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.7 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{\text{modteo}} = 2.208 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



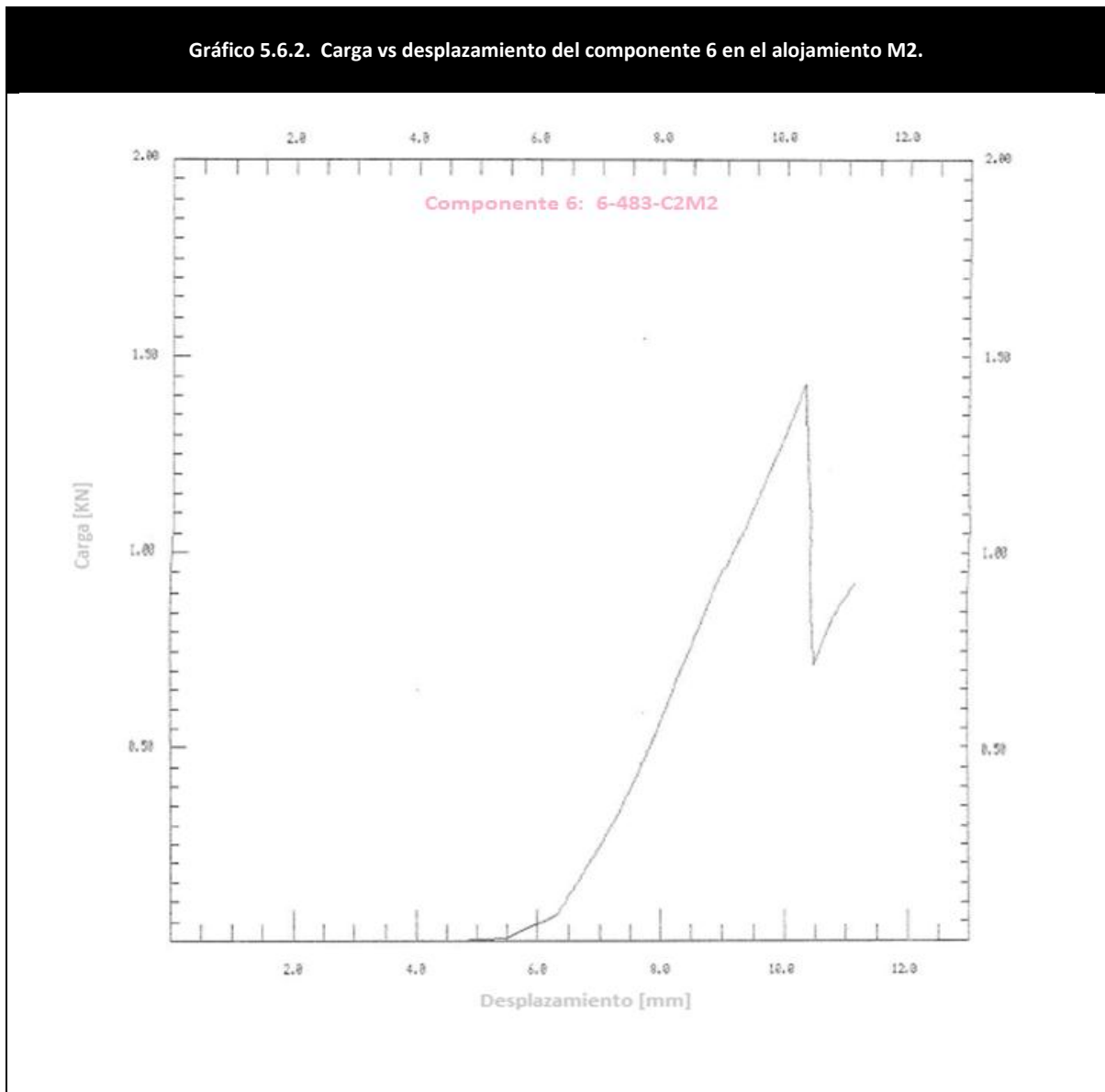
Alojamiento M2 del componente 6-Izquierdo-C2.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.3 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.5 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.429 [KN]$
- $D_{max} = 4.8 [mm]$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{modteo} = 1.619 \left[\frac{mm}{mm} \right]$



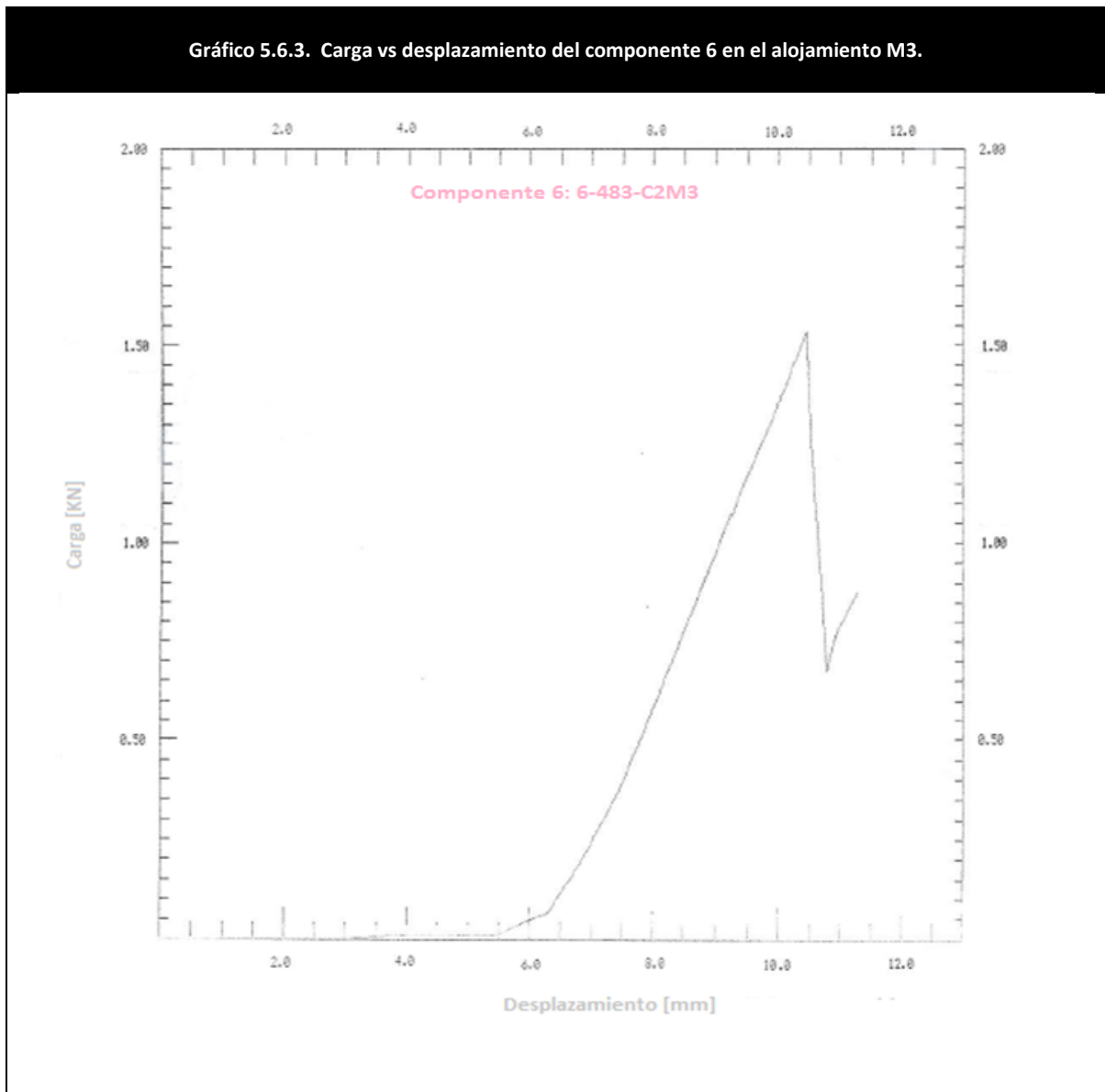
Alojamiento M3 del componente 6-Izquierdo-C2.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.4 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.4 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.53 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5 \text{ [mm]}$

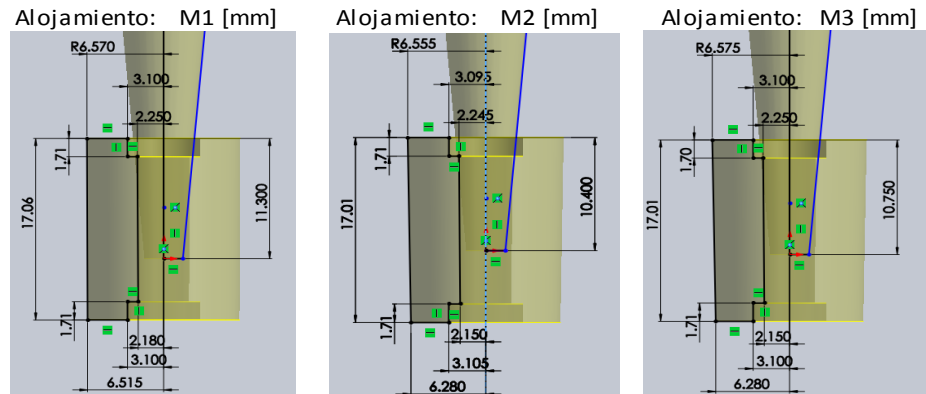
El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{modteo} = 1.677 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



Hoja de resultados de los alojamientos M1, M2 y M3 del componente 7.

Componente 7: 7-Derecho-C2



Dimensiones del alojamiento y perno

	M1	M2	M3
Superior			
C_e [mm] =	6.57	6.555	6.575
C_b [mm] =	3.1	3.095	3.1
C [mm] =	2.25	2.245	2.25
T_b [mm] =	1.71	1.71	1.7
C_H [mm] =	17.06	17.01	17.01
b [mm] =	2.285	2.31	2.29
Inferior			
C_E [mm] =	6.515	6.28	6.28
C_B [mm] =	3.1	3.105	3.1
C_i [mm] =	2.18	2.15	2.15
T_B [mm] =	1.71	1.74	1.71

Resultados de la prueba en el alojamiento

F_{max} [kN] =	1.935	1.52	1.727
D_{max} [mm] =	5.5	4.7	5.1

Variables calculadas

B [mm] =	2.731	2.656	2.696
z [mm] =	5.521	4.718	5.119
P_C [MPa] =	89.677	83.780	86.926

Esfuerzos de carga máxima

σ_{to} [Mpa] =	37.470	32.919	35.144
σ_{tco} [MPa] =	127.147	116.699	122.069

Desplazamiento

δ_{modteo} [mm] =	0.0441	0.0395	0.0419
i [mm] =	0.962	0.411	0.446

Deformación

ϵ_{modteo} [mm/mm] =	1.959	1.760	1.861
-------------------------------	-------	-------	-------

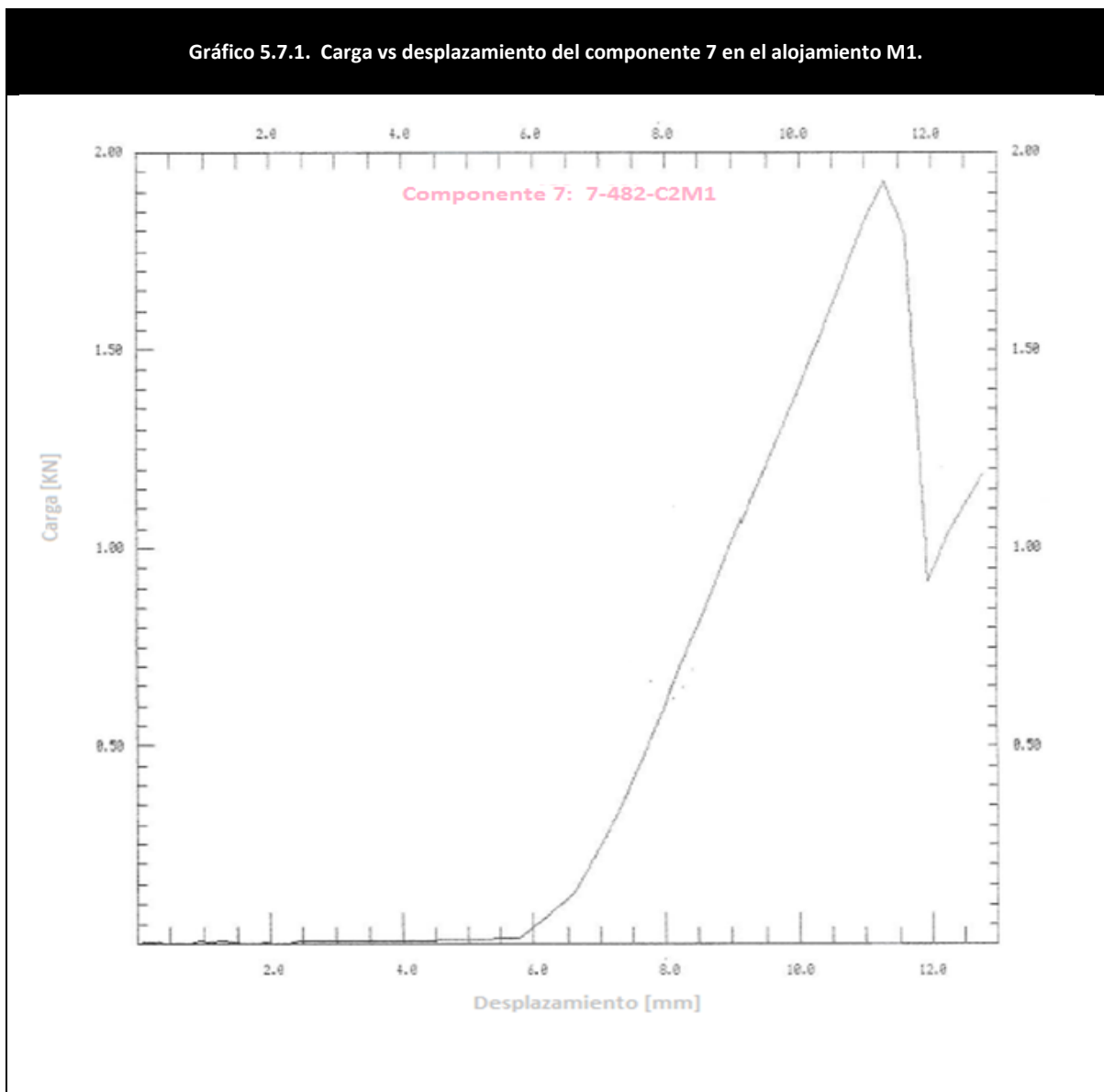
Alojamiento M1 del componente 7-Derecho-C2.

El perno cónico se desplaza axialmente 11.3 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.8 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.935 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.5 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{\text{modteo}} = 1.959 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



Alojamiento M2 del componente 7-Derecho-C2.

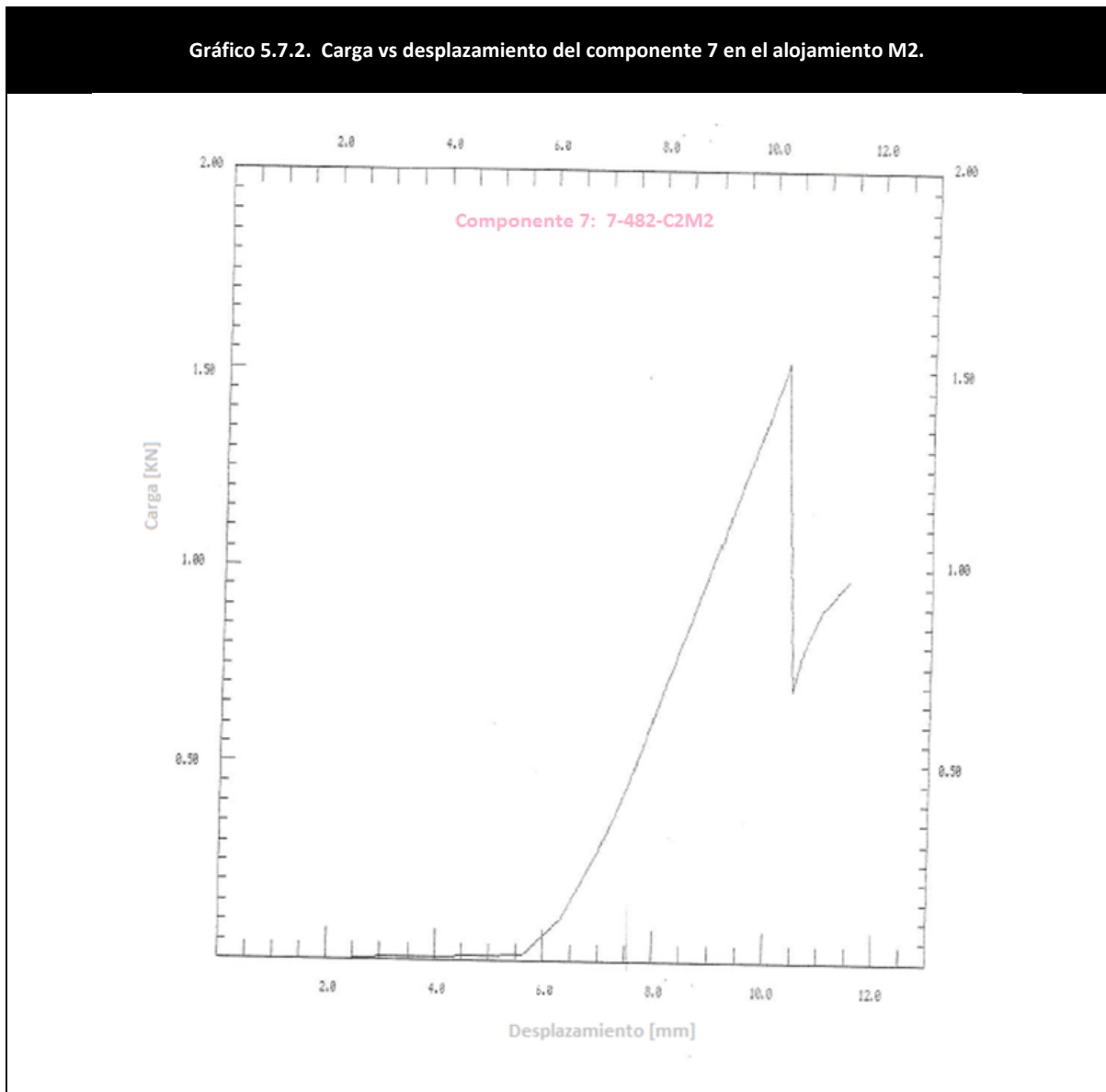
El perno cónico se desplaza axialmente 10.4 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.7 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.52 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.7 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{\text{modteo}} = 1.76 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$

Gráfico 5.7.2. Carga vs desplazamiento del componente 7 en el alojamiento M2.



Alojamiento M3 del componente 7-Derecho-C2.

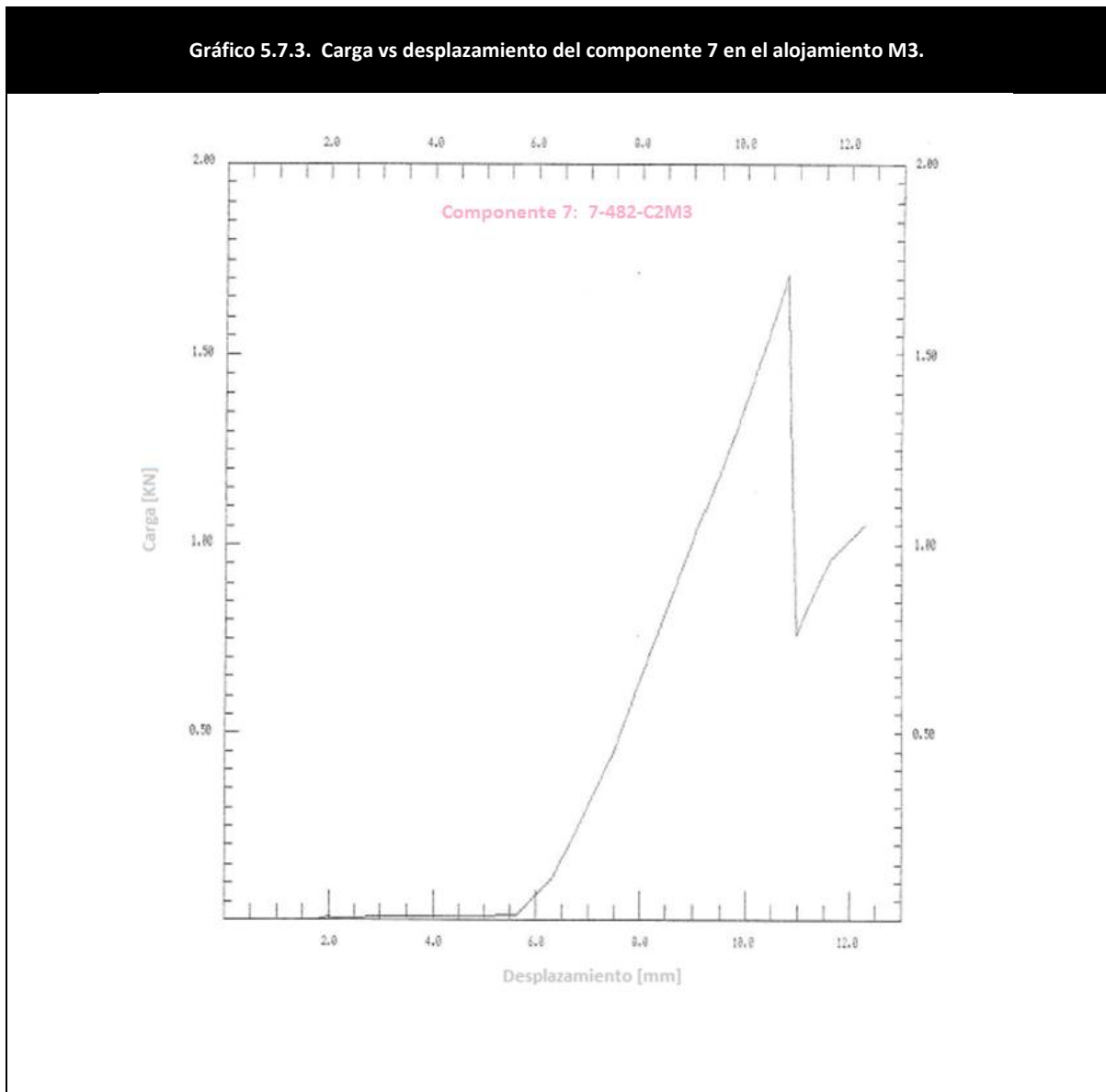
El perno cónico se desplaza axialmente 10.8 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.7 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.727 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.1 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

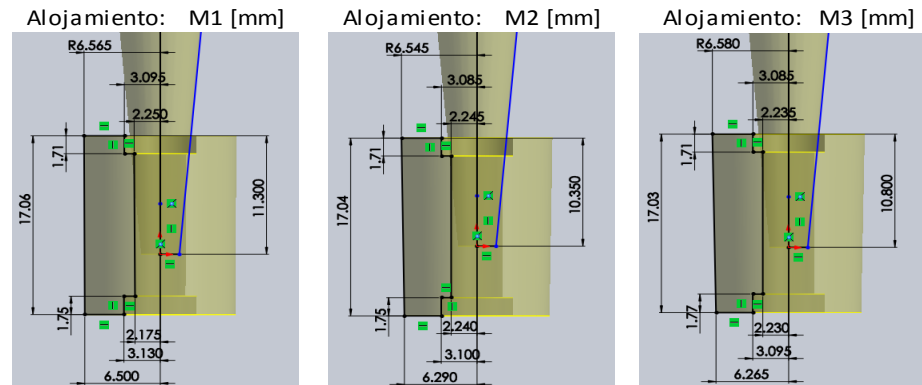
- $\epsilon_{\text{modteo}} = 1.861 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$

Gráfico 5.7.3. Carga vs desplazamiento del componente 7 en el alojamiento M3.



Hoja de resultados de los alojamientos M1, M2 y M3 del componente 8.

Componente 8: 8-Derecho-C2



Dimensiones del alojamiento y perno

	M1	M2	M3
Superior			
C_e [mm] =	6.565	6.545	6.58
C_b [mm] =	3.095	3.085	3.085
C [mm] =	2.25	2.245	2.235
T_b [mm] =	1.71	1.71	1.71
C_H [mm] =	17.06	17.04	17.03
b [mm] =	2.35	2.26	2.28
Inferior			
C_E [mm] =	6.5	6.29	6.265
C_B [mm] =	3.13	3.1	3.095
C_i [mm] =	2.175	2.24	2.23
T_B [mm] =	1.75	1.75	1.77

Resultados de la prueba en el alojamiento

F_{max} [kN]=	1.9	1.462	1.652
D_{max} [mm]=	5.5	4.85	5.1

Variables calculadas

B [mm] =	2.731	2.669	2.681
z [mm] =	5.521	4.869	5.119
P_C [MPa] =	88.055	77.882	83.658

Esfuerzos de carga máxima

σ_{to} [Mpa]=	36.860	31.078	33.312
σ_{tco} [MPa]=	124.915	108.961	116.969

Desplazamientos

δ_{modteo} [mm]=	0.0433	0.0370	0.0399
i [mm] =	0.962	0.849	0.892

Deformación

ϵ_{modteo} [mm/mm]=	1.925	1.650	1.787
------------------------------	-------	-------	-------

Alojamiento M1 del componente 8-Derecho-C2.

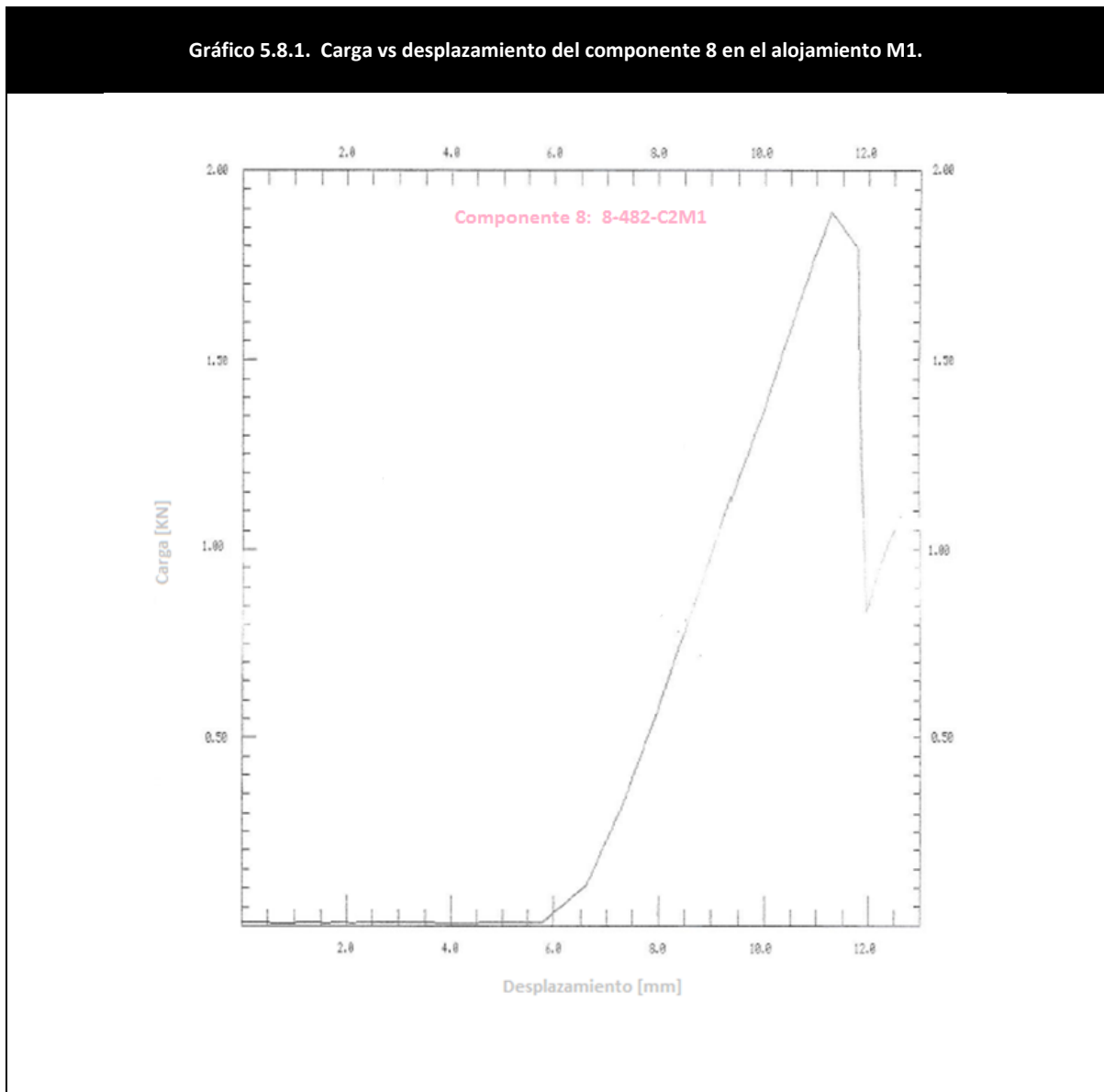
El perno cónico se desplaza axialmente 11.3 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.8 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.9 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.5 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{\text{modteo}} = 1.925 \frac{\text{[mm]}}{\text{[mm]}}$

Gráfico 5.8.1. Carga vs desplazamiento del componente 8 en el alojamiento M1.



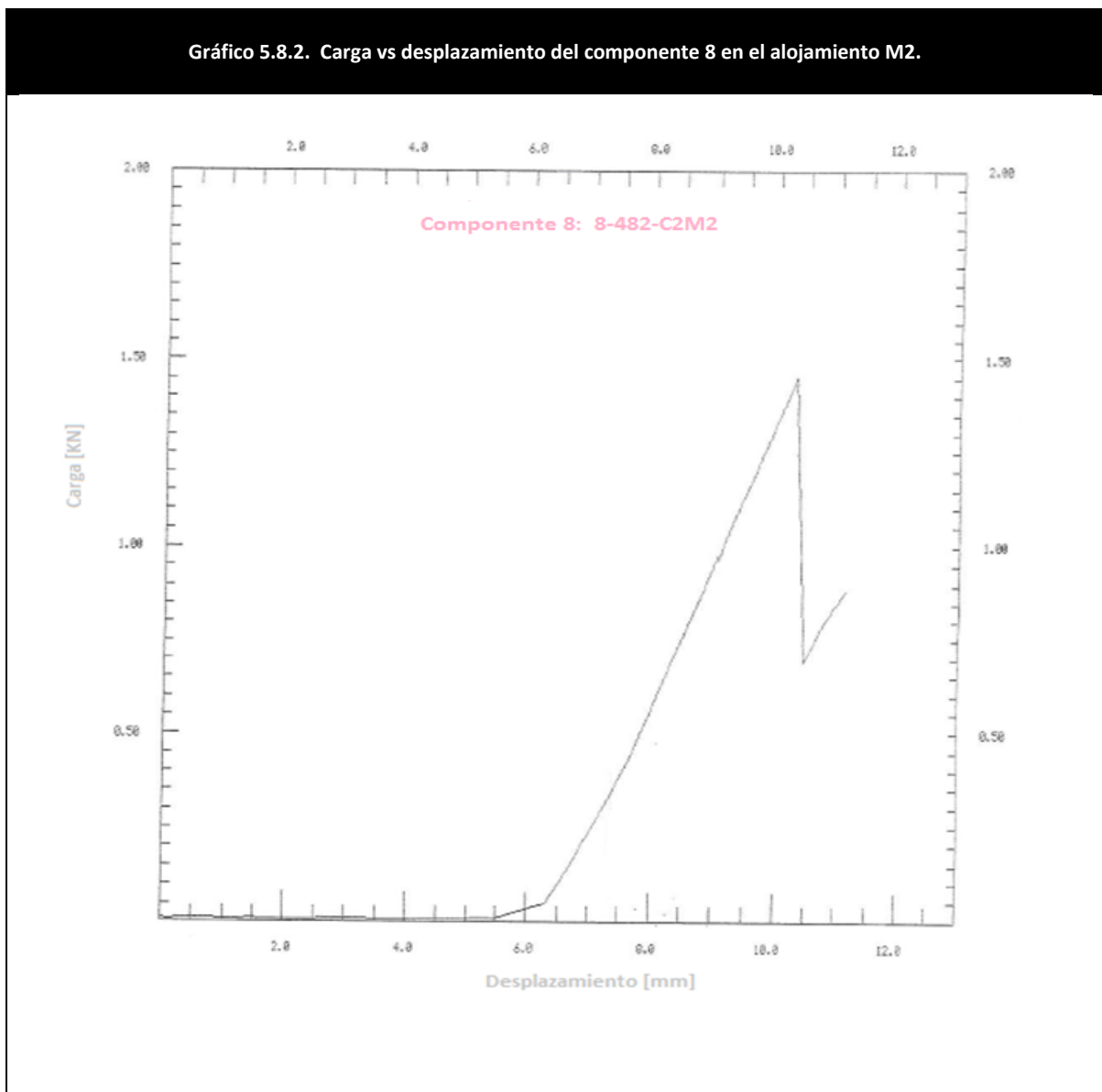
Alojamiento M2 del componente 8-Derecho-C2.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.35 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.5 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.462 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 4.85 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\epsilon_{\text{modteo}} = 1.65 \left[\frac{\text{mm}}{\text{mm}} \right]$



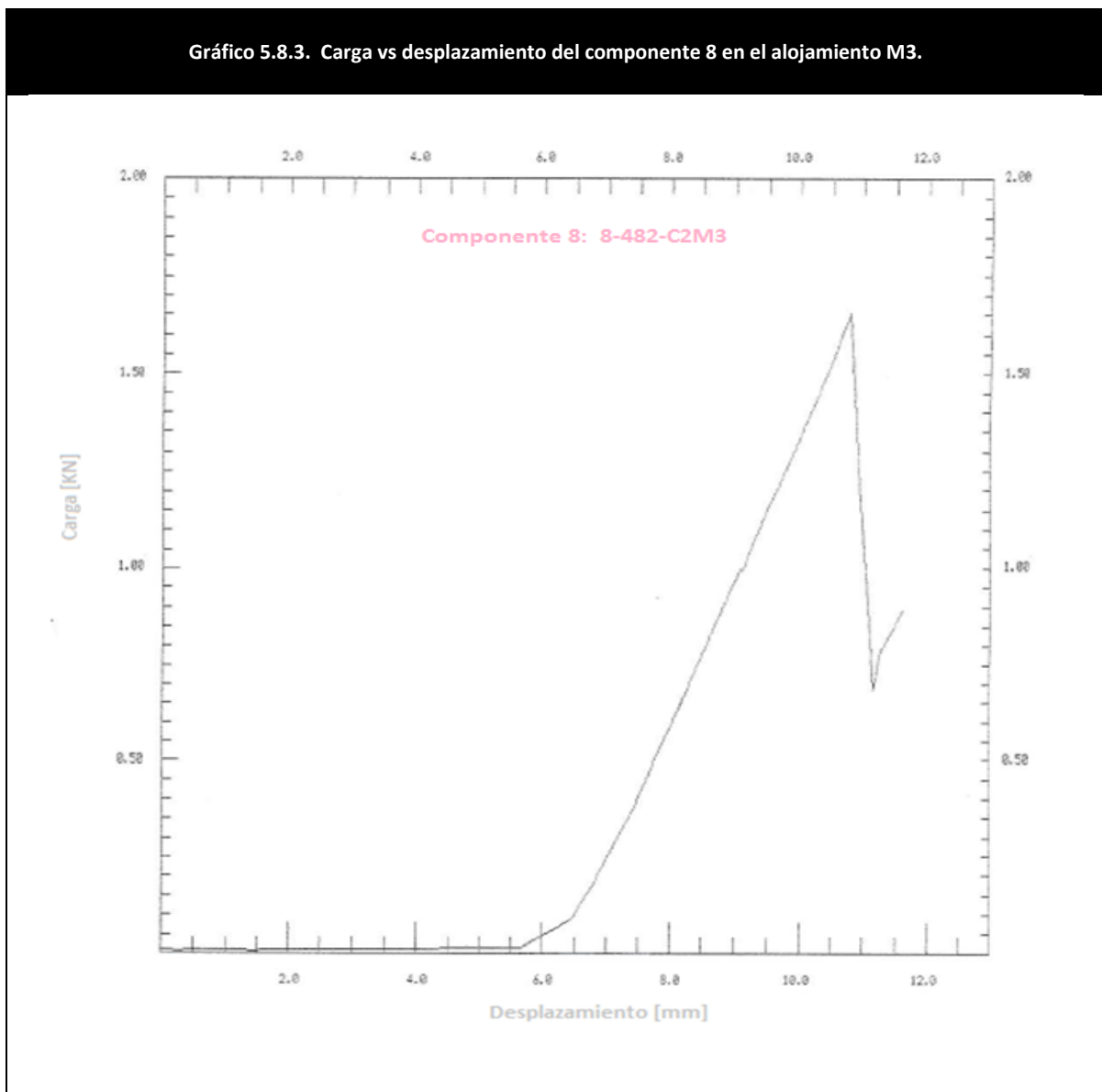
Alojamiento M3 del componente 8-Derecho-C2.

El perno cónico se desplaza axialmente 10.8 [mm] hasta el punto de su carga máxima, pero 5.7 [mm] se desplaza libremente sin tocar el alojamiento por lo que:

- $F_{max} = 1.652 \text{ [KN]}$
- $D_{max} = 5.1 \text{ [mm]}$

El alojamiento sufre una deformación en la pared interna del alojamiento de:

- $\varepsilon_{modteo} = 1.787 \frac{\text{mm}}{\text{mm}}$



Capítulo 6. Análisis de resultados.

Introducción.

El presente capítulo está tomando como referencia los datos obtenidos del capítulo 5, con el fin de llevar a cabo un análisis del comportamiento mecánico en el alojamiento del componente.

Con respecto al material utilizado se verifica que se inyectaron bajo las mismas condiciones de procesamiento los 8 componentes, con la diferencia de que son inyectados de diferente cavidad, teniendo en cuenta en este análisis 2 componentes de cada cavidad.

En el componente variaran sus dimensiones debido a la contracción del plástico y que cada componente es inyectado en diferente cavidad.

El alojamiento M1 esta reforzado con costillas y se encuentra a 3.3 [cm] del punto de inyección. Los alojamientos M2 y M3 no están reforzados con costillas y están una distancia de 6.7 [cm] del punto de inyección.

El requerimiento para el alojamiento es que debe soportar una carga de 1500 [N], el promedio por alojamiento es: Para M1= 2.029 ± 0.20 [kN], M2= 1.538 ± 0.17 [kN], M3= 1702 ± 0.12 [kN].

El alojamiento M2 presenta las cargas (F_{max}) más bajas, la mitad de los alojamientos M2 están por debajo de las especificación de 1500 [N], considerando esto se hace un análisis por componente para ver el comportamiento que tiene cada cavidad.

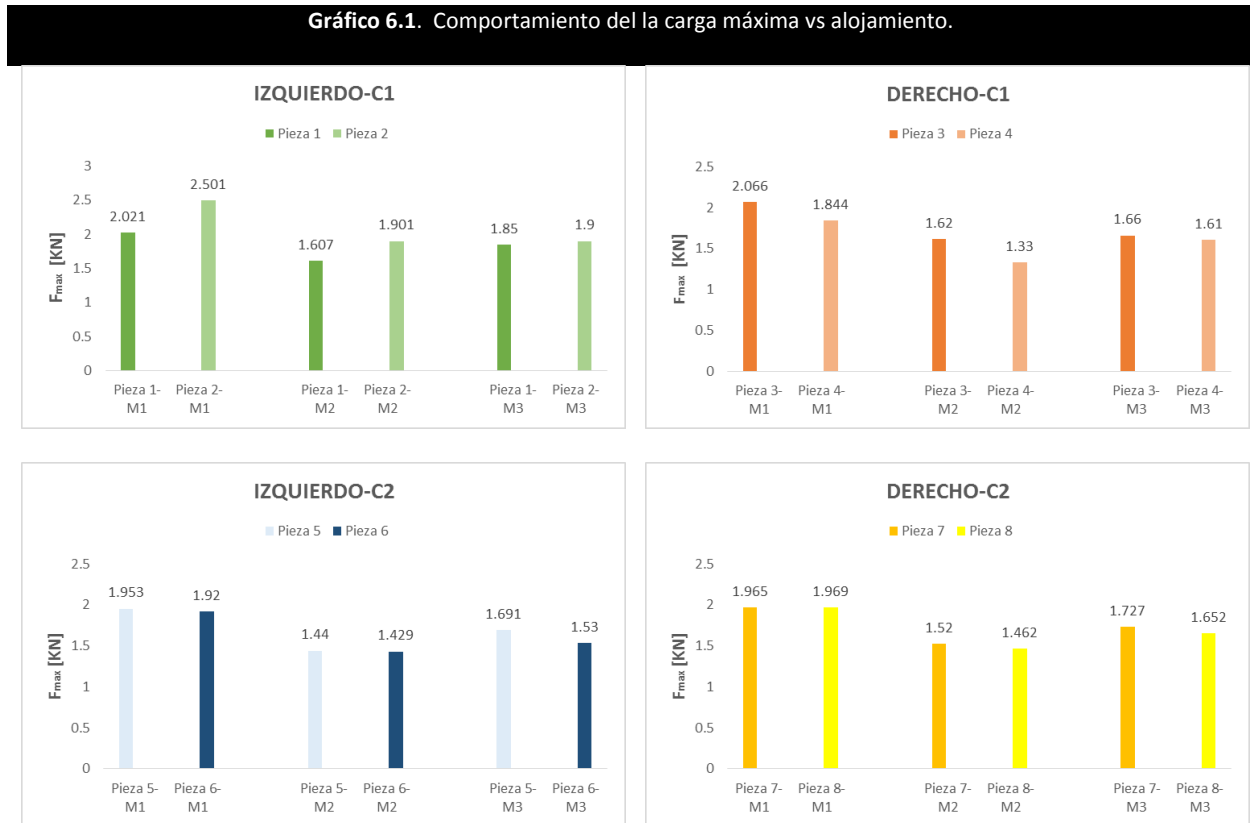
Las propiedades mecánicas de los materiales plásticos son muy sensibles al tipo de carga, cambio en las temperaturas y a la humedad. Considerando que esta prueba se realiza generando una carga por una duración corta, las propiedades pertinentes para este tipo de prueba es el comportamiento esfuerzo-deformación.

El comportamiento esfuerzo-deformación de un material contribuye de manera importante para determinar la resistencia o rigidez del componente. Por otro lado, los factores que afectan la resistencia del componente son; la geometría del componente y las condiciones del material que resulta de su procesamiento.

6.1. Análisis por componente.

6.1.1. Carga máxima - F_{max}

Se presenta en cada uno de sus alojamientos de la siguiente manera para los 4 componentes.



El componente izquierdo-C1 es el único que cumple con el requerimiento de carga mayor a 1500 [N] en sus alojamientos, los otros 3 componentes (Izquierdo-C2, Derecho-C1, Derecho-C2) fallan en el alojamiento M2. El promedio de carga máxima (F_{max}) de cada componente:

Componente izquierdo-C1:

- M1 = 2.261 [KN]
- M2 = 1.754 [KN]
- M3 = 1.875 [KN]

Componente izquierdo-C2:

- M1 = 1.936 [KN]
- M2 = 1.434 [KN]
- M3 = 1.61 [KN]

Componente derecho-C1:

- M1 = 1.955 [KN].
- M2 = 1.475 [KN]
- M3 = 1.635 [KN]

Componente derecho-C2:

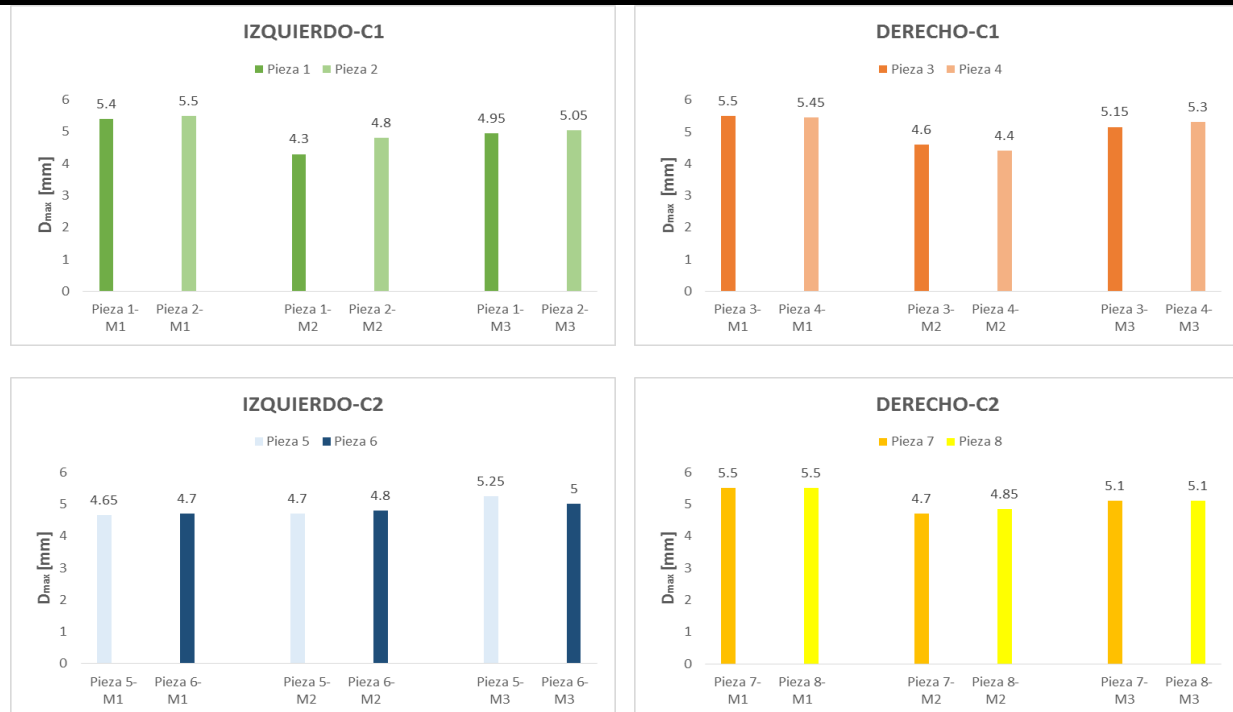
- M1 = 1.967 [KN]
- M2 = 1.491 [KN]
- M3 = 1.689 [KN]

6.1.2 Desplazamiento - D_{max} .

Es lo que se desplaza el perno axialmente cuando hace contacto con él diámetro (2C), hasta el punto de carga máxima (F_{max}). Con el desplazamiento (D_{max}), no se puede deducir el comportamiento de las cargas máximas (F_{max}), ya que con el valor más alto de (D_{max}), no obtendremos los valores (F_{max}) más altos.

De los 4 componentes resalta el comportamiento diferente del componente izquierdo-C2, en M1 el desplazamiento es menor que M2 y tiene cargas (F_{max}) mas altas como se muestra en el gráfico 6.2.

Gráfico 6.2. Comportamiento de los componentes: desplazamiento axial vs alojamiento



El promedio de desplazamiento axial (D_{max}) de cada componente:

Componente izquierdo-C1:

- M1 = 5.45 [mm]
- M2 = 4.55 [mm]
- M3 = 5.00 [mm]

Componente derecho-C1:

- M1 = 5.475 [mm].
- M2 = 4.50 [mm]
- M3 = 5.225 [mm]

Componente izquierdo-C2:

- M1 = 4.675 [mm]
- M2 = 4.750 [mm]
- M3 = 5.125 [mm]

Componente derecho-C2:

- M1 = 5.50 [mm]
- M2 = 4.775 [mm]
- M3 = 5.10 [mm]

6.1.3 Diámetros.

Al realizar la prueba el alojamiento se deforma de un diámetro interno (2C) hasta un diámetro (2B) que es el punto donde se da la carga máxima (F_{max}). Al aumentar (D_{max}) también aumentará el diámetro (2B).

Considerando la geometría del perno cónico al realizar la prueba se da un aumento en orificio del alojamiento para cada componente es el siguiente en el punto de carga máxima.

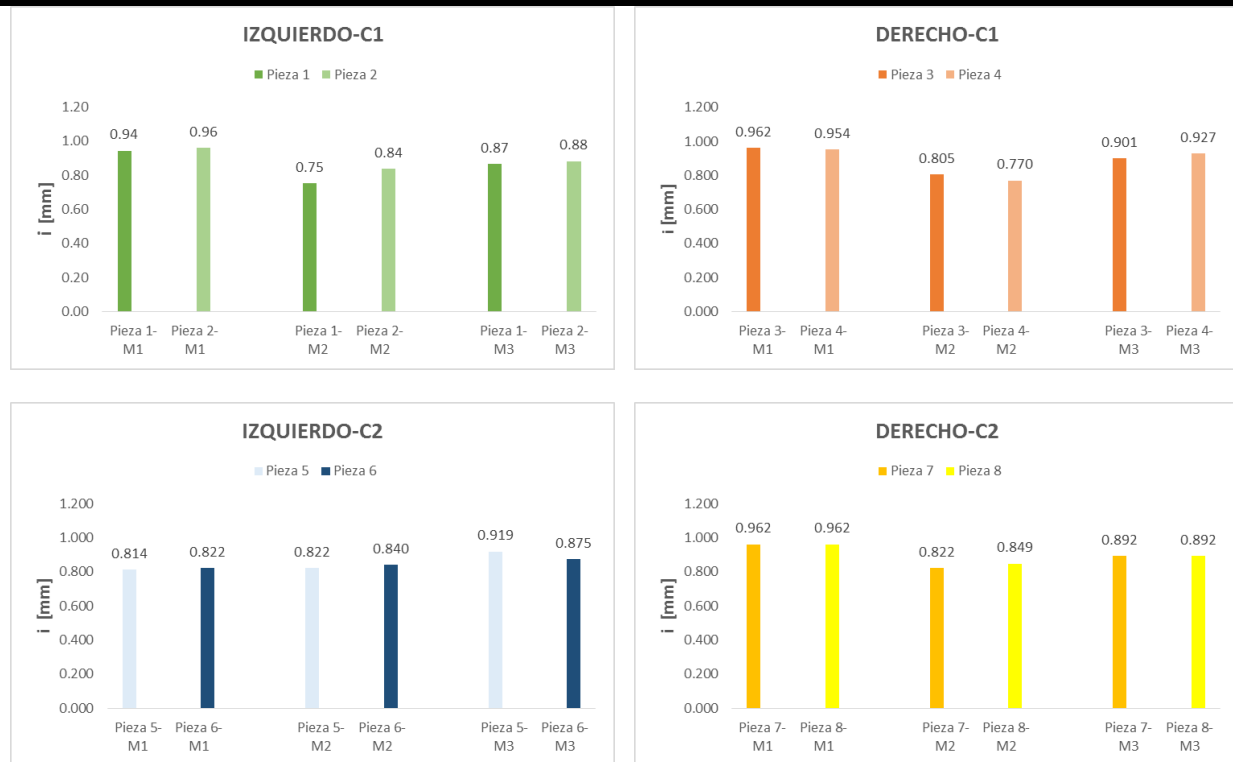
Gráfico 6.3. Comportamiento de la diferencia del diametro inicial y final de los alojamientos: diámetro vs alojamiento.



6.1.4 Interferencia perimetral - i

La interferencia comienza cuando el perno hace contacto con el diámetro interno (2C) del alojamiento, pero la interferencia será dependiente del desplazamiento (D_{max}). La interferencia es la diferencia del diámetro final menos el diámetro inicial.

Gráfico 6.4. Comportamiento de la Interferencia vs alojamiento de cada componente.



El promedio de interferencia (i) de cada componente:

Componente izquierdo-C1:

- M1 = 0.95 [mm]
- M2 = 0.795 [mm]
- M3 = 0.875 [mm]

Componente derecho-C1:

- M1 = 0.958 [mm].
- M2 = 0.7875 [mm]
- M3 = 0.914 [mm]

Componente izquierdo-C2:

- M1 = 0.818 [mm]
- M2 = 0.831 [mm]
- M3 = 0.897 [mm]

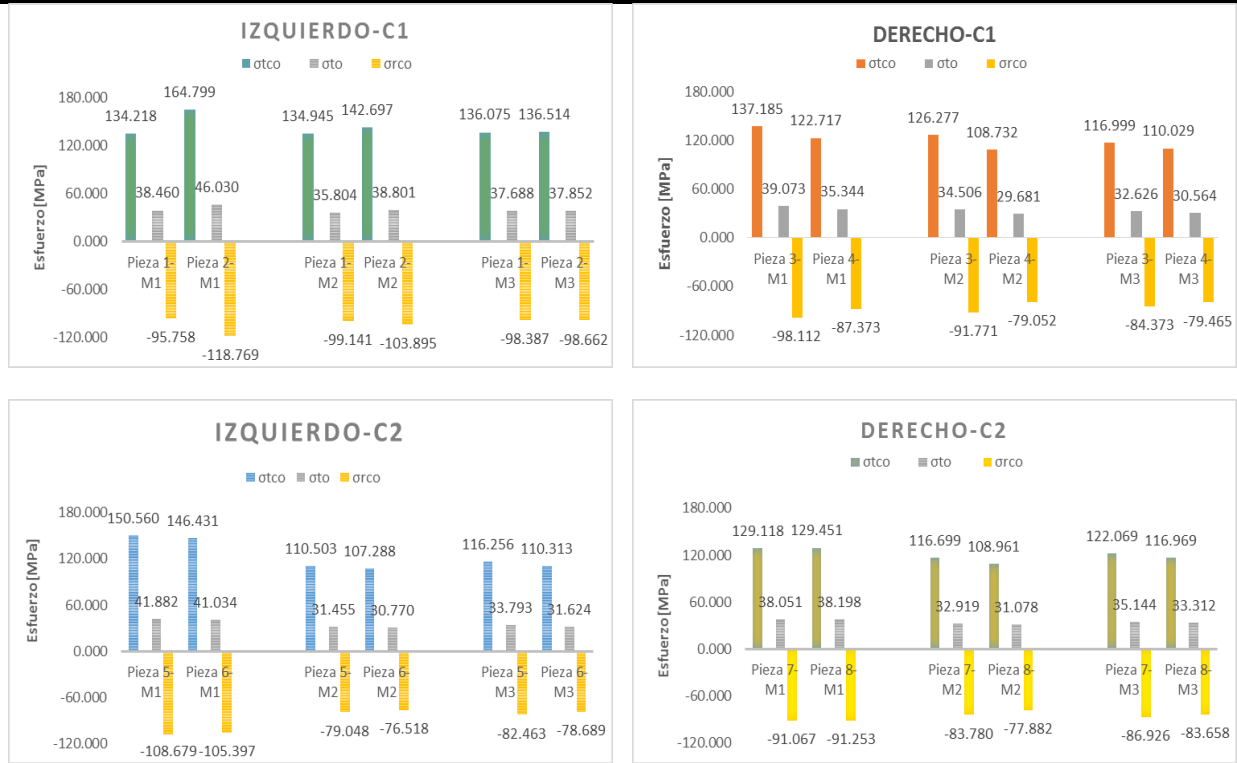
Componente derecho-C2:

- M1 = 0.962 [mm]
- M2 = 0.8355 [mm]
- M3 = 0.892 [mm]

6.1.5 Esfuerzos.

Los esfuerzos tangenciales son positivos cuando están a tracción como es el caso del alojamiento, los esfuerzos tangenciales (σ_{tco}) en la pared interna son mayores e irán decreciendo los esfuerzo tangenciales hacia la pared externa del alojamiento (σ_{to}). Los esfuerzos radiales (σ_{rco}) son negativos en alojamiento debido que están en compresión, el esfuerzo radial será igual a la presión de contacto (P_c).

Gráfico 6.5. Comportamiento de los esfuerzos vs alojamiento de cada componente.



El promedio de esfuerzo tangencial (σ_{tco}) de cada componente:

Componente izquierdo-C1:

- M1 = 149.51 [MPa]
- M2 = 138.82 [MPa]
- M3 = 136.24 [MPa]

Componente derecho-C1:

- M1 = 129.95 [MPa].
- M2 = 117.50 [MPa]
- M3 = 113.51 [MPa]

Componente izquierdo-C2:

- M1 = 148.49 [MPa]
- M2 = 108.89 [MPa]
- M3 = 113.28 [MPa]

Componente derecho-C2:

- M1 = 129.28 [MPa]
- M2 = 112.83 [MPa]
- M3 = 119.52 [MPa]

6.1.6. Deformación.

Debido a la geometría del perno, la deformación máxima tangencial (ϵ_{modteo}), se encuentra en el diámetro mayor del perno (2b). La prueba de alojamientos se basa en la deformación que se produce por el perno cónico sobre la pared interna del componente hasta el punto de fractura. Por lo que los valores que se obtienen deformación máxima (ϵ_{modteo}) son:

Gráfico 6.6. Comportamiento de la deformación vs alojamiento de cada componente.



El promedio de la deformación tangencial (ϵ_{modteo}) de cada componente:

Componente izquierdo-C1:

- M1 = 2.316 [%]
- M2 = 2.098 [%]
- M3 = 2.086 [%]

Componente derecho-C1:

- M1 = 2.014 [%].
- M2 = 1.767 [%]
- M3 = 1.750 [%]

Componente izquierdo-C2:

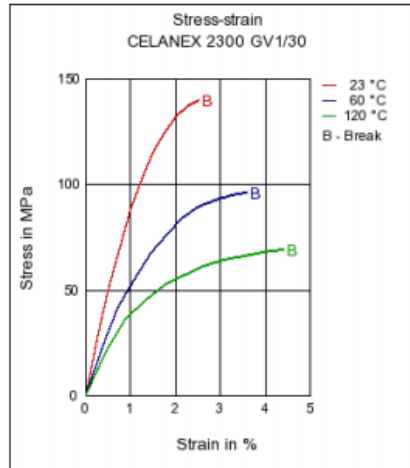
- M1 = 2.238 [%]
- M2 = 1.641 [%]
- M3 = 1.728 [%]

Componente derecho-C2:

- M1 = 1.992 [%]
- M2 = 1.705 [%]
- M3 = 1.824 [%]

6.2 Análisis esfuerzo-deformación.

El comportamiento de una curva esfuerzo deformación para dos compuestos del mismo material es que con el material reforzado de fibra de vidrio es más rígido, las propiedades mecánicas (Modulo de Young) llegan a ser más altas respecto a un material sin refuerzo ya que su comportamiento del material sin refuerzo llega a ser más dúctil.



Por otro lado la curva esfuerzo-deformación Celanex 2300 GV1/30 (PBT 30% Fibra de vidrio), es dependiente de la velocidad de la carga y de la temperatura esto es, las pruebas a baja temperatura (23°C), el comportamiento del material es más rígido y frágil respecto una prueba a temperaturas (60 °C) más altas. Mientras una prueba con la misma temperatura y velocidad de carga más rápida aumentará su rigidez respecto a una prueba con velocidad de carga más lenta.

Los datos de las propiedades mecánicas de la prueba estandarizada ISO 527-2/1A para el material Celanex 2300 GV1/30 proporcionados por Celanese.

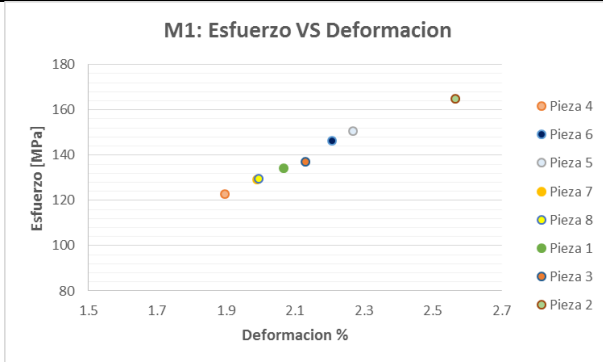
- Esfuerzo (5mm/min) = 150 [MPa].
- Deformación (5mm/min) = 2.5 %
- Curva esfuerzo vs deformación a temperatura ambiente 23°C.

La velocidad de la carga 50 (mm/min) y la temperatura con la que se realiza la prueba en el alojamiento hace ver que sus valores se verán incrementados significativamente en la resistencia última haciendo ver que el componente tiene mayor rigidez.

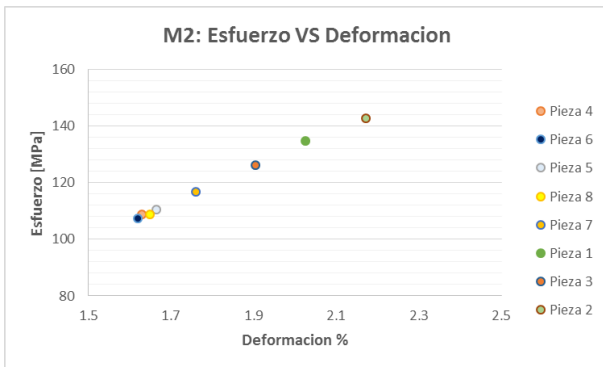
El análisis se hace por alojamiento por lo que su resistencia ultima (punto de ruptura), dentro de la gráfica esfuerzo vs deformación para el alojamiento M1 son los más altos. Los valores de las tablas de cada alojamiento se acomodan de forma creciente de (F_{max}) para ver el comportamiento de la deformación (ϵ_{modteo}) respecto al esfuerzo tangencial en la pared interna (σ_{tco}).

Gráfico 6.8. Análisis del comportamiento de la resistencia última por alojamiento.

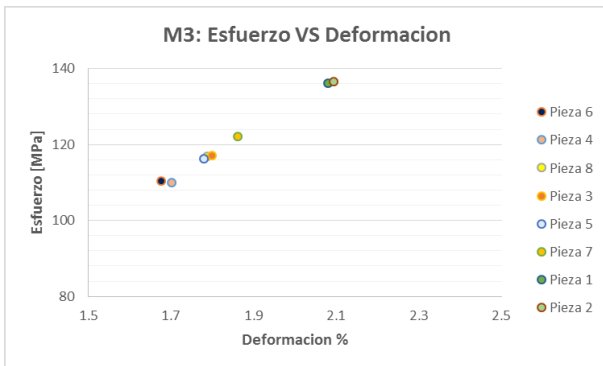
M1	F_{max} [KN]	σ_{tco} [MPa]	ϵ_{modteo} %
Pieza 4	1.844	122.72	1.897
Pieza 6	1.92	146.43	2.208
Pieza 5	1.953	150.56	2.269
Pieza 7	1.965	129.12	1.990
Pieza 8	1.969	129.45	1.995
Pieza 1	2.021	134.22	2.068
Pieza 3	2.066	137.19	2.131
Pieza 2	2.501	164.80	2.565



M2	F_{max} [KN]	σ_{tco} [MPa]	ϵ_{modteo} %
Pieza 4	1.33	108.73	1.630
Pieza 6	1.429	107.29	1.619
Pieza 5	1.44	110.50	1.664
Pieza 8	1.462	108.96	1.650
Pieza 7	1.52	116.70	1.760
Pieza 1	1.607	134.94	2.025
Pieza 3	1.62	126.28	1.905
Pieza 2	1.901	142.70	2.172



M3	F_{max} [KN]	σ_{tco} [MPa]	ϵ_{modteo} %
Pieza 6	1.53	110.31	1.677
Pieza 4	1.61	110.03	1.701
Pieza 8	1.652	116.97	1.787
Pieza 3	1.66	117.00	1.799
Pieza 5	1.691	116.26	1.779
Pieza 7	1.727	122.07	1.861
Pieza 1	1.85	136.08	2.080
Pieza 2	1.9	136.51	2.093



Considerando las propiedades del material (F_{\max} , σ_{tco} , ϵ_{modteo}) los alojamiento de cada componente se comportan $M1 > M3 > M2$, los alojamientos cumplirán con el requerimiento de 1500 [N], si la deformación tangencial $\epsilon_{modteo} > 1.7 \left[\frac{mm}{mm} \right]$.

La moda estadística para los alojamientos son:

Para M1

- $F_{\max} = 2$ [KN]
- $\sigma_{tco} = 129$ [MPa]
- $\epsilon_{modteo} = 2 \left[\frac{mm}{mm} \right]$

Para M2

- $F_{\max} = 1.4$ [KN]
- $\sigma_{tco} = 109$ [MPa]
- $\epsilon_{modteo} = 1.6 \left[\frac{mm}{mm} \right]$

Para M3

- $F_{\max} = 1.7$ [KN]
- $\sigma_{tco} = 117$ [MPa]
- $\epsilon_{modteo} = 1.8 \left[\frac{mm}{mm} \right]$

Capítulo 7 Conclusiones.

Como lo mencionó la empresa, los componentes fallan en el alojamiento M2, tres de los cuatro componentes que se inyectan fallan en alojamiento M2.

La prueba que se hace en el alojamiento no evalúa el ensamble alojamiento-tornillo sino el comportamiento mecánico del componente en los alojamientos.

La prueba en el alojamiento establece el comportamiento mecánico de la deformación como punto para validar que el componente cumple con los requerimientos de carga.

El problema o punto crítico que se tiene en el alojamiento M2 se debe a la deformación del material, por lo que el alojamiento debe presentar deformaciones mayores a $1.7 \left[\frac{mm}{mm} \right]$ para cumplir con los requerimientos de carga.

Para poder validar la prueba será necesario utilizar el modelo teórico ya que la prueba en el alojamiento sólo nos aportara valores de carga, ya que con los cálculos podemos establecer el comportamiento mecánico del componente en el alojamiento.

El modelo teórico es para alojamientos de componentes plásticos de paredes gruesas, por lo que la prueba en el alojamiento que se hace en esta tesis se puede realizar para otros componentes plásticos que tengan alojamientos de pared gruesa para tornillos efectuando el mismo desarrollo experimental y teórico.

La prueba en el alojamiento se realiza por ser esta la parte más débil de un componente plástico debido a que se encuentran líneas de soldadura, por la distancia del punto de inyección y la orientación de la fibra de vidrio ya que por estos factores se caen sus propiedades mecánicas en este punto.

En el caso del alojamiento M1 el uso de costillas y la cercanía del punto de inyección hace que no se disminuyan las propiedades en la línea de soldadura.

El diseño del componente de acuerdo a los resultados, el comportamiento mecánico del alojamiento es $M1 > M3 > M2$, esto seguirá siendo aunque se modifiquen las variables de procesamiento, lo que modificara esto será solamente la posición y tipo de punto de inyección.

Los alojamientos fallan en la parte mas alejada al punto de inyección, se considera que el alojamiento falla donde se forma la línea de soldadura.

El alojamiento falla en la línea de soldadura, la carga máxima que soporta el alojamiento es el valor de la carga que soporta la línea de soldadura debido a que sus propiedades mecánicas se ven reducidas.

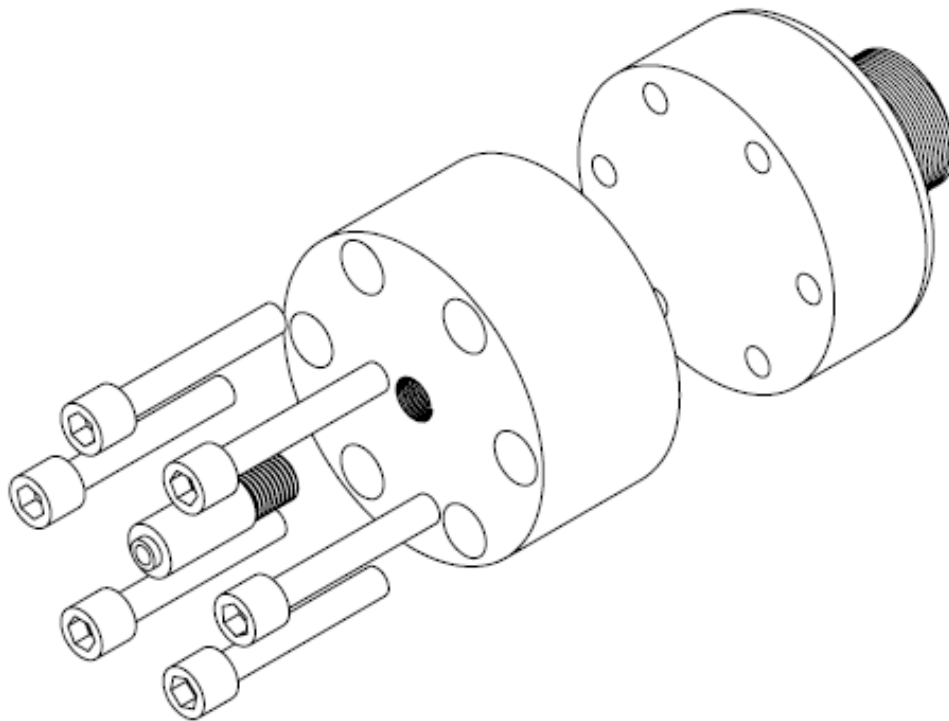
Se propone que la prueba en el alojamiento se debe realizar 24 horas después de ser inyectada la pieza debido a la contracción del material plástico.

Es de suma importancia el secado del material para componentes inyectados con PBT debido a que las propiedades mecánicas se ven reducidas por la degradación hidrolítica que hay en los poliésteres por el rompimiento de las cadenas poliméricas.

Este proyecto me permitió, conocer, aplicar y empatar varias materias de ciencias de la ingeniería e ingeniería aplicada de la carrera para poder realizar esta tesis. Este proyecto al tener un acercamiento con un problema real del sector automotriz, hizo que me tuviera que preparar por la falta de conocimiento, tuve la necesidad de aprender a relacionarme para poder lograrlo, considero que la tesis me dejó un pensamiento como ingeniero más amplio.

Anexo: Planos del herramental

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	herramienta	Φ 1 1/4"-12, 6 alojamientos 5/16"-18	1
2	portaherramientas	Φ 7/16"-20, 6 alojamientos pasados	1
3	base	Φ 7/16"- 20	1
4	ornillo	Allen Φ 5/16"-18- L 1 1/2	6



DIBUJO

Ensamblaje Base

TÍTULO:

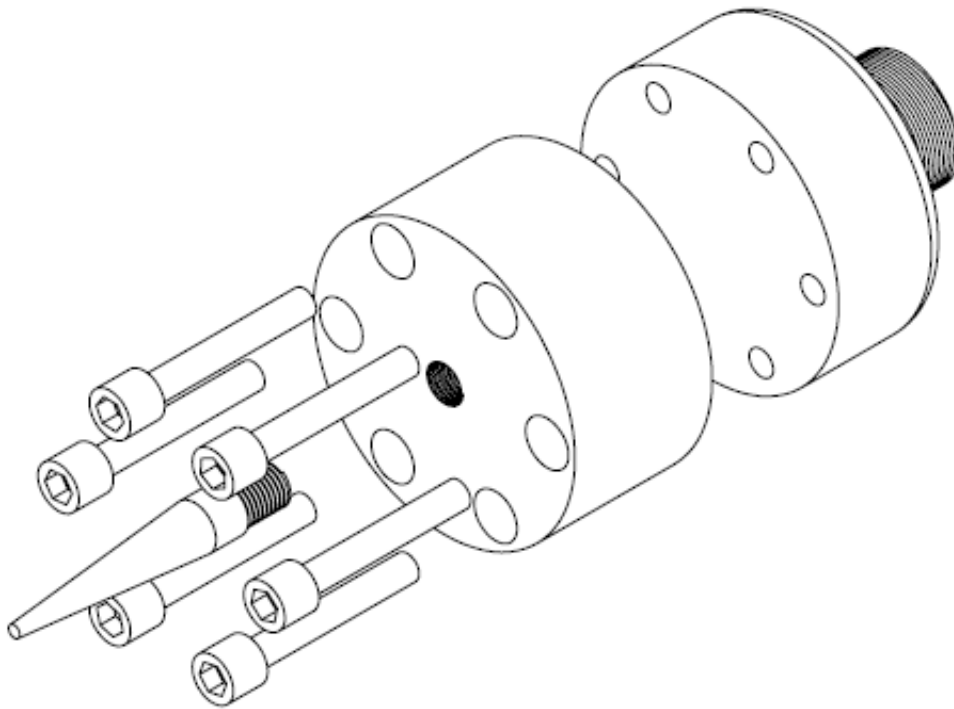
Herramental

A4

ESCALA:1:1.2

HOJA 1 DE 1

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	herramienta	Φ 11/4"-12, 6 alojamientos 5/16"-18	1
2	portaherramientas	Φ 7/16"-20, 6 alojamientos pasados	1
3	tornillo	Allen Φ 5/16"-18	6
4	perno	Cono truncado 5°, Φ 7/16"- 20	1



DIBUJO

Ensamblaje Perno

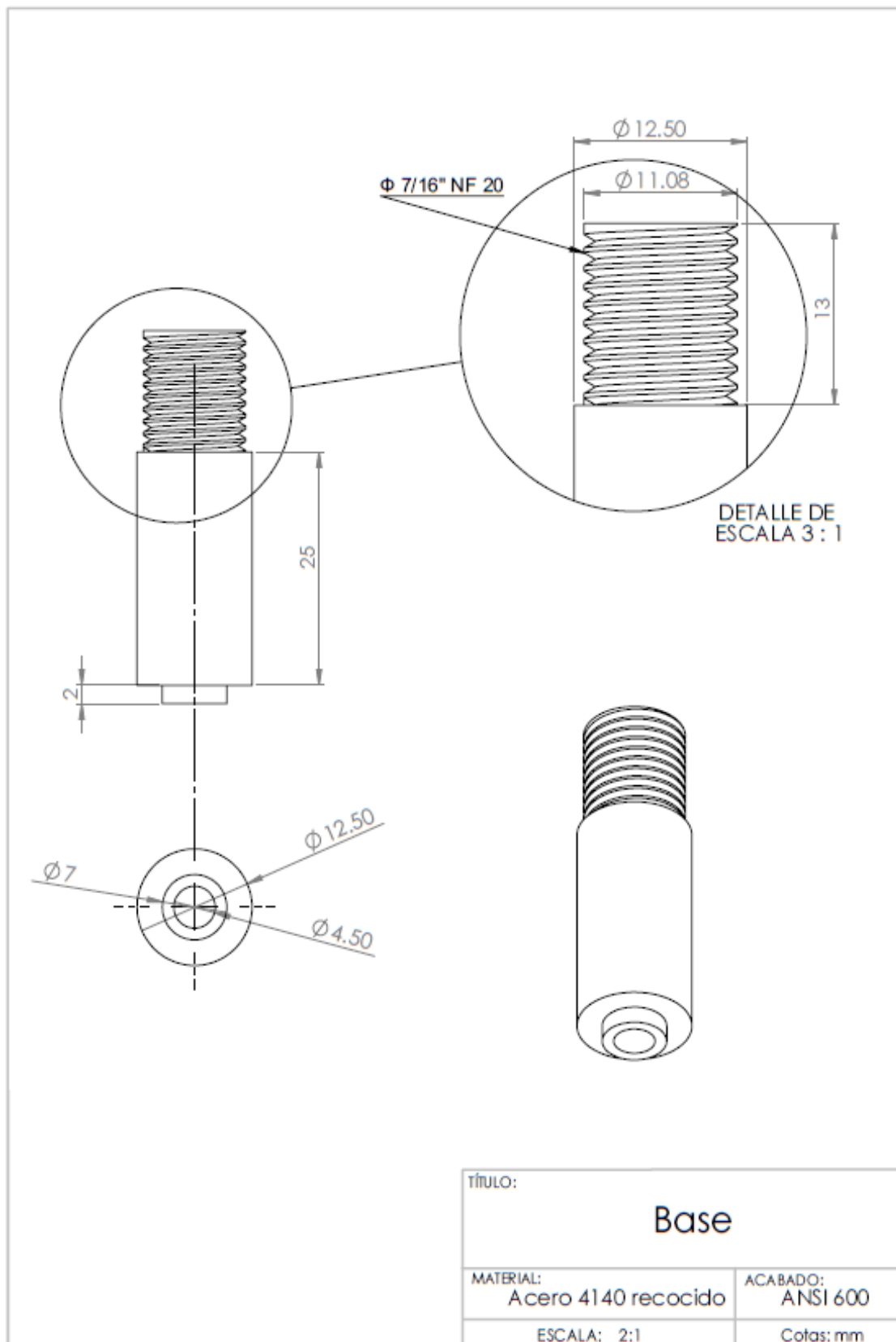
TÍTULO:

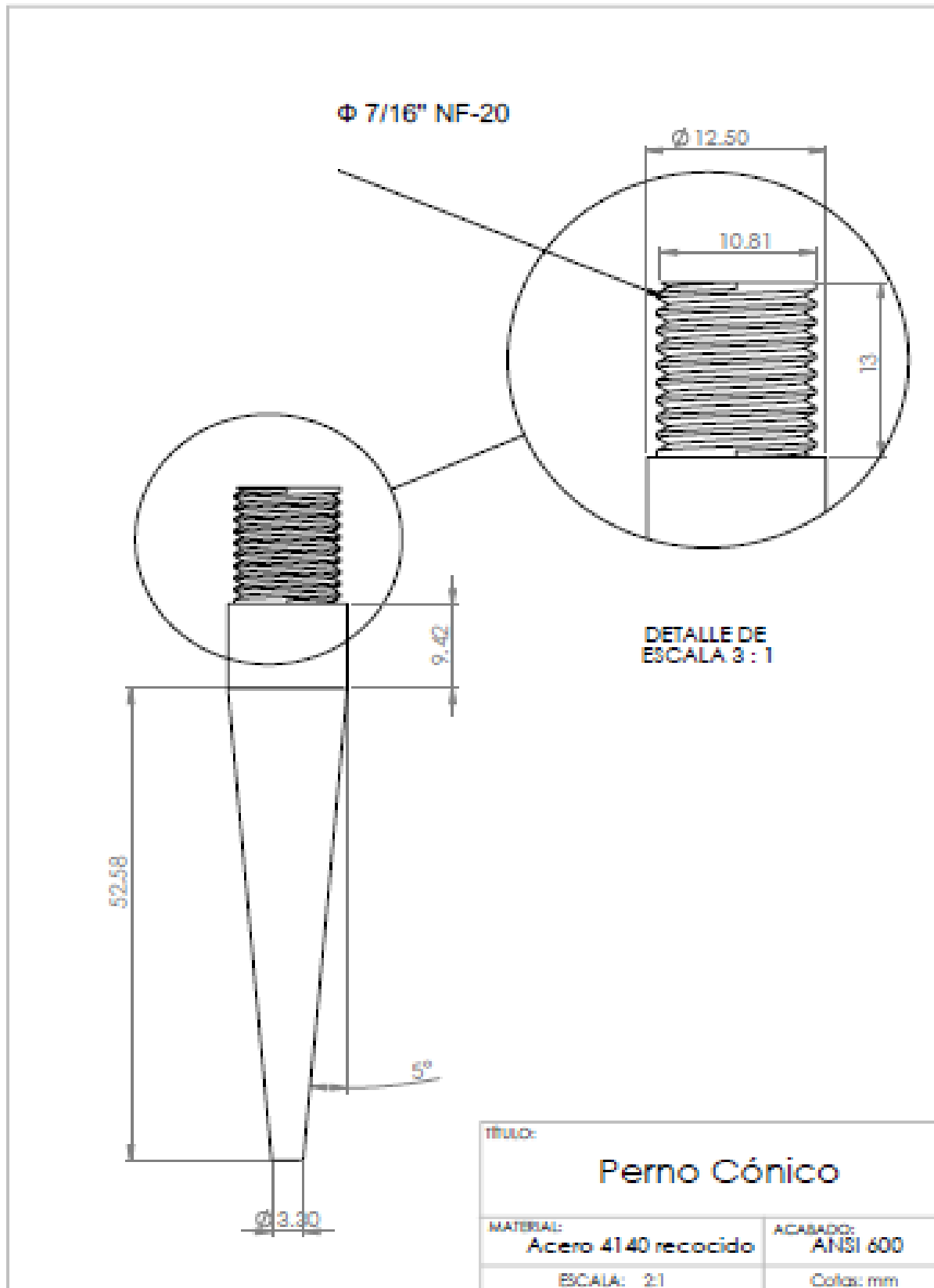
Herramental

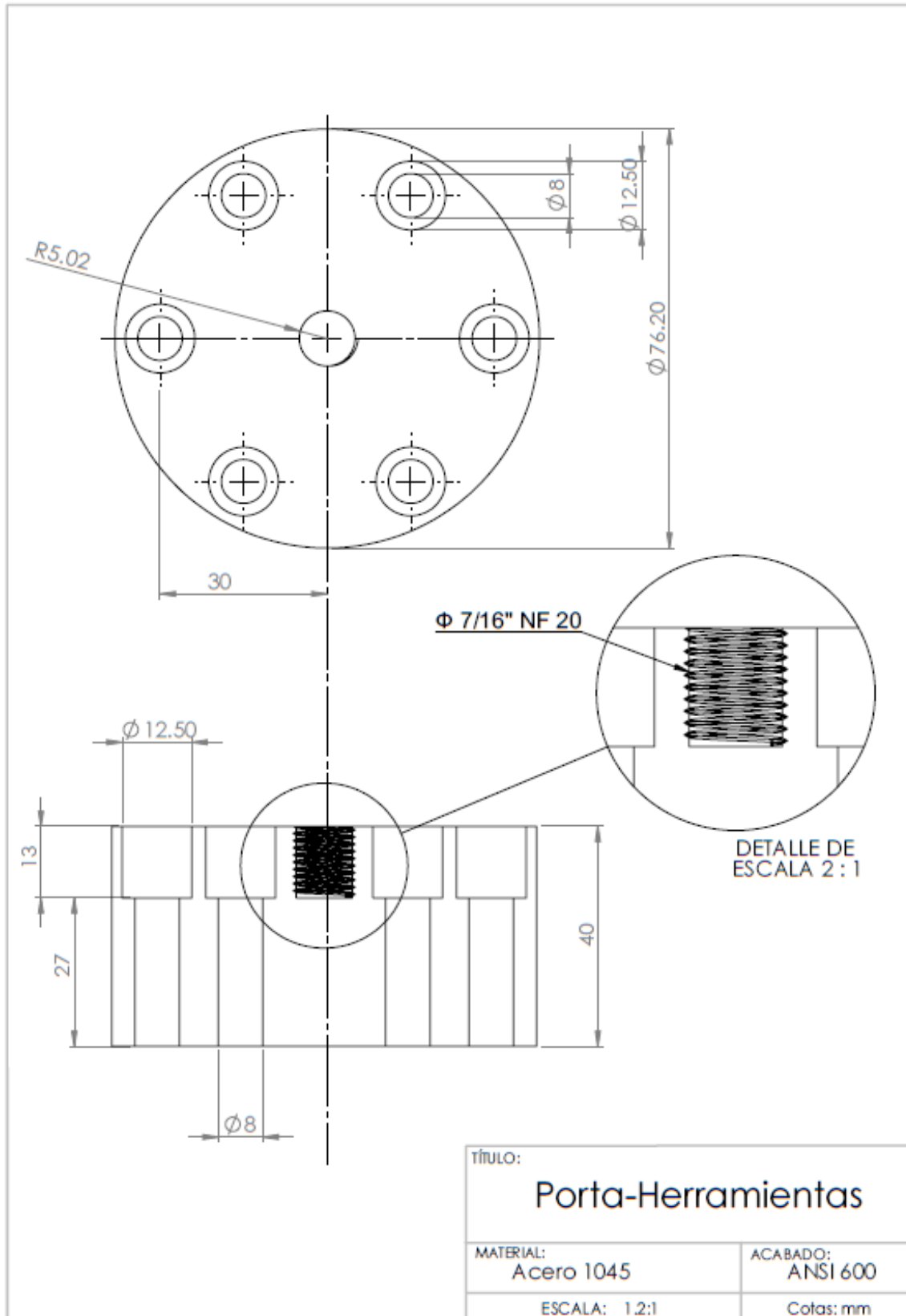
A4

ESCALA:1:1.2

HOJA 1 DE 1







Referencias.

- Moldflow Design Guide A Resource For Plastics Engineers, Jay Shoemaker.
- Tesis de maestría “Medición de la fuerza en un ensamble, por un tornillo autoroscante”, Alberto Domínguez Gómez.
- Tooling Modification Study For The Improvement Of Weld Line Properties. Tom Sinner, Briab K. Pour.
- Fundamentos para el diseño de plásticos, División de plásticos de Ingeniería, Celanese.
- Tecnología aplicada en la capacitación de las máquinas y herramientas, C. Almonte y M. González.
- Plastics Part Design for Injection Molding, Robert A. Malloy.
- Fundamentos dl diseño mecánico, capítulo 2.16. Ajustes a presión y por contracción, Shigley, págs. 85-95.
- Diseño de Maquinas, capitulo 4.17 “esfuerzos en cilindros”, Norton, págs. 597-602 y 249-251.
- Diseño de Maquinas, capitulo 18.2 “ajustes por interferencia”, Michels, págs. 774-776, 887-901.
- Proyecto de elementos de máquinas, capitulo 12 “Elementos de máquinas diversos”, Spotts, págs. 627-634.
- Publicación científica: Mechanics of tapered interference fit in dental implants. Dincer Bozkaya.
- Publicación científica: Evaluación analítico-numérica para ensambles por interferencia.
- Design calculations for press fit joints made from engineering plastics, Ticona.
- <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/09/recipientes-y-tubos.pdf>
- <http://dim.usal.es/eps/im/roberto/cmm/tema2/Cilindros%20de%20pared%20gruesa%20demonstracion.pdf>
- <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3185/1/tfpfd7.pdf>
- http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2007_Vol_2/Num_1/8_JB_VolII_73-82_2007.pdf
- http://revistasomim.net/revistas/2_2/art3.pdf