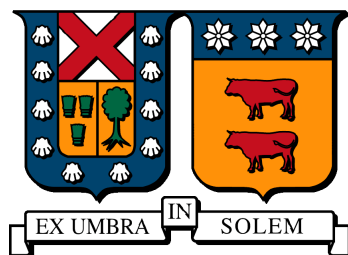


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
SANTIAGO-CHILE



**Evaluación experimental de la influencia de
parámetros de impresión sobre el
comportamiento mecánico del PLA**

Oscar Tomás González Torres

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA : Dr. Ing. Danilo Estay Barrientos
PROFESOR CORREFERENTE : M.Sc. Jaime Ibarra González

Noviembre 2025



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título ☐ Tesis de Postgrado

Título del trabajo: Evaluación experimental de la influencia de parámetros de impresión sobre el comportamiento mecánico del PLA.

Nombre del candidato(a): Oscar Tomás González Torres

Carrera / Grado: Ingeniería Civil Mecánica

Campus: San Joaquín **Departamento:** DIMEC

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Danilo Estay Barrientos, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

☒ El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

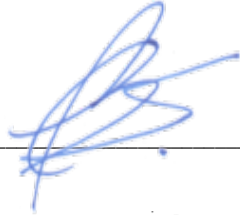
☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

☐ 6 meses ☐ 12 meses ☐ 2 años ☐ 3 años ☐ 5 años ☐ 10 años

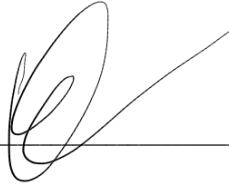
Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 29 de diciembre de 2025 **Firma:** 

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 29 de diciembre de 2025 **Firma:** 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la realización de este trabajo. A mi profesor guía, Danilo Estay, quien siempre respondió a mis dudas y aportó diversas soluciones ante los problemas que surgieron. Agradezco también al profesor Gabriel Cornejo, quien tuvo toda la disposición para colaborar en la ejecución de los 105 ensayos que llevamos a cabo en tiempo récord.

Extiendo mi agradecimiento al taller Metal-Mecánico del Campus San Joaquín de la Universidad Técnica Federico Santa María, donde se fabricaron las mordazas con gran dedicación y paciencia. En particular, agradezco el inmenso apoyo de los profesores del taller: Claudio Aravena, José Luis Baquedano y Hugo Orellana, con quienes tuve el privilegio de compartir gran parte de este proceso. Aunque no estuvo exento de dificultades, ellos siempre me motivaron a buscar nuevas soluciones y seguir adelante, contagiándome de su sabiduría, experiencia y buen humor, algo que atesoraré por siempre. Gracias por confiar en mí y en mis capacidades.

Agradezco también a todos mis amigos que me han acompañado desde siempre: a quienes vienen desde los años del IN, a los que conocí a lo largo de la carrera, y en especial a todos aquellos que me visitaban en el taller mientras trabajaba en las mordazas y se interesaban por los avances.

Quisiera agradecer enormemente a toda mi familia: tíos, primos, abuelitas y en particular a mi papá, mi mamá y la Javi, quienes siempre estuvieron apoyándome y cuidándome, soportando mis malos momentos y celebrando los buenos. Gracias a ustedes nunca me faltó nada para vivir este proceso de la mejor manera posible.

Finalmente, quisiera agradecer profundamente a Catalina, mi amor, quien estuvo presente de muchas maneras a lo largo de este trabajo, siendo mi lugar seguro para estar y conversar mis problemas, su presencia trajo mucha felicidad a esos días complejos en que nada resultaba. Fue la mejor compañera en las noches complicadas y la persona que más me comprendió, convirtiéndose además en mi razón constante de motivación para esforzarme cada día y dar el 100 %.

Agradezco infinitamente todo lo que hizo con tantas cosas para que este trabajo fuera posible.

Resumen

Este estudio evalúa experimentalmente la influencia de distintos parámetros de impresión en el comportamiento mecánico del ácido poliláctico (PLA) fabricado mediante manufactura aditiva por deposición fundida (FDM). Para ello, se fabricaron probetas bajo la norma ASTM D638 variando de forma independiente cuatro parámetros: orientación de impresión, porcentaje de relleno, cantidad de paredes y patrón de relleno. Cada lote fue producido en una impresora Ender 3 V3 KE y posteriormente ensayado a tracción en una máquina universal Zwick/Roell Z100 equipada con una celda de carga de 5 kN.

Los resultados obtenidos permiten identificar el nivel de incidencia de cada uno de estos parámetros en la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad del PLA. Se observó que la orientación de impresión y el patrón de relleno presentan una influencia mínima, con diferencias entre configuraciones que permanecen dentro del orden de la dispersión de los datos. Por el contrario, el porcentaje de relleno y la cantidad de paredes mostraron efectos directos y consistentes: incrementos en ambos parámetros producen aumentos apreciables en la resistencia mecánica y módulo de elasticidad, tendencia respaldada por los modelos matemáticos de ajuste obtenidos. En particular, se obtuvo que la variación entre la condición mínima estudiada para el porcentaje de relleno (10 %) y la condición máxima (100 %), se registró un aumento del 118 % en el valor de la resistencia mecánica y para la cantidad de paredes, se registró un aumento del 36 % entre la configuración con 2 paredes y la configuración con 6 paredes.

El análisis global evidencia que la mayor parte de la resistencia mecánica del PLA está condicionada por la cantidad de material sólido dentro del volumen de la probeta. Adicionalmente, el estudio confirma el carácter anisotrópico del proceso FDM, aunque en las condiciones evaluadas, la orientación no generó variaciones significativas.

Finalmente, se establecen lineamientos técnicos que permiten mejorar las configuraciones de impresión equilibrando desempeño mecánico y tiempo de fabricación. Se recomienda trabajar con porcentajes de relleno entre 60 % y 80 %, emplear configuraciones entre 4 y 6 paredes, y seleccionar patrones de relleno como Cubic cuando se prioriza el menor tiempo de fabricación, reservando Gyroid únicamente para casos donde se requiera maximizar la resistencia mecánica. Estas recomendaciones están acotadas a

las condiciones evaluadas, pero proporcionan una guía práctica para la optimización de piezas impresas en PLA mediante FDM.

Abstract

This study experimentally evaluates the influence of various printing parameters on the mechanical behavior of polylactic acid (PLA) manufactured using fused deposition modeling (FDM) additive manufacturing technology. To this end, standardized ASTM D638 specimens were fabricated under controlled conditions, independently varying four printing parameters: printing orientation, infill percentage, wall count, and infill pattern. Each batch was printed using an Ender 3 V3 KE printer and subsequently tested in tension using a Zwick/Roell Z100 universal testing machine equipped with a 5 kN load cell.

The results obtained allow identifying the degree of influence of each parameter on the tensile strength and elastic modulus of PLA. It was observed that printing orientation and infill pattern exhibit minimal influence, with differences between configurations remaining within the order of the data dispersion. In contrast, infill percentage and wall count showed direct and consistent effects: increases in both parameters led to appreciable improvements in mechanical strength and elastic modulus, a trend supported by the mathematical fitting models obtained. Specifically, a variation between the minimum studied infill condition (10 %) and the maximum (100 %) resulted in a 118 % increase in tensile strength, while wall count produced a 36 % increase when comparing the 2-wall configuration to the 6-wall configuration.

The overall analysis shows that most of the mechanical strength of PLA is governed by the amount of solid material within the specimen volume. Additionally, the study confirms the anisotropic nature of the FDM process, although under the evaluated conditions, the printing orientation did not produce significant variations.

Finally, technical guidelines are proposed to optimize printing configurations by balancing mechanical performance and fabrication time. It is recommended to use infill percentages between 60 % and 80 %, employ wall counts between 4 and 6, and select infill patterns such as Cubic when prioritizing shorter printing times, reserving Gyroid only for cases where maximizing mechanical strength is required. These recommendations are limited to the evaluated conditions but provide a practical guide for optimizing PLA parts manufactured via FDM.

Índice general

1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. Marco teórico	3
3.1. Manufactura aditiva	3
3.2. Fused Deposition Modeling	4
3.2.1. Principales parámetros en FDM	4
3.2.2. Materiales para Impresión FDM	5
3.3. Anisotropía	6
4. Estado del Arte	7
5. Metodología	9
5.1. Equipos e Instrumentos Utilizados	9
5.2. Selección Parámetros de impresión	9
5.3. Fabricación de las probetas	16
5.4. Diseño y Fabricación del Sistema de Sujeción (Mordazas)	21
5.5. Procedimiento Experimental	27
6. Resultados	33
6.1. Orientación de Impresión	33
6.2. Porcentaje de Relleno	36
6.3. Cantidad de Paredes	38
6.4. Patrón de Relleno	41
7. Análisis y Discusión	44
7.1. Orientación de Impresión	44
7.2. Porcentaje de Relleno	45
7.3. Cantidad de Paredes	47

7.4. Patrones de Relleno	49
7.5. Análisis Global de los resultados	50
7.5.1. Resistencia a la Tracción	50
7.5.2. Módulo de Elasticidad (Young)	51
7.5.3. Síntesis general	52
8. Lineamientos de configuración de impresión	53
9. Conclusiones	55
10. Anexos	59

Índice de figuras

3.1. Proceso FDM [15]	4
4.1. Curva Resistencia a la tracción-Porcentaje de relleno [2]	7
4.2. Curvas esfuerzo-deformación en para las muestras en plano 1 2	8
5.1. Disposición de Ángulo de impresión desde el laminador CURA	11
5.2. Disposición de Porcentaje de relleno desde laminador CURA	12
5.3. Disposición cantidad de paredes desde laminador CURA	13
5.4. Disposición distintos patrones de relleno desde el laminador CURA	14
5.5. Diseño de probeta en Autodesk Inventor 2025	17
5.6. Formato de almacenamiento probetas.	20
5.7. Resultados obtenidos del análisis de elementos finitos en ANSYS.	22
5.8. Despiece Mordazas.	26
5.9. Mordazas Ensambladas.	26
5.10. Probetas Numeradas y marcadas.	28
5.11. Montaje experimental del ensayo.	29
5.12. Diagrama de flujo del proceso de ensayo de tracción	30
6.1. Distribución de la resistencia a la tracción función de la orientación de impresión.	34
6.2. Distribución del módulo de elasticidad en función de la orientación de impresión.	35
6.3. Distribución de la resistencia a la tracción en función del porcentaje de relleno.	37
6.4. Distribución del módulo de elasticidad en función del porcentaje de relleno.	38
6.5. Distribución de la resistencia a la tracción en función de la cantidad de paredes.	39
6.6. Distribución del módulo de elasticidad en función de la cantidad de paredes.	40

6.7. Distribución de la resistencia a la tracción en función del patrón de relleno.	42
6.8. Distribución del módulo de elasticidad en función del patrón de relleno.	43
7.1. Gráfica de la resistencia a la tracción en función del porcentaje de relleno.	46
7.2. Gráfica de la resistencia a la tracción en función de la cantidad de paredes.	48

Índice de tablas

5.1. Tabla Parámetros a ensayar	15
5.2. Condiciones estándar de impresión	18
5.3. Tiempo de impresión y cantidad de filamento por cada lote	19
5.4. Materiales de construcción mordazas	22
5.5. Herramientas y condiciones de mecanizado	24
6.1. Valores de resistencia a la tracción en función de la orientación de im- presión	33
6.2. Valores del módulo de elasticidad en función de la orientación de im- presión	34
6.3. Valores de resistencia a la tracción en función del porcentaje de relleno .	36
6.4. Valores del módulo de elasticidad en función del porcentaje de relleno .	37
6.5. Valores resistencia a la tracción en función de la cantidad de paredes . .	39
6.6. Valores del módulo de elasticidad en función de la cantidad de paredes .	40
6.7. Valores resistencia a la tracción en función del patrón de relleno.	41
6.8. Valores del módulo de elasticidad en función del patrón de relleno.	42

Introducción

La impresión 3D es un tipo de manufactura aditiva que ha estado en alza durante la última década, debido a su gran versatilidad, libertad de diseño, personalización, capacidad de construir ensamblajes complejos y rapidez de prototipado [5]. Estas cualidades permiten que este tipo de manufactura sea utilizado transversalmente en diversas áreas, como salud, diseño industrial, entretenimiento, industria alimentaria, entre otras. Es por ello que cada vez se requiere mayor precisión en las propiedades mecánicas de las piezas fabricadas mediante impresión 3D para predecir su comportamiento, lo cual simplificaría el proceso de diseño. Esto se debe a que esta tecnología induce una anisotropía que provoca que las propiedades mecánicas de las piezas impresas no sean constantes en todas las direcciones, dependiendo de las configuraciones de impresión, convirtiendo así su comportamiento en algo poco predecible.

Junto con mejorar la precisión para predecir el comportamiento del PLA, es importante identificar y optimizar la configuración de impresión que permita maximizar el desempeño mecánico, considerando al mismo tiempo el tiempo de fabricación y la cantidad de material requerido.

Objetivos

2.1. Objetivo General

Desarrollar un marco de análisis y validación experimental que permita proponer configuraciones de impresión orientadas a mejorar la resistencia mecánica de piezas fabricadas en PLA mediante tecnología FDM, integrando como criterio complementario la eficiencia en los tiempos de fabricación.

2.2. Objetivos Específicos

- Analizar de forma crítica estudios experimentales previos que investigan cómo los parámetros de impresión 3D afectan las propiedades mecánicas de piezas fabricadas mediante FDM.
- Identificar los principales parámetros del proceso de impresión que influyen en las propiedades mecánicas de las piezas fabricadas mediante impresión 3D.
- Analizar la influencia de las configuraciones de impresión en la resistencia a tracción del PLA, con base en los resultados obtenidos mediante ensayos experimentales.
- Proponer lineamientos técnicos para la configuración de parámetros de impresión que permitan mejorar la resistencia mecánica de las piezas, considerando el tiempo de fabricación como criterio complementario.

Marco teórico

En la presente sección se busca explicar y contextualizar la fabricación y utilización de piezas impresas en 3D, comprendiendo sus principios de funcionamiento, los principales parámetros involucrados y los materiales utilizados. Además, se describen los principios físicos que permiten caracterizar un material, entender su comportamiento y predecirlo, con el objetivo de conocer las propiedades de las piezas fabricadas y evitar fallas por insuficiencia de resistencia.

3.1. Manufactura aditiva

Según define la norma ISO/ASTM 52900:2021 [1], "la manufactura aditiva es el proceso de unir materiales para fabricar partes, a partir de información de modelos 3D, usualmente llevada a cabo de forma capa tras capa".

Según esta definición, la forma en que se generan piezas mediante la manufactura aditiva es a partir de la unión de materiales. Esta unión puede llevarse a cabo de diversas formas, dependiendo también del material del cual se trabaja. A partir de lo anterior, es posible clasificar la manufactura aditiva en distintos tipos según el mecanismo específico mediante el cual se deposita, fusiona o solidifica el material. Dentro de los principales procesos que menciona la norma ISO/ASTM 52900, se destaca el conocido como "Material Extrusion (MEX)".^{el} cual se define como "Proceso de manufactura aditiva en el cual el material es selectivamente dispensado a través de una boquilla u orificio.". Este proceso es el más utilizado respecto a los otros, tanto a nivel industrial como doméstico, tal como menciona Das et al. (2021) [8].

3.2. Fused Deposition Modeling

El modelado por deposición de fundido es una técnica de manufactura aditiva que permite la creación de objetos mediante la fusión y extrusión de un hilo de material termoplástico a través de un cabezal extrusor que deposita el material en capas sucesivas hasta conformar una pieza. [9] Esta técnica es la mas utilizada para la manufactura de materiales como termoplásticos.

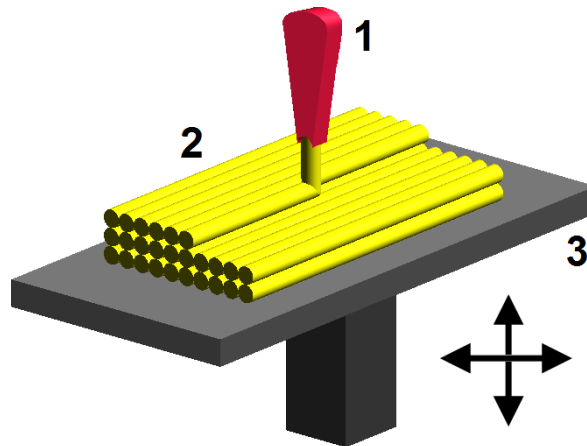


Figura 3.1: Proceso FDM [15]

En la figura 3.1 se puede apreciar el proceso de fabricación por deposición de fundido, donde el número 1 corresponde al cabezal extrusor, el cual calienta el material hasta la temperatura en la cual se puede mantener una fluidez y viscosidad ideal del material. Primero, el material debe adherirse a la cama de impresión y, posteriormente, lograr la unión entre las capas depositadas. El número 2, representa la pieza que se está fabricando, donde se destacan las líneas de impresión que se encuentran distribuidas horizontalmente para generar la geometría de las piezas, estas líneas conforman las capas, las cuales van agregandose una sobre otra hasta lograr la geometría deseada. El número 3 representa la cama de impresión, donde se adhiere la primera capa de material fundido para comenzar a generar las piezas.

3.2.1. Principales parámetros en FDM

La impresión 3D mediante el proceso FDM está condicionada por una serie de parámetros que determinan no solo la calidad superficial de la pieza, sino también sus

propiedades mecánicas y funcionales. Es en base al software de laminado Ultimaker CURA [14], que se revisan los parámetros editables para generar la geometría con distintas características, dentro de los cuales se puede encontrar:

- Temperatura de boquilla
- Temperatura de Cama
- Velocidad de impresión
- Espesor de capa
- Espesor de línea
- Cantidad de perímetros
- Porcentaje de relleno
- Patrón de relleno
- Orientación de impresión
- Tasa de enfriamiento (Ventilación)

3.2.2. Materiales para Impresión FDM

A la fecha de la publicación de este estudio, existen diversos tipos comerciales de materiales desarrollados a partir de polímeros comúnmente utilizados en la industria, los cuales son adaptados a un formato estándar compatible con cualquier impresora FDM. En particular, estos materiales se comercializan como filamentos de 1,75 mm de diámetro, almacenados en rollos de 1 kg y disponibles en múltiples colores. Entre los más utilizados destacan el Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), Acrilonitrilo Estireno Acrilato (ASA), Tereftalato de Polietileno Glicolizado (PETG) y el Ácido Poliláctico (PLA), siendo este último el más empleado por la comunidad debido a su facilidad de uso, buen comportamiento mecánico y bajo costo.

3.3. Anisotropía

La combinación de la variedad de parámetros configurables y la naturaleza capa a capa del proceso FDM genera una inconsistencia en las propiedades mecánicas de las piezas fabricadas mediante esta tecnología, tal como mencionan estudios realizados al respecto, los cuales se revisan en el capítulo 4.

Estado del Arte

En el contexto de determinar los parámetros que influyen directamente en la resistencia mecánica de las piezas impresas en 3D, Chacón, Caminero, García-Plaza y Núñez (2017) [6] realizaron un estudio enfocado en la influencia de los parámetros del proceso de fabricación sobre las propiedades mecánicas de las estructuras impresas. El estudio evaluó variables como la orientación de la pieza, el espesor de capa y la velocidad de alimentación, concluyendo que las orientaciones de impresión plana y lateral presentan mejores propiedades mecánicas. En cuanto al espesor de capa, se observó que, para dichas orientaciones, las variaciones no mostraron un efecto significativo. Con base en estos resultados, los autores concluyen que las piezas exhiben un comportamiento anisotrópico. Este estudio, de gran alcance en términos de variación de parámetros, proporciona una base sólida para futuros análisis. Cabe mencionar que este estudio deja algunos vacíos en cuanto a parámetros que podrían significar mayor implicancia en la resistencia mecánica de las piezas, como es el espesor de pared, siendo un parámetro que requiere un análisis más exhaustivo.

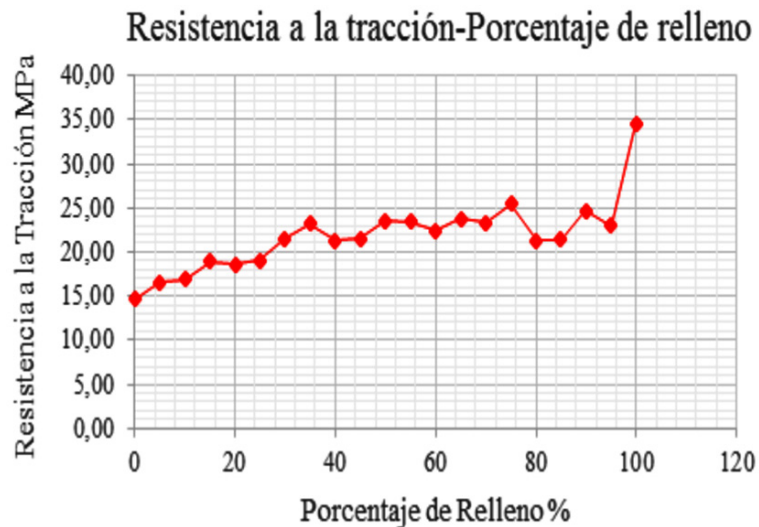


Figura 4.1: Curva Resistencia a la tracción- Porcentaje de relleno [2]

Otro parámetro importante que influye en la resistencia mecánica es el porcentaje de relleno, así lo evalúan Alvarez, K. L., Lagos, R. F., Aizpun, M. (2016) [2], llevando a cabo un experimento en el cual se analiza la implicancia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica de probetas impresas en 3D utilizando filamento de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS).

Según lo concluido por Alvarez, Lagos, Aizpun, la resistencia mecánica se maximiza en una probeta cuando ésta tiene un 100 % de relleno, como es apreciable en la figura 4.1 el porcentaje de relleno parece ser una implicancia directa en la resistencia mecánica.

El estudio llevado a cabo por Meiyu Li, Yanan Xu, and Jianguang Fang. (2024) [12] se centra en el estudio de la influencia de el espacio de aire entre capas en la ortotropía mecánica de muestras impresas en Poliacido Láctico (PLA), determinando experimentalmente el esfuerzo a tracción del mismo para calibrar los modelos ortotrópicos de esfuerzo último y Hill48. Los resultados muestran una clara mejoría de las propiedades mecánicas al introducir el espacio entre líneas de impresión de $-0.05[\text{mm}]$, mejorando la rigidez y la resistencia al disminuir la porosidad de las piezas, sin embargo, esta mejora no parece ser tan significativa. En la figura 4.2, se aprecian las curvas de esfuerzo-deformación para las condiciones de espacio aire 0mm y espacio aire -0.05mm , donde la diferencia entre los valores alcanzados es muy baja.

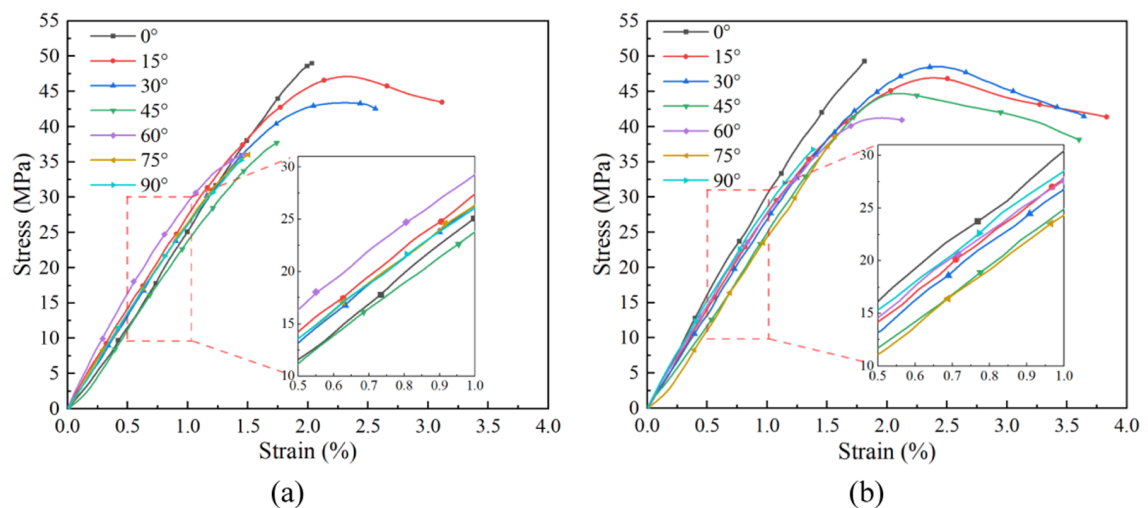


Figura 4.2: Curvas esfuerzo-deformación en para las muestras en plano 12:
(a) espacio aire=0mm, (b) espacio aire=-0.05mm [12]

Metodología

El presente capítulo tiene como finalidad describir en detalle el procedimiento empleado para llevar a cabo estos ensayos, logrando mantener un estándar para asegurar la fiabilidad y trazabilidad de los datos, comenzando desde la selección de los parámetros a utilizar hasta la definición sobre como se realizarán los ensayos.

5.1. Equipos e Instrumentos Utilizados

Para la realización de los ensayos experimentales se utilizaron distintos equipos e instrumentos que permitieron llevar a cabo tanto la fabricación de las probetas como las pruebas mecánicas. La producción de las probetas se realizó utilizando una impresora 3D Ender 3 V3 KE, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el anexo A.

Los ensayos de tracción se realizaron en una máquina universal Zwick-Roell Z100. Este equipo cuenta con un sistema de control de carga y desplazamiento adecuado para la caracterización mecánica de polímeros. Las especificaciones técnicas de este equipo se presentan en el anexo C, esta máquina se utiliza con un captador de fuerza de de 5 kN, debido al orden de magnitud de los valores esperados, las especificaciones técnicas se encuentran en el anexo D.

5.2. Selección Parámetros de impresión

De acuerdo con lo analizado en el capítulo anterior, se destaca el estudio de la influencia de distintos parámetros que definen el laminado de una pieza impresa en 3D en su resistencia mecánica a la tracción. En particular, en el experimento realizado por Chacón [6], se estudia la influencia del espesor de capa de las probetas, el porcentaje de flujo de material y la orientación de la probeta. De donde se desprende que tanto el espesor de capa como el porcentaje de flujo inciden de una manera casi insignificante en la resistencia mecánica de las probetas que son impresas de manera plana respecto a la cama, que son las que muestran mayor resistencia para este parámetro.

En el ensayo realizado por Álvarez [2] se estudia la influencia del porcentaje de relleno en probetas de Acrilonitrilo Butadieno Estireno (ABS), confirmando que a mayor por-

centaje de relleno, mayor resistencia mecánica.

Es en base a estos ensayos que surge la necesidad de ampliar un poco más la búsqueda de parámetros que permitan maximizar las capacidades mecánicas de las probetas impresas con Ácido Poliláctico(PLA), con estos ensayos como referencia es que se definen los siguientes parámetros para analizar:

- Ángulo de Impresión
- Porcentaje de Relleno
- Cantidad de Paredes
- Patrón de Relleno

Ángulo de Impresión

El ángulo de impresión corresponde a la dirección en la que se posiciona la probeta sobre la cama de impresión y por ende la dirección en la que se generan las líneas que forman las capas de la probeta. Este parámetro es relevante para el estudio, dado que puede influir en la anisotropía de las piezas impresas.

Para este parámetro sólo se estudiarán 2 configuraciones, 0° respecto a los ejes X e Y, y 45° respecto a los ejes X e Y, esto debido a la simetría del sistema cartesiano utilizado por las impresoras 3D y por el software que genera las rutas del extrusor. Ya que para prevenir anisotropías, el software genera capas con direcciones opuestas en 90° respecto a su predecesora, por lo tanto, una pieza orientada 0° respecto a ejes X e Y es laminada de manera igual que una pieza orientada 90° respecto a los ejes X e Y.

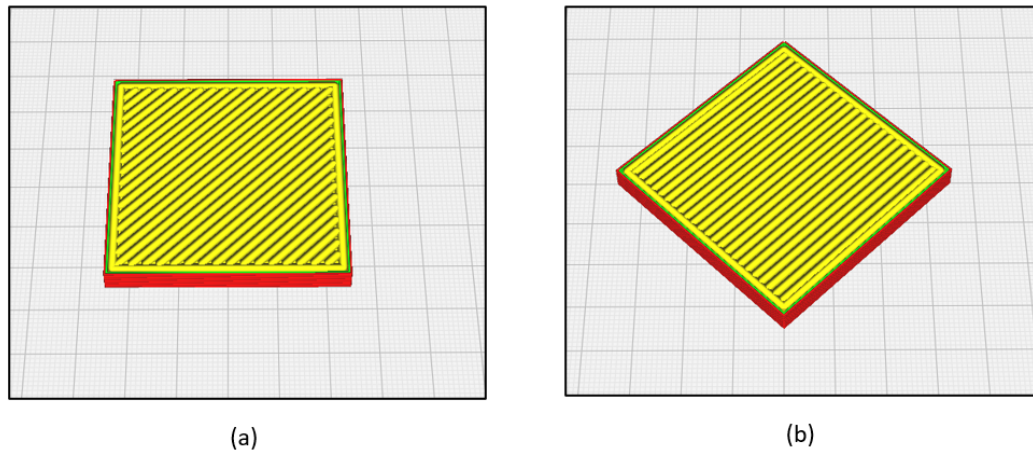


Figura 5.1: Disposición de ángulo de impresión desde el laminador CURA:
(a) 0° respecto a ejes X e Y, (b) 45° respecto a ejes X e Y

Porcentaje de Relleno

Este parámetro corresponde al porcentaje de área llenada en cada capa con material depositado, dejando intersticios con aire, es en definitiva el parámetro que define la densidad de una pieza.

Como tal, es capaz de tomar cualquier valor entre 0 % y 100 %, a determinar por el usuario. En particular, para este ensayo se decide evaluar el rango comprendido desde 10 % hasta el 100 % con un incremento del 10 % para cada lote de muestras. Esto debido a que, según el estudio realizado por Álvarez [2] los incrementos menores al 10 %

significan una muy leve variación en los resultados obtenidos y una variación menor requeriría un aumento significativo de la cantidad de ensayos a realizar y extendería en demasía el fin de este estudio.

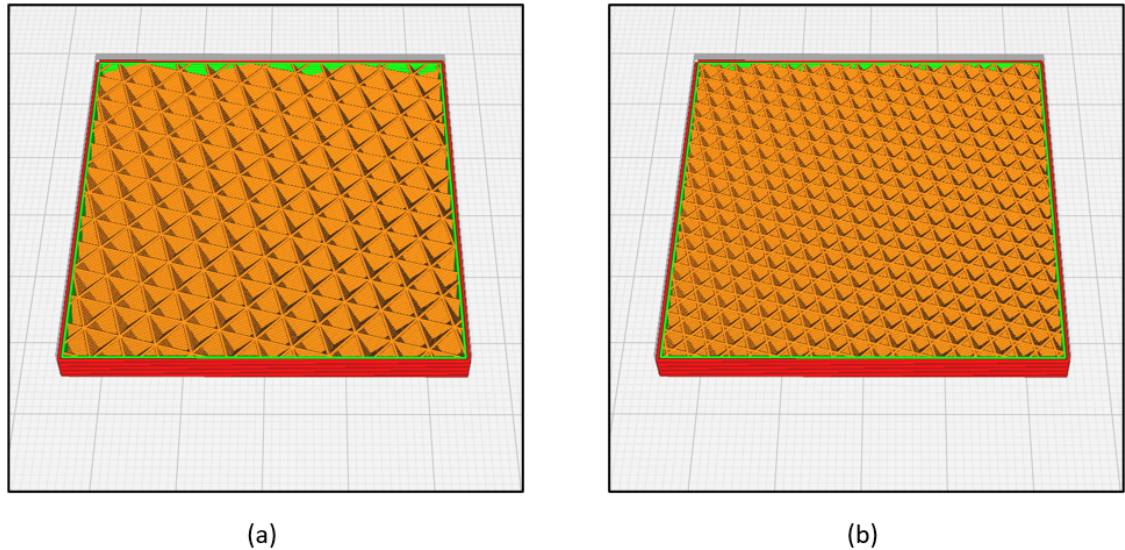


Figura 5.2: Disposición de Porcentaje de relleno desde laminador CURA:
(a) Pieza laminada con 30 % de relleno, (b) Pieza laminada con 50 % de relleno

Cantidad de Paredes o perímetros

La cantidad de paredes o perímetros corresponde al número de contornos o perímetros que genera la impresora para crear la pieza, a entendimiento del autor, estas paredes se generan a modo borde de las piezas con fines estéticos. Sin embargo, el aumentar este parámetro genera una estructura exterior más gruesa que podría aportar a mejorar el comportamiento mecánico de las piezas. Por defecto, el laminador genera las piezas con 2 paredes, por lo que se adopta este valor como límite inferior de estudio, aumentándolo en una unidad hasta llegar a 6 paredes, logrando un espesor de pared de 2.4 mm. A la fecha de este documento, este parámetro no presenta papers o investigaciones asociadas, por lo que es un parámetro que genera interés para el desarrollo de este estudio y de estudios futuros.

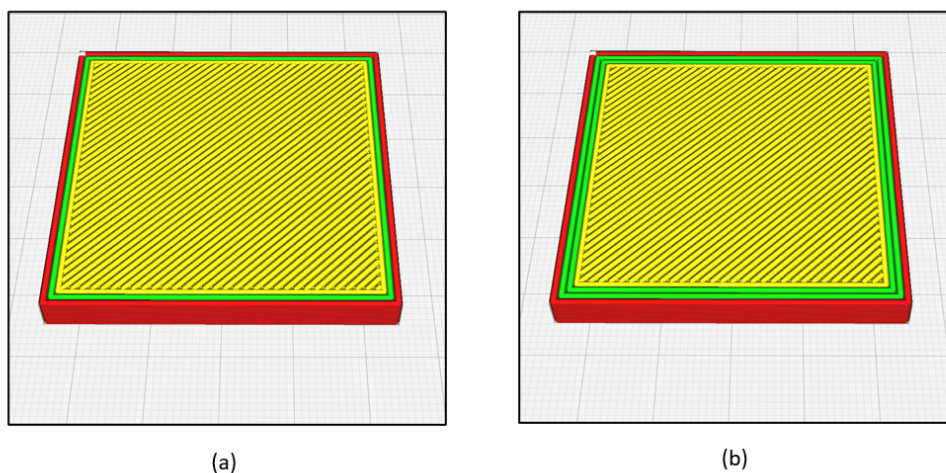


Figura 5.3: Disposición cantidad de paredes desde laminador CURA:
(a) Pieza con 2 paredes, (b) Pieza con 3 paredes

Patrón de Relleno

Todos los softwares que se dedican a laminar archivos STL para generar archivos GCODE ofrecen distintas alternativas para el relleno, ya que la selección de estos va a depender del uso que se quiera dar a las piezas, ya sea con patrones orientados a optimizar la apariencia externa o la resistencia mecánica, junto con ofrecer alternativas que minimizan el consumo de material y optimizan el tiempo de impresión. En particular, el software Ultimaker CURA [14] ofrece 14 opciones de relleno, dentro de las cuales algunas fueron diseñadas para aplicaciones generales, modelos visuales, ahorro de material, modelos flexibles y aplicaciones de ingeniería, esto de acuerdo con el artículo de Ultimaker Support Community [7].

Dentro de los patrones que ofrece este software, se encuentran como patrones para aplicaciones de ingeniería los patrones Cubic, Octet y Quarter Cubic. Por ello, estos patrones son seleccionados para ser analizados en este estudio, junto con el patrón Gyroid, el cual está diseñado para crear modelos flexibles.

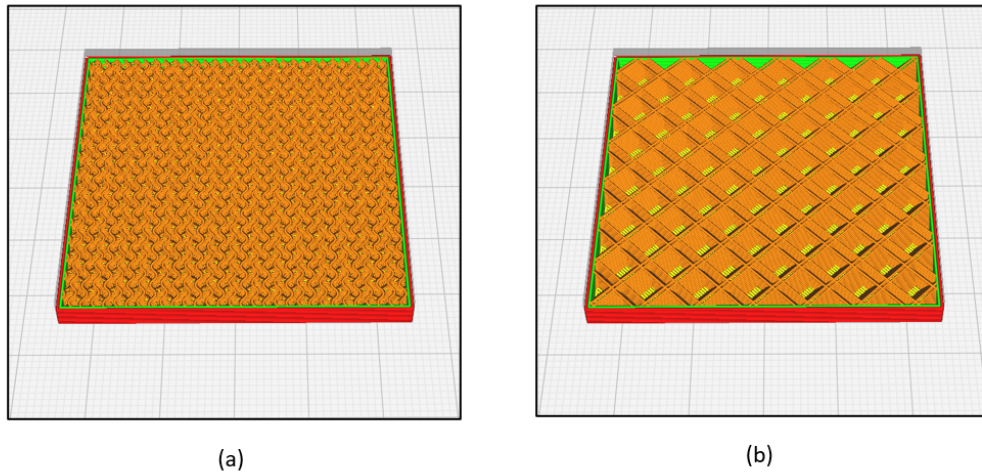


Figura 5.4: Disposición distintos patrones de relleno desde el laminador CURA:
(a) Pieza con un patrón de relleno tipo Gyroid, (b) Pieza con un patrón de relleno tipo Quarter Cubic

Estos cuatro parámetros serán los que se variarán en este estudio para analizar su comportamiento e influencia en las propiedades mecánicas de las probetas impresas en 3D, evaluando tanto resistencia a la tracción como modulo de elasticidad. En la Tabla 5.1 se encuentra el detalle de los lotes de impresión para cada parámetro, se indica además el nombre de identificación que se puede encontrar en otras secciones de este trabajo, junto con la cantidad de probetas a realizar por cada lote.

Tabla 5.1: Tabla Parámetros a ensayar

Parámetro	Valor	Identificación	Cantidad de Probetas
Ángulo de Impresión	0°	<i>BO_0°</i>	5
	45°	<i>BO_45°</i>	5
Porcentaje de Relleno	10 %	<i>In_10</i>	5
	20 %	<i>In_20</i>	5
	30 %	<i>In_30</i>	5
	40 %	<i>In_40</i>	5
	50 %	<i>In_50</i>	5
	60 %	<i>In_60</i>	5
	70 %	<i>In_70</i>	5
	80 %	<i>In_80</i>	5
	90 %	<i>In_90</i>	5
	100 %	<i>In_100</i>	5
Cantidad de Paredes	2	<i>Wa_2</i>	5
	3	<i>Wa_3</i>	5
	4	<i>Wa_4</i>	5
	5	<i>Wa_5</i>	5
	6	<i>Wa_6</i>	5
Patrón de Relleno	Gyroid	<i>InPa_Gy</i>	5
	Cubic	<i>InPa_Cu</i>	5
	Quarter Cubic	<i>InPa_Qt</i>	5
	Octet	<i>InPa_Oc</i>	5
Total de Probetas			105

5.3. Fabricación de las probetas

Para el diseño de la probeta que se utilizará en los ensayos, se decide emplear una probeta plana en forma de "dog bone", utilizando como referencia la norma ASTM 638-22 [10] y ajustando las dimensiones de la toma con el fin de minimizar el deslizamiento de las piezas. El diseño de estas probetas se desarrolló en Autodesk Inventor 2025 [4] empleando herramientas CAD para modelar la geometría. Estas probetas tienen una sección transversal de 16 [mm] y un espesor de 5[mm], según indica el plano incluido en el Anexo B.

La geometría de las probetas, si bien, se basa en la norma ASTM D638-22 [10], esta cuenta con unas diferencias en cuanto a la zona de toma ya que se adaptó esta geometría al sistema de sujeción que se utilizará para llevar a cabo estos ensayos. Es importante destacar que la sección de la probeta donde se espera la ruptura, si está diseñada tal como la norma indica para efectos de asegurar la correcta ruptura de las probetas, Con esta geometría definida, se procede a organizar la impresión de las probetas, la cual se realizará en lotes de 5 probetas, tal como indica la norma D638 [10], y para lograr la homogeneidad de las condiciones de impresión, siguiendo las categorías señaladas en la tabla 5.1. Esta impresión se realiza en el laboratorio MakerSpace de la Universidad Técnica Federico Santa María, campus San Joaquín, utilizando una impresora Ender 3V3 SE, la cual se encuentra en una cámara cerrada, manteniendo una temperatura estable y evitando corrientes de aire que puedan afectar la impresión.

Aquellos lotes que contaban con probetas defectuosas fueron descartados, para evitar agrupar probetas que hayan compartido distintas condiciones de impresión que puedan afectar la dispersión de los datos y los resultados.

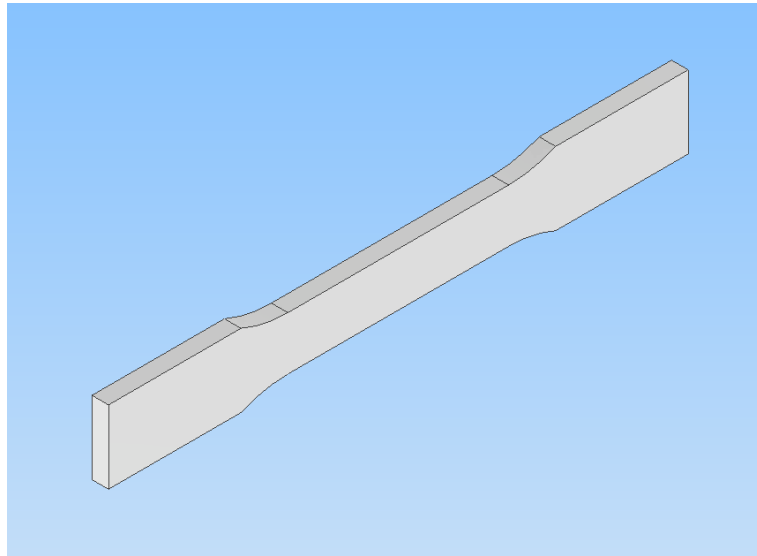


Figura 5.5: Diseño de probeta en Autodesk Inventor 2025

Para realizar la laminación de estas probetas se utiliza el software de laminado Ultimaker Cura [14], el cual es ampliamente utilizado por la comunidad por ser un software gratuito y de código abierto. Al ser ampliamente utilizado por la comunidad, es necesario habilitar la opción que permite desbloquear todos los parámetros que pueden ser modificados para la laminación de un objeto, dentro de los cuales se encuentran algunos de los parámetros analizados en este estudio.

Para mantener el estándar y la comparabilidad entre los distintos parámetros de cada uno de los lotes estudiados, se define variar únicamente el parámetro en cuestión, dejando así el resto de las selecciones con los valores por defecto que define el software, a excepción de los parámetros presentados en la tabla 5.2, los cuales fueron modificados con el fin de evitar cualquier imperfección o defecto en las impresiones, en base a la experiencia del autor de este documento y lo revisado en el capítulo 4.

Con estos parámetros se genera el código G que posteriormente interpretará la impresora para fabricar estas probetas, obteniendo así 105 archivos, los cuales fueron organizados y nombrados de acuerdo con el parámetro en estudio.

Tabla 5.2: Condiciones estándar de impresión

Parámetro	Valor
Altura de Capa	0.2 [mm]
Temperatura de Cama	70 [°C]
Temperatura de Boquilla	210 [°C]
Flujo	100 [%]
Velocidad de impresión	300 [mm/s]
Cantidad de Paredes *	2[-]
Porcentaje de Relleno *	30 [%]
Patrón de Relleno *	Cubic

** En aquellos casos en que no se estudia este parámetro.*

En la tabla 5.3 se presenta el registro de la información del tiempo empleado en imprimir los lotes y la cantidad de filamento utilizado.

Tabla 5.3: Tiempo de impresión y cantidad de filamento por cada lote

Parámetro	Identificación	Tiempo [min]	Filamento [g]
Ángulo de Impresión	<i>BO_0°</i>	100	61
	<i>BO_45°</i>	101	61
Porcentaje de Relleno	<i>In_10</i>	96	49
	<i>In_20</i>	120	55
	<i>In_30</i>	105	61
	<i>In_40</i>	116	68
	<i>In_50</i>	126	74
	<i>In_60</i>	132	81
	<i>In_70</i>	143	87
	<i>In_80</i>	152	94
	<i>In_90</i>	161	100
	<i>In_100</i>	176	106
Cantidad de Paredes	<i>Wa_2</i>	105	61
	<i>Wa_3</i>	111	64
	<i>Wa_4</i>	111	66
	<i>Wa_5</i>	117	68
	<i>Wa_6</i>	119	70
Patrón de Relleno	<i>InPa_Gy</i>	140	62
	<i>InPa_Cu</i>	118	61
	<i>InPa_Qt</i>	108	61
	<i>InPa_Oc</i>	105	61
Total		2562	1471
		42,7 [hrs]	1,47[kg]

Para la fabricación de las probetas se consideró 2 kg de filamento PLA marca Ender color negro, el equivalente a 2 rollos. Estos fueron abiertos justo antes de comenzar a fabricar las probetas, manteniendo así el sellado al vacío que traen de fábrica, ya que, como bien menciona el artículo de Lendvai et al. (2024) [11], la humedad ambiental afecta las propiedades mecánicas de las piezas impresas mediante extrusión. Por la misma razón es que, para almacenar las probetas una vez impresas, se utilizan bolsas sellables con un agente secante que las mantenga a una humedad constante, junto con una etiqueta identificatoria correspondiente al lote y los tiempos de impresión, tal como se muestra en la figura 5.6.

Estas probetas fueron posteriormente almacenadas en el Laboratorio de Tecnología de Materiales de la Universidad, donde se mantienen en condiciones de temperatura y humedad estables, a la espera de la fabricación de las mordazas para realizar los ensayos.

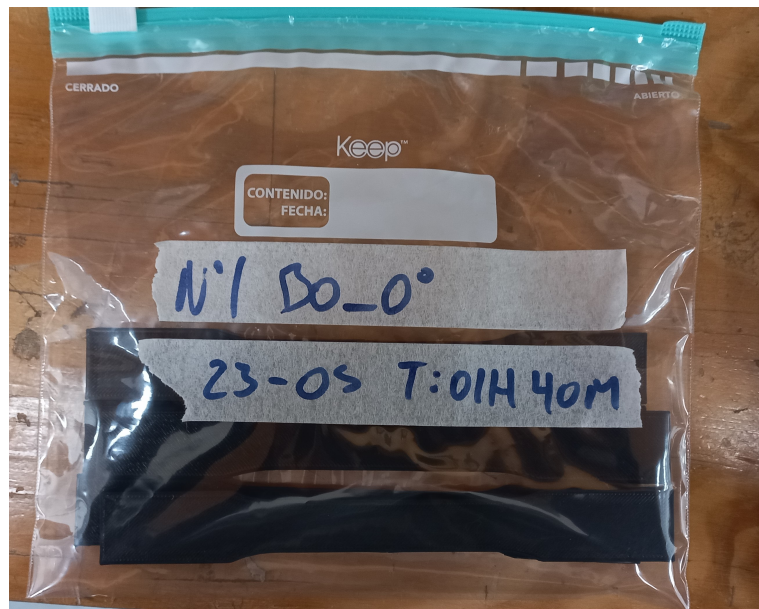


Figura 5.6: Formato de almacenamiento probetas.

5.4. Diseño y Fabricación del Sistema de Sujeción (Mordazas)

Debido a que la máquina de ensayos disponible cuenta sólo con mordazas para utilizar el captador de fuerza de 100 kN, se vuelve una necesidad conseguir las mordazas correspondientes al captador de fuerza de 5 kN. Dentro de las opciones, la mas viable, tanto económicamente como por disponibilidad, es la opción de fabricarlas localmente en dependencias de la Universidad Técnica Federico Santa María, Campus San Joaquín. En esta sección se detalla el proceso de diseño y fabricación de las mordazas para el captador de fuerza de 5 kN y, por ende, las mordazas que se utilizarán durante estos ensayos.

Diseño de las mordazas

Para desarrollar el modelo de las mordazas, inicialmente se realizó un proceso de benchmarking orientado a comparar diferentes soluciones disponibles en el mercado. Este análisis permitió identificar configuraciones funcionales, mecanismos de sujeción y criterios de diseño comúnmente utilizados en equipos similares. Entre las referencias consideradas, destacó el manual del equipo TAS 622 [13], el cual proporcionó información particularmente relevante debido a la claridad de su descripción mecánica y operativa.

A partir de esta revisión, y mediante la aplicación de técnicas de ingeniería inversa, fue posible comprender en detalle el principio de funcionamiento del mecanismo de accionamiento de la mordaza del equipo TAS 622. Esto se considera como base para completar los requisitos funcionales de la mordaza, realizando así el modelado 3D de todos los componentes de este sistema, mediante el software de dibujo y diseño mecánico Autodesk Inventor 2025 [4]. Además, como parte de este proceso de diseño, se realiza además un análisis de elementos finitos para evaluar la rigidez y la resistencia de las mordazas, siendo de principal interés el marco de las mismas, en donde se concentra todo el esfuerzo de la tracción de las probetas gracias al deslizamiento de las cuñas. Este análisis de elementos finitos, se realiza con la ayuda del software de simulación ANSYS Mechanical [3], obteniendo un resultado para el diseño final según muestra la Figura 5.7. Junto con esto, se obtuvo que para las mordazas se tiene un factor de seguridad de 3.74, con lo cual se considera suficiente para dispositivos de esta

naturaleza.

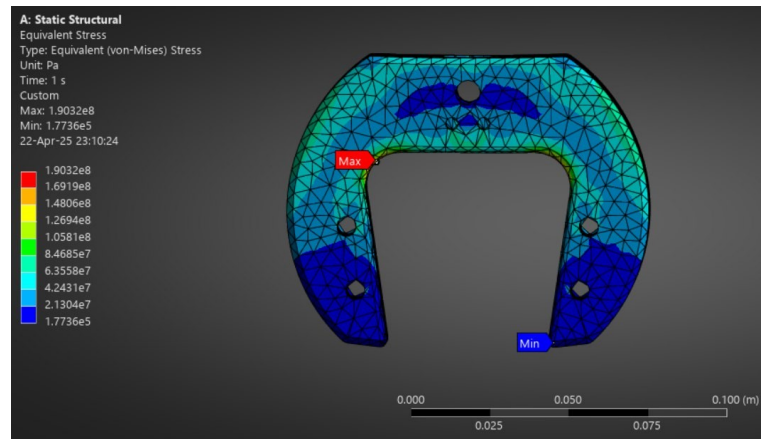


Figura 5.7: Resultados obtenidos del análisis de elementos finitos en ANSYS.

Una vez comprobada la resistencia de estas mordazas, se generan los planos de cada componente para su fabricación, tal como se pueden encontrar en los anexos: F, G, H, I, J.

Fabricación de las Mordazas

A partir de los planos mencionados en la sección anterior, se procede a realizar el mecanizado de las mordazas, para ello, en la investigación y cálculo se definieron los materiales para los componentes de las mordazas, los cuales se encuentran listados en la tabla 5.4:

Tabla 5.4: Materiales de construcción mordazas

Componente	Material
Marco Mordaza	ACERO SAE 4340
Mandíbulas	ACERO SAE 4140
Placa mecanismo de acción	ACERO SAE 4140
Palanca Mecanismo de acción	ACERO SAE 1045
Guías de las mandíbulas	ACERO SAE 1045
Pasadores	LATÓN
Pernos	ACERO INOXIDABLE

La selección de los materiales se realizó debido a la función que la pieza cumplirá dentro del mecanismo. En cuanto al marco de la mordaza, ésta es la pieza crítica del

conjunto por lo que se selecciona un acero de alta resistencia al impacto y una gran tenacidad como lo es el acero SAE 4340, además, su composición lo vuelve menos susceptible a la corrosión ambiental.

Para las mandíbulas(Cuñas), en cambio, se selecciona un acero SAE 4140, ya que estas piezas serán móviles y no reciben la carga directamente como lo hace la mordaza.

La palanca de accionamiento y las guías son piezas que reciben bajas cargas dentro del funcionamiento del mecanismo, por lo que no se requiere seleccionar aceros de gran resistencia, y por ende, se opta por un acero SAE 1045 ya que ofrece una gran facilidad de mecanizado y gran desempeño en relación costo/Resistencia.

Para los pasadores se selecciona latón ya que cumplen la función de sujetar los componentes del mecanismo de acción y permitirles rotación libre en 1 eje, por lo que este material es ideal debido a su gran resistencia al desgaste por fricción, además, esto protege al resto de componentes debido a que su resistencia mecánica es mucho menor a la del resto de componentes, y desempeñaría un rol de "fusible" dentro del sistema.

Piezas mecanizadas en un centro de mecanizado CNC

Para la fabricación, se utilizaron distintas operaciones dependiendo de la geometría de las piezas, sin embargo, para la gran mayoría de las piezas se utilizó un centro de mecanizado CNC Hartford LG500 de 3 ejes, con un plato de 3 garras para sujetar las barras cilíndricas de material en bruto, este centro trabaja con un control Fanuc y opera mediante código g el cual es generado a partir del módulo CAM del software Autodesk Inventor 2025 [4].

De este modo, se fabrican los marcos de mordaza, los cuales salen terminados con las perforaciones listas para ser roscadas de manera manual con macho de roscar fuera de la máquina.

Las mandíbulas, en cambio, al llevar mecanizado por las 4 caras, se debe realizar más de una toma, en particular para realizar el ranurado donde van las guías, fue necesario realizar un ensamble Macho-Hembra para sujetar las mandíbulas y darle acabado por ambas caras. Posteriormente, se realiza el moleteado en una fresa convencional modificada con un husillo inclinado en 45°, y una fresa plana de 4mm, dando un paso de 1mm entre moleteado y una profundidad de 0.4mm de acuerdo a los planos del anexo G.

Al igual que las mordazas y las mandíbulas, la placa que soporta el mecanismo de acción, también fue fabricada en el centro de mecanizado CNC, a partir de un material

base con la misma geometría que el utilizado para las mandíbulas. Estas piezas se terminan a mano fuera del centro de mecanizado realizando hilos con machos de roscar manuales.

Para la determinación de las condiciones de corte se utiliza la ecuación 5.1, donde V_c : Velocidad de Corte, la cual depende del material de la fresa y el material a mecanizar y D : Diámetro de fresa/Broca.

$$RPM = \frac{1000 V_c}{\pi D} \quad (5.1)$$

Con esta ecuación se realiza el cálculo para todas las herramientas utilizadas, los resultados se muestran en la tabla 5.5:

Tabla 5.5: Herramientas y condiciones de mecanizado

Herramienta	Material	RPM
Fresa plana $\varnothing 70$	Insertos Coro Mill 490	1200
Fresa plana $\varnothing 20R0.8$	Insertos KC725M	3800
Fresa Plana $\varnothing 8$	Carburo Cementado	3640
Fresa Esférica $\varnothing 5$	Carburo Cementado	3490
Fresa Plana $\varnothing 4$	Carburo Cementado	4370
Fresa Esférica $\varnothing 3$	Carburo Cementado	5820
Broca centro 2.5 mm	Acero Rápido	1111
Broca 3.3 mm	Acero Rápido	1320
Broca 5 mm	Acero Rápido	870
Broca 5.5 mm	Acero Rápido	880
Broca 7.9 mm	Acero Rápido	580
Broca 8.5 mm	Acero Rápido	530
Broca 10.2 mm	Aleación HSS + Co	550

Piezas Fabricadas en Torno Convencional

Para el caso de los pasadores y tirantes, estos fueron fabricados en un torno convencional a partir de barras redondas de latón, con herramienta de forma con inserto DNMG 15 y 820 RPM.

Otra pieza Fabricada en Torno convencional fué la toma de la mordaza inferior, la cual fue fabricada a partir de una barra redonda de Acero 1045 y mecanizada con un inserto DNMG 15 trabajando a 820 RPM y se utiliza una herramienta de acero rápido afilada a 60° para realizar un hilo macho en esta toma, esto se realiza a unas 52 RPM utilizando fluido de corte para mejorar la precisión y desempeño de esta herramienta.

Finalmente, para la fabricación de la palanca de accionamiento mecanismo, se aproxima primero una forma cilíndrica con diversos diámetros en un torno convencional para luego ser montada en un cabezal divisor en el centro de mecanizado CNC, creando así un cuarto eje con el cual se puede generar la compleja geometría de esta pieza, las RPM y herramientas son las mismas que se encuentran listadas en la tabla 5.5.

Piezas Fabricadas en Fresa Convencional

Las guías de las mordazas fueron fabricadas en una fresa convencional, a partir de una barra cuadrada de Acero 1045, trabajando con 980 RPM y fresa $\varnothing 70\text{mm}$ con Insertos Coro Mill 490, para luego darle terminaciones manualmente como las perforaciones y chaflanes.

Ensamblado y Ajuste

Debido a la naturaleza de los procesos de fabricación de las piezas, en particular de aquellas que fueron fabricadas en el centro de mecanizado, estas cumplen con una tolerancia de $\pm 0.02\text{mm}$, siendo mas que suficiente para mecanismos de esta naturaleza. Para el ensamblado, se instalan las mandíbulas dentro de los marcos, y se ajustan en su lugar con las guías, siendo estas fijas al marco mediante los pernos. Para facilitar el posterior deslizamiento de estas mandíbulas, se engrasa toda superficie de contacto con otras piezas. Para verificar el ajuste se utiliza una galga de espesor de 0.03 mm la cual no pasa entre la superficie de la mordaza y las mandíbulas, asegurando el máximo contacto.

Finalmente, se monta el mecanismo de accionamiento que está compuesto por la palanca, los pasadores y la placa de soporte, este conjunto es el que permite cerrar las mordazas automáticamente mediante la acción de un par de resortes, los cuales son seleccionados en base a la fuerza necesaria para que las mandíbulas inferiores se mantengan cerradas en su posición de reposo y el apriete de las mandíbulas sea suficiente para evitar deslizamiento de las probetas a ensayar.

En la imagen 5.8 es posible apreciar el despiece de estas mordazas en la disposición previa a ser ensambladas.

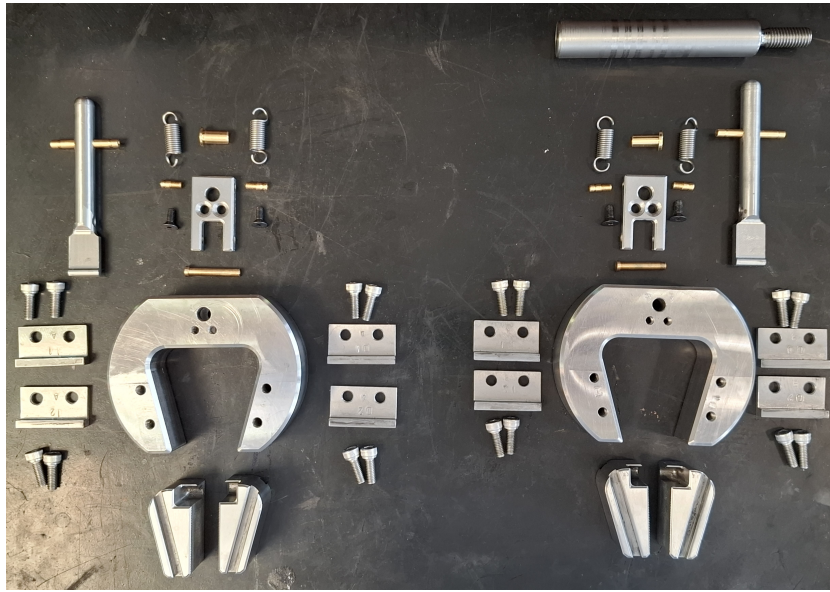


Figura 5.8: Despiece Mordazas.

Quedando finalmente el sistema armado y funcional tal como muestra la figura 5.9, de esta forma, se instalan las mordazas en la máquina de ensayo Zwick Roell Z100 junto con el captador de fuerza de 5kN.

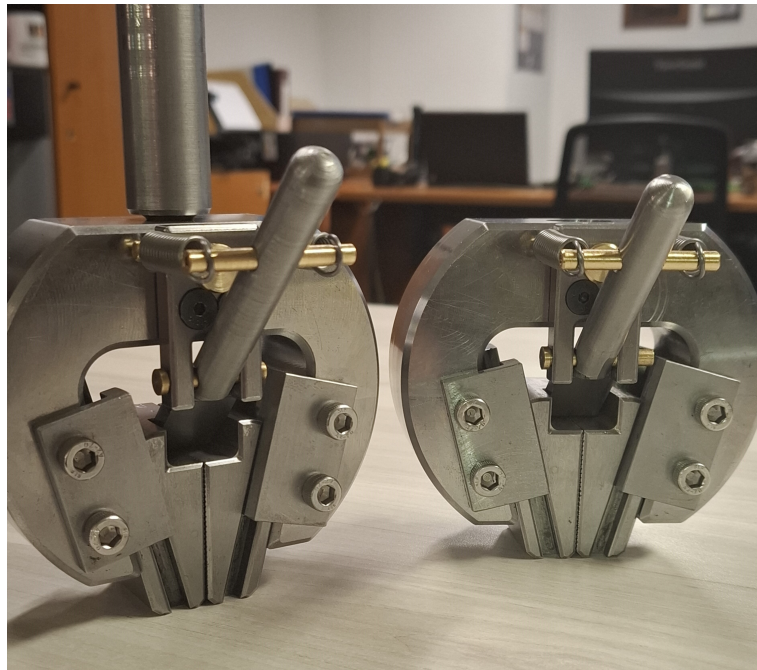


Figura 5.9: Mordazas Ensambladas.

Estas mordazas serán instaladas en la máquina de ensayos Zwick Roell Z100, donde la mordaza inferior se sujeta mediante una toma cilíndrica con las mordazas originales de la máquina. Para la mordaza superior, esta se instala mediante el pasador junto con el captador de fuerza de 5 kN. En la sección procedimiento experimental se detalla mas sobre el montaje de estas mordazas en la máquina de ensayos.

5.5. Procedimiento Experimental

En este capítulo se describe el procedimiento empleado para la recolección de datos para caracterizar mecánicamente el comportamiento del PLA en tracción.

El objetivo de este ensayo es medir cuantitativamente los parámetros mas importantes para caracterizar un material, en este caso PLA, mediante ensayos de resistencia en tracción, es por ello que en el sistema de recolección de datos TestXpert II [16] se selecciona la opción de registrar todos los parámetros posibles. Sin embargo, para este estudio se centrará principalmente en el análisis de los parámetros resistencia última a tracción (σ^M) y módulo de elasticidad (E^t).

Todo el desarrollo de estos ensayos se llevó a cabo estrictamente bajo la norma D638, respecto al procedimiento de medición de los parámetros. Sin embargo, tal como menciona la sección 5.3, la geometría de las probetas solo se tomó como referencia, ya que la geometría final fué definida para coincidir con las características de las mordazas.

Preparación

Como se menciona en la sección 5.3 las probetas fueron fabricadas con anterioridad y en lotes, siguiendo el orden en que serán ensayadas, junto con esto se mantienen almacenadas en condiciones estandar en sobres sellados y etiquetados con un agente secante para mantener la humedad constante desde el momento en que se fabrican hasta el momento en que se ensayan. El almacenado de las probetas se realizó dentro del mismo laboratorio donde se encuentra la máquina de ensayo Zwick Roell Z100.

Cada una de las probetas, previo a ser ensayadas, fué medida y numerada tal como indica la norma, realizando marcas en la zona de ensayo que comprende 50mm desde el centro de la probeta, tal como muestra la imagen 5.10, además, esta medición comprende el espesor y ancho de cada una de las probetas para obtener los valores mas exactos respecto a la sección transversal de cada una.

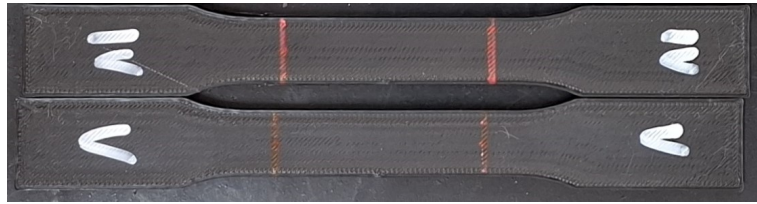


Figura 5.10: Probetas Numeradas y marcadas.

En cuanto a la preparación de la máquina de ensayos, se requirió en primera instancia realizar el cambio del captador de fuerza de 100kN por el de 5kN para los ensayos, lo cual también implicó un cambio en la conexión del mismo, es por ello que en el software se debe volver a configurar y calibrar el captador de fuerza para asociarlo al perfil de trabajo que se utilizará.

En el software, será necesario crear un perfil de ensayo con las consideraciones mencionadas anteriormente.

En cuanto a la velocidad de ensayo, se calcula a partir de lo informado en la norma D638-22, sección 10.1, donde se tiene que para probetas del tipo I, como la estudiada en este caso, se debe seleccionar una velocidad de 5 mm/min, con lo cual se define este parámetro en el software de la máquina de ensayos.

Montaje

Para proceder al montaje de las probetas, es necesario montar en primera instancia las mordazas fabricadas para este ensayo utilizando el captador de fuerza de 5kN, para la mordaza superior, esta se sujeta mediante el sistema eje-pasador que incluye el captador de fuerza, por lo que no hay problemas de alineamiento ya que el eje auto-centra la mordaza y el pasador la alinea en el eje correspondiente. En cuanto a la mordaza inferior, esta se sujeta mediante un eje fijo a la mordaza, el cual es centrado gracias al sistema de mordaza que trae la máquina de ensayos, específicamente con las cuñas de toma cilíndrica, esto permite centrar en el eje de ensayo con respecto a la mordaza superior, mas no alinearlas, por lo que en primera instancia se aproxima y luego, al tomar una probeta se alinean las mordazas.

Para el montaje de las probetas, estas se sitúan a partir de la máxima superficie de toma o de contacto entre la probeta y las mandíbulas, tomando en consideración que esta fue la distancia que se dió de toma al momento de diseño de la probeta, tal como indica el

plano del anexo B. Respecto al centrado en el sentido de profundidad, se fabrica mediante impresión 3D un distanciador que permite el rápido centrado de las probetas, por lo que de esta forma se estandariza la medición en todas las muestras. Finalmente, el montaje de todas las probetas queda tal como muestra la figura 5.11, donde es posible evidenciar los componentes mencionados anteriormente y la forma en que se realizarán todos los ensayos.

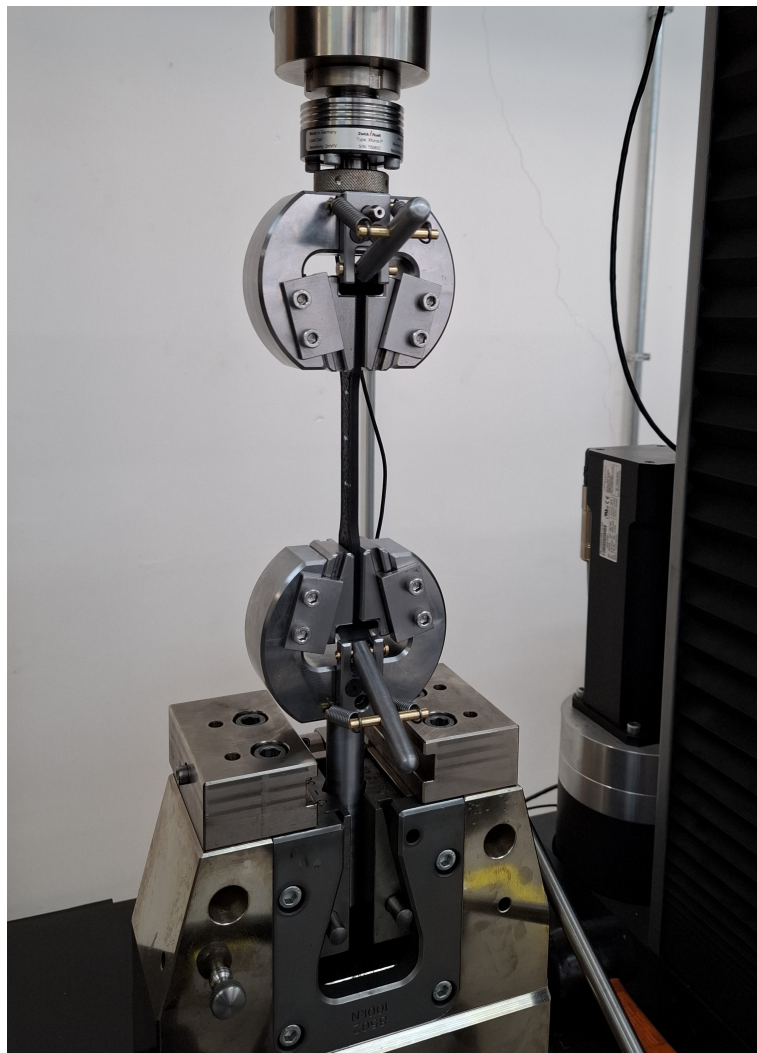


Figura 5.11: Montaje experimental del ensayo.

Ejecución de los ensayos

Respecto a la ejecución de los ensayos, se define en primera instancia no incluir una precarga, tal como indica la norma D638, solamente se ajusta a manera de alinear las probetas y mordazas, este ajuste se realiza con el seteo automático que tiene la máquina de ensayos respecto a la distancia de ensayo, la cual corresponde a los 50mm de sección de ensayo según la norma y según lo definido en la geometría de las probetas. Para la realización de los ensayos, se lleva a cabo tal como indica el diagrama de la figura 5.12:

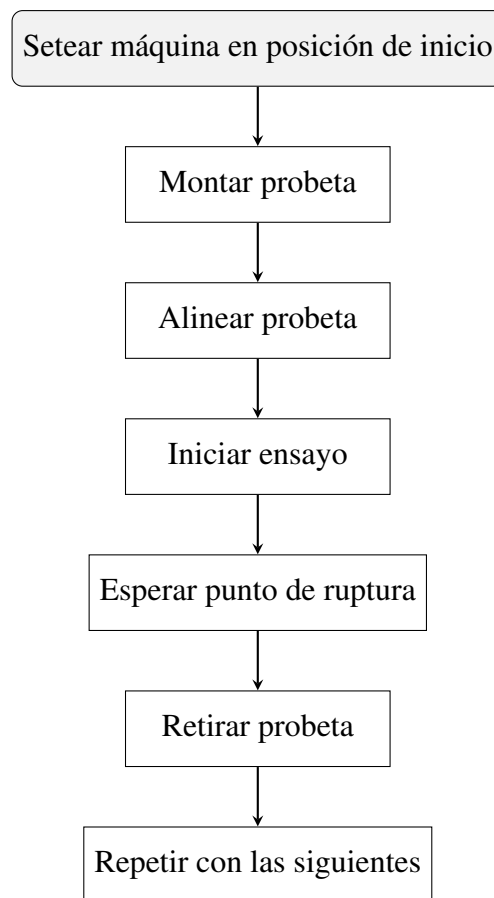


Figura 5.12: Diagrama de flujo del proceso de ensayo de tracción

Del diagrama anterior se tiene que:

- Setear máquina posición de inicio: Para la primera probeta, se indica cual va a ser la posición a partir de la cual la máquina de ensayos considera como cero

o reposo, por lo que se define este punto para comenzar la medición de todas las probetas y así todas quedan centradas en posición.

- Montar probeta: Se monta la probeta entre las mordazas, procurando alinearla verticalmente con el tope de las mandíbulas de las mordazas, maximizando así el área de contacto,
- Alinear probeta: Se alinea la probeta respecto al centro, utilizando el espaciador con la medida indicada, tanto en la toma superior como inferior, logrando así una alineación correcta y estándar para todas las probetas.
- Iniciar Ensayo: Se da inicio en el software para que la máquina comience a traccionar y efectuar la medición del esfuerzo en función de la deformación.
- Esperar punto de ruptura: Se espera a que la probeta llegue a su punto de ruptura para terminar el registro de datos, ésto lo hace automáticamente el software.
- Retirar la probeta: Se retiran las partes de la probeta ya fracturada para luego ser almacenada y posteriormente analizada.
- Repetir con las siguientes: se da por finalizado el ensayo y se repite el proceso con las siguientes, desde el punto de setear la máquina a la posición de inicio.

Registro y procesamiento de Datos

Los datos son ordenados en el software testXpert II (ZwickRoell, 2010) [16], a partir de los lotes de prueba, que son los mismos lotes de impresión y parámetros; identificando el número de cada probeta. Estos datos son posteriormente exportados en formato informe PDF, donde incluye los gráficos esfuerzo en función de la deformación y la estadística de cada lote, tal como se encuentran en el anexo K. De dichos informes no se requiere mayor manejo de datos, debido que ya se encuentra la información directamente.

Junto a este informe en PDF, es posible extraer un excel para cada lote, el cual incluye la información de todos los instantes de medición para cada probeta. La información de estos excel será utilizada para calcular manualmente los módulos de elasticidad, debido a que es posible apreciar en la gran mayoría de resultados un salto en la gráfica (Del cual se profundiza mas en el capítulo 7), ajustando así a un rango mas fidedigno y estable para realizar la estimación de los modulos de elasticidad.

Finalmente, se recopilan todos los datos en una planilla Excel, lo que permite ordenar la información y obtener indicadores estadísticos como el promedio y la desviación estándar. Estos valores, junto con la estadística descriptiva general, facilitan una mejor caracterización del comportamiento observado durante el estudio. Además, se incorpora el uso de la variación comparativa porcentual, calculado mediante la ecuación 5.2, para evaluar de forma más directa las variaciones entre resultados. El archivo Excel correspondiente se adjunta en el Anexo E.

$$\text{Variación porcentual} = \frac{V_{\text{final}} - V_{\text{inicial}}}{V_{\text{inicial}}} \times 100 \quad (5.2)$$

Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de tracción realizados sobre probetas de PLA fabricadas mediante FDM. En estos ensayos se evaluaron distintas combinaciones de parámetros de impresión. Se muestran los valores experimentales de la resistencia y el módulo de elasticidad.

Debido a la gran cantidad de datos e información, esta sección presenta un resumen estadístico para cada parámetro en estudio, la totalidad de los valores junto con los informes obtenidos a partir del software testXpert II (ZwickRoell, 2010) [16], los cuales se encuentran disponibles en anexos K .

6.1. Oriencación de Impresión

Resistencia a la Tracción

Para las probetas en las que se varió la orientación de impresión, se obtuvieron los resultados presentados en el Anexo E. A partir de estos datos se obtuvo el resumen estadístico mostrado en la Tabla 6.1:

Tabla 6.1: Valores de resistencia a la tracción en función de la orientación de impresión

Parámetro	Promedio Resistencia $\bar{x}$ [Mpa]	Desviación estándar
BO_0°	18.87	0.32
BO_45°	18.82	0.65

Según se observa en la Tabla 6.1, las desviaciones estándar son bajas, lo que sugiere una variación interna reducida entre las probetas ensayadas. Asimismo, la diferencia entre los valores promedio de los parámetros evaluados es mínima, evidenciando una consistencia significativa en el comportamiento mecánico del material bajo estas condiciones.

A partir de esta tabla, es posible graficar los datos, mediante herramientas de excel para visualizar de mejor manera la distribución de estos, lo cual se presenta en la siguiente figura:

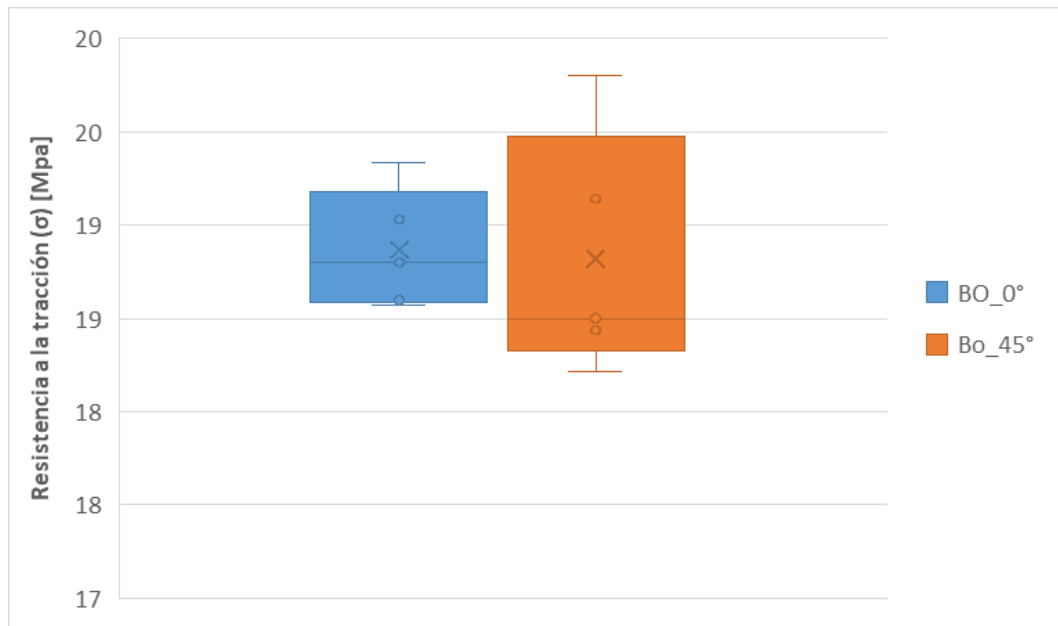


Figura 6.1: Distribución de la resistencia a la tracción función de la orientación de impresión.

En la Figura 6.1 se presentan los diagramas de caja y bigote, en donde se observa que, aunque los valores promedio presentan variaciones entre ambos lotes, estas se encuentran dentro del rango de dispersión mostrado por los datos. Esto indica que los resultados de ambos conjuntos presentan comportamientos similares.

Módulo de Elasticidad (Young)

Por otro lado, para las probetas de este mismo lote, se obtuvieron los valores presentados en el anexo E correspondientes al módulo de elasticidad, de donde se obtuvo el resumen estadístico presentado en la tabla 6.2

Tabla 6.2: Valores del módulo de elasticidad en función de la orientación de impresión

Parámetro	Promedio Módulo de Young $\bar{x}$ [Mpa]	Desviación estándar
BO_0°	1050.6	40.6
BO_45°	1041.5	50.8

La Tabla 6.2 muestra los valores del módulo de elasticidad obtenidos para ambas orientaciones. Los promedios son cercanos entre sí (1050.6 MPa para BO_0° y 1041.5

MPa para BO_45°), y considerando la dispersión observada, las diferencias no representan un cambio significativo..

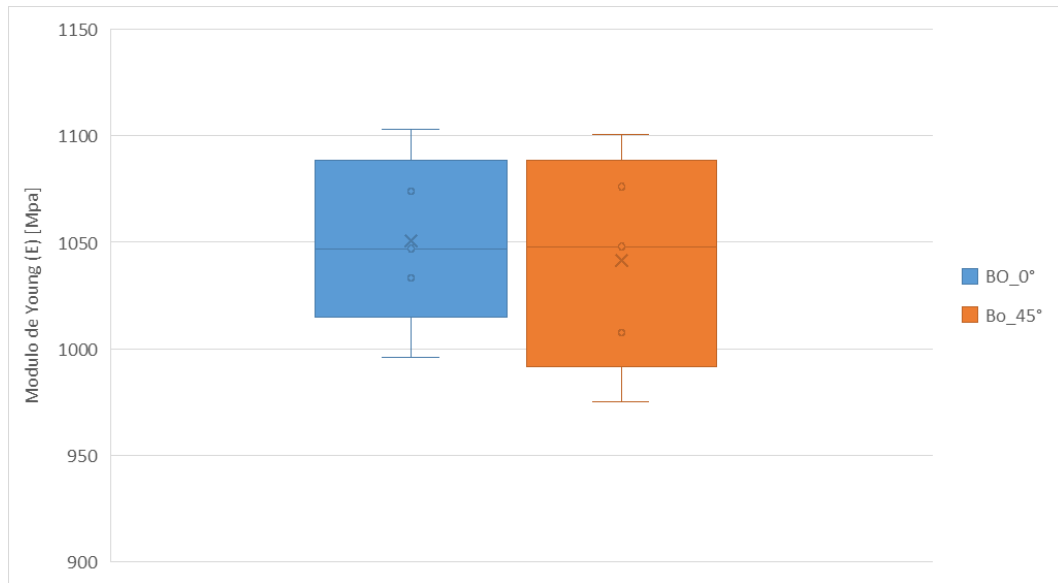


Figura 6.2: Distribución del módulo de elasticidad en función de la orientación de impresión.

En la Figura 6.2 se presentan los diagramas de caja y bigote para el módulo de elasticidad en ambas orientaciones. Se observa que los rangos de variación son similares y que los valores centrales de BO_0° y BO_45° se encuentran próximos entre sí, indicando un comportamiento comparable entre ambos grupos.

6.2. Porcentaje de Relleno

Resistencia a la Tracción

A partir de los resultados de los ensayos donde se varía el porcentaje de relleno, se obtuvo el resumen estadístico presentado en la tabla 6.3:

Tabla 6.3: Valores de resistencia a la tracción en función del porcentaje de relleno

Parámetro	Promedio Resistencia $\bar{x}$ [Mpa]	Desviación estándar
In_10	15.41	0.22
In_20	20.29	0.17
In_30	22.16	0.50
In_40	23.45	0.26
In_50	26.54	0.53
In_60	25.74	0.57
In_70	28.85	0.88
In_80	31.56	0.55
In_90	37.92	1.44
In_100	44.39	0.34

En la Tabla 6.3 se presentan los valores promedio de resistencia a la tracción obtenidos para cada porcentaje de relleno evaluado. Se observa un aumento progresivo de los valores medios conforme incrementa el porcentaje de relleno, mientras que las desviaciones estándar se mantienen en niveles acotados para la mayoría de los casos, excepto en los porcentajes más altos, donde la desviación estándar aumenta significativamente, indicando una variabilidad moderada entre las probetas de cada grupo.

Es con esta información que se genera el gráfico de la figura 6.3, donde se presentan los diagrama de caja y bigote correspondiente a este lote de ensayos.

En la Figura 6.3 se presentan los valores de resistencia a la tracción obtenidos para los distintos porcentajes de relleno evaluados. Se observa un incremento progresivo en los valores medidos a medida que aumenta el porcentaje de relleno, y una variabilidad acotada dentro de cada grupo, lo que permite visualizar con claridad la tendencia general de los datos.

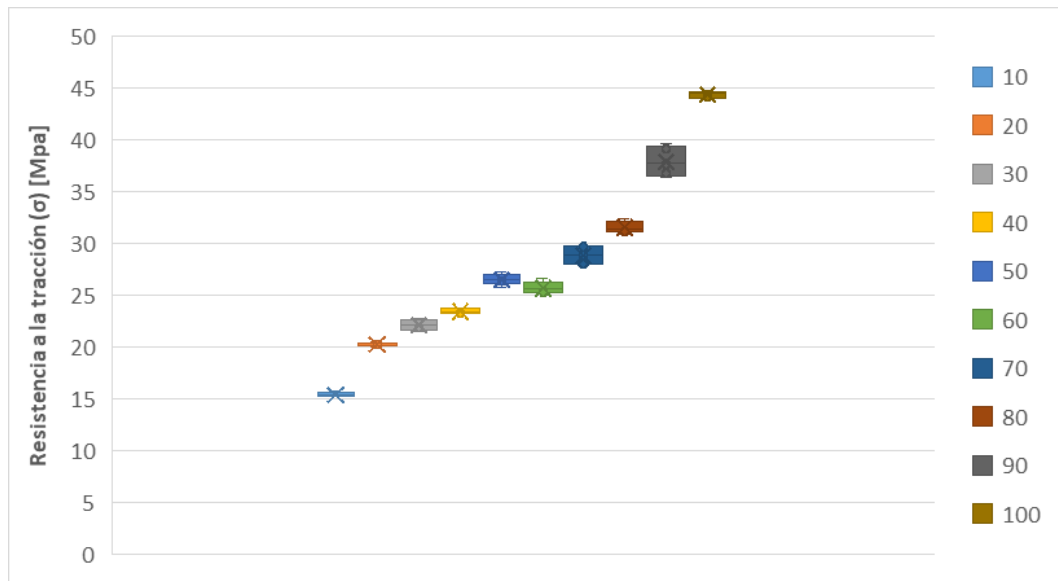


Figura 6.3: Distribución de la resistencia a la tracción en función del porcentaje de relleno.

Módulo de Elasticidad (Young)

A partir de los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad en función del porcentaje de relleno, se obtiene la tabla 6.4 la cual presenta los valores promedio de los módulos de elasticidad.

Tabla 6.4: Valores del módulo de elasticidad en función del porcentaje de relleno

Parámetro	Promedio Modulo de Young $\bar{x}$ [Mpa]	Desviación estándar
In_10	901.9	48.5
In_20	1122.5	82.9
In_30	1016.4	66.3
In_40	1078.2	106.8
In_50	1012.9	88.1
In_60	1177.9	77.0
In_70	1257.9	165.0
In_80	1366.2	134.6
In_90	1548.5	122.2
In_100	1705.3	44.9

De la tabla 6.4 se observa un incremento sostenido en los valores promedio del modulo de Young a medida que aumenta el porcentaje de relleno. Las desviaciones

estándar presentan variabilidad entre los grupos, siendo los grupos 70 %,80 % y 90 % los que presentan un valor mas elevado.

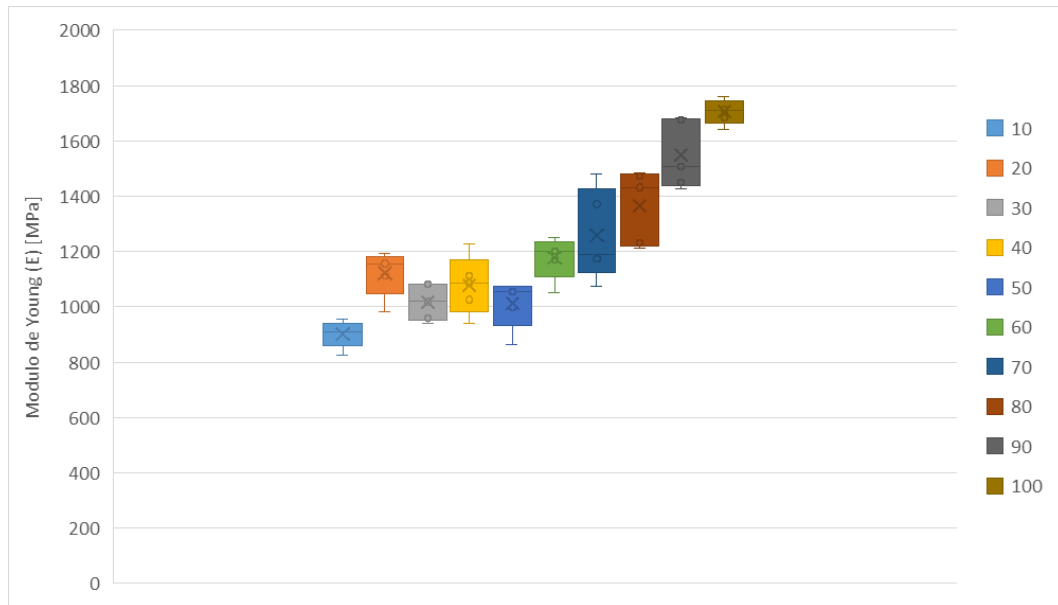


Figura 6.4: Distribución del módulo de elasticidad en función del porcentaje de relleno.

En la figura 6.4 se presentan los diagramas de caja y bigote correspondientes al modulo de young para los diferentes porcentajes de relleno. Al igual que lo representado en la tabla 6.4, se observa el incremento de los valores centrales a medida que aumenta el porcentaje de relleno. En esta figura es posible visualizar tanto la tendencia creciente del módulo de Young como la dispersión asociada a cada porcentaje de relleno..

6.3. Cantidad de Paredes

Resistencia a la Tracción

A partir de los resultados obtenidos, en los cuales se varía el parámetro de cantidad de paredes, se obtuvo el resumen estadístico presentado en la Tabla 6.5.

Tabla 6.5: Valores resistencia a la tracción en función de la cantidad de paredes

Parámetro	Promedio Resistencia $\bar{x}$ [Mpa]	Desviación estándar
Wa_2	22.49	0.32
Wa_3	24.44	0.85
Wa_4	26.35	0.78
Wa_5	29.02	0.62
Wa_6	30.70	0.63

En la Tabla 6.5 se presentan los valores promedio de resistencia a la tracción obtenidos para las distintas cantidades de paredes evaluadas. Se observa un incremento gradual en los valores medios desde Wa_2 hasta Wa_6, mientras que las desviaciones estándar se mantienen en rangos reducidos, evidenciando una alta repetibilidad de los ensayos.

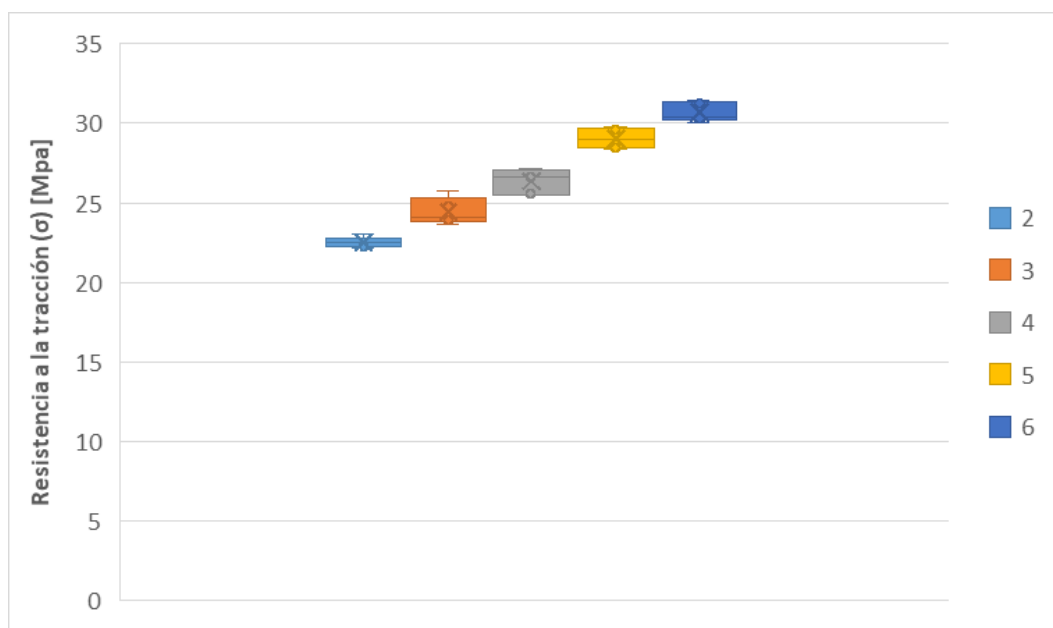


Figura 6.5: Distribución de la resistencia a la tracción en función de la cantidad de paredes.

En la Figura 6.5 se presentan los diagramas de caja y bigote para la resistencia a la tracción en función de la cantidad de paredes. Se aprecia un aumento progresivo en los valores centrales desde 2 hasta 6 paredes, junto con una distribución bastante acotada para cada uno de los grupos estudiados.

Módulo de Elasticidad (Young)

A partir de los resultados obtenidos, se obtuvo el resumen estadístico presentado en la tabla 6.6.

Tabla 6.6: Valores del módulo de elasticidad en función de la cantidad de paredes

Parámetro	Promedio Modulo de Young $\bar{x}$ [Mpa]	Desviación estándar
Wa_2	1024.8	93.9
Wa_3	1098.3	70.7
Wa_4	1149.0	82.3
Wa_5	1174.2	157.8
Wa_6	1164.6	107.4

La Tabla 6.6 muestra los valores del módulo de Young para cada cantidad de paredes. Se observa un incremento de los promedios desde 2 hasta 5, seguido de un leve descenso en 6 paredes. Las desviaciones estándar presentan variabilidad entre los grupos, con rangos bastante amplios.

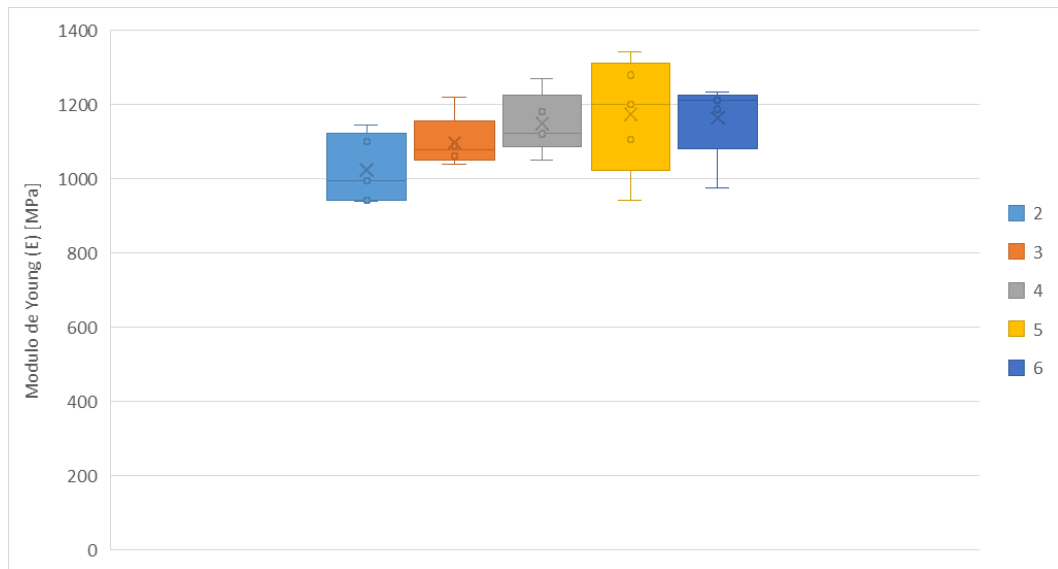


Figura 6.6: Distribución del módulo de elasticidad en función de la cantidad de paredes.

En la Figura 6.6 se presentan los diagramas de caja y bigote del módulo de Young para cada cantidad de paredes. Se observa un aumento de los valores centrales desde 2 a 5 paredes, seguido de una ligera disminución en el grupo con 6 paredes. La dispersión varía entre configuraciones, el grupo con mayor dispersión fue el grupo de 5 paredes.

6.4. Patrón de Relleno

Resistencia a la Tracción

Finalmente, se presenta el resumen estadístico de los resultados de la resistencia mecánica en función del tipo de relleno en la tabla 6.7.

Tabla 6.7: Valores resistencia a la tracción en función del patrón de relleno.

Parámetro	Promedio Resistencia $\bar{x}$ [Mpa]	Desviación estándar
InP_Gy	24.09	0.50
InP_Cu	23.04	0.27
InP_Qt	21.21	1.06
InP_Oc	21.87	0.42

En la Tabla 6.7 se presentan los valores promedio de resistencia a la tracción para los distintos patrones de relleno evaluados. Los resultados muestran diferencias pequeñas entre los patrones evaluados, los valores más altos corresponden al patrón InP_Gy seguido por los valores de InP_Cu, mientras que InP_Qt e InP_Oc exhiben promedios ligeramente menores.

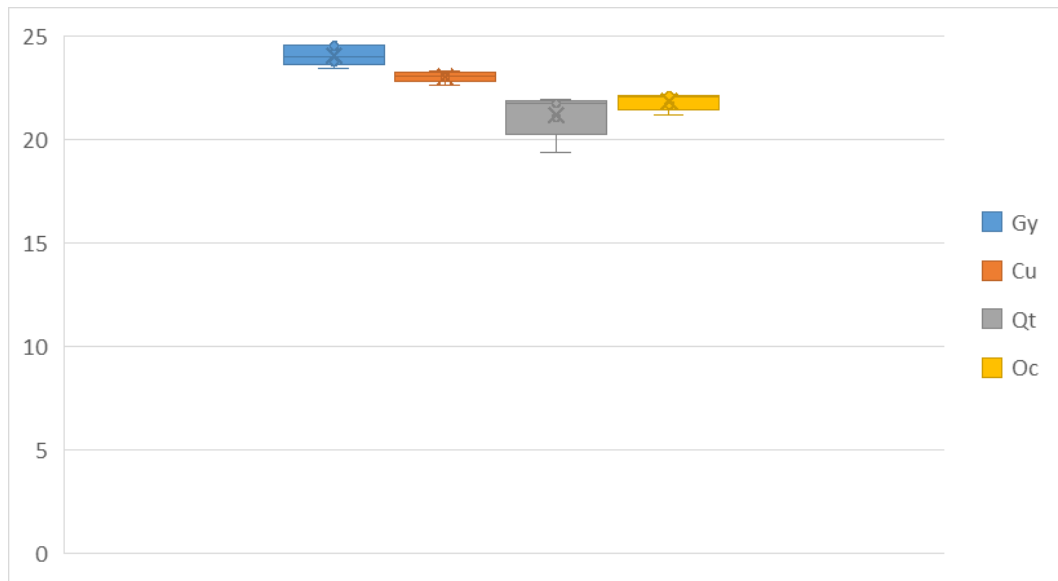


Figura 6.7: Distribución de la resistencia a la tracción en función del patrón de relleno.

En la Figura 6.7 se presentan los diagramas de caja y bigote correspondientes a la resistencia a la tracción para los distintos patrones de relleno. Se observa que los valores centrales de los patrones Gyroide(Gy) y Cubic(Cu) son ligeramente superiores, mientras que Quarter Cubic(Qt) y Octet(Oc) presentan promedios menores. La dispersión de los datos es reducida en todos los casos, salvo en el patrón Quarter Cubic (Qt).

Módulo de Elasticidad(Young)

A partir de los valores obtenidos para la medición del módulo de elasticidad, se obtiene el resumen estadístico presentado en la tabla 6.8.

Tabla 6.8: Valores del módulo de elasticidad en función del patrón de relleno.

Parámetro	Promedio Resistencia $\bar{x}$ [Mpa]	Desviación estándar
InP_Gy	1040.5	112.8
InP_Cu	1073.1	75.6
InP_Qt	1001.6	87.2
InP_Oc	1031.8	58.1

En la Tabla 6.8 se presentan los valores promedio del módulo de Young para los distintos patrones de relleno evaluados. Los resultados muestran variaciones moderadas

entre los patrones, con valores más altos en Cubic(Cu) y Gyroide(Gy), mientras que Quarter Cubic(Qt) presenta el promedio más bajo.

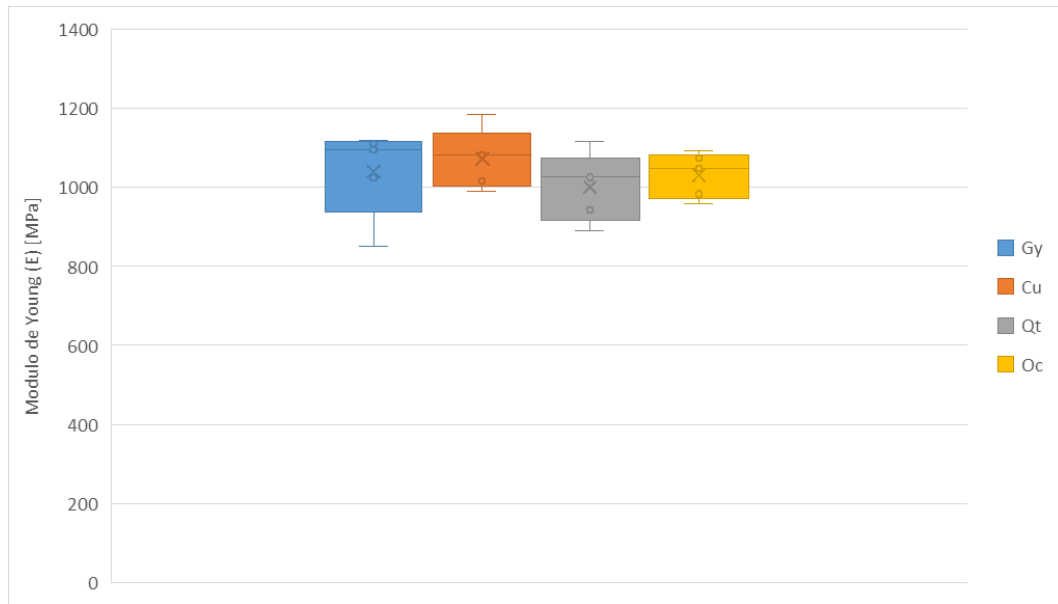


Figura 6.8: Distribución del módulo de elasticidad en función del patrón de relleno.

En la Figura 6.8 se presentan los diagramas de caja y bigote correspondientes al módulo de Young para los distintos patrones de relleno evaluados. Se observa una variación moderada entre los valores centrales. La dispersión es mayor en Gyroide(Gy), mientras que los otros patrones exhiben rangos más acotados.

Análisis y Discusión

En esta sección se desarrollará el análisis y la discusión respecto a los resultados obtenidos en los ensayos de tracción para evaluar la influencia de los distintos parámetros de impresión sobre las propiedades mecánicas del PLA. Discutiendo las variaciones observadas para la resistencia máxima y módulo de elasticidad (Young).

7.1. Orientación de Impresión

Resistencia a la Tracción

A partir de la interpretación de los valores obtenidos para la resistencia a la tracción de probetas con distinto ángulo de orientación, presentados en la figura 6.1, se observa que la dispersión de ambas configuraciones es reducida, lo que evidencia una buena repetibilidad en los ensayos.

Aunque la dispersión de la configuración BO_45° (45° respecto al eje X de la impresora) es ligeramente mayor, esta diferencia no afecta de manera significativa la interpretación de los resultados, ya que es menor al rango de dispersión de los datos. Al comparar los valores centrales o promedios de este lote de ensayo mediante la variación comparativa porcentual (Ecuación 5.2), se observa que la configuración de 45° presenta una mejora respecto a la configuración de 0° del 0.26 %, lo cual es bastante bajo. Lo cual sugiere que este parámetro no induce una variación significativa en la resistencia a la tracción de las probetas fabricadas en PLA.

Sin embargo, tal como se menciona en la tabla ??, estas probetas fueron fabricadas con un porcentaje de relleno del 30 %, por lo que las capas que realmente son afectadas por la orientación de la impresión representan solamente un 32 % del total de la probeta. Por lo tanto, se podría agregar que este parámetro no fue del todo aislado para su estudio. La decisión de añadir relleno a este parámetro radica en la necesidad de compararlo con los otros parámetros analizados en este estudio.

Módulo de Elasticidad (Young)

A partir de la interpretación de los valores obtenidos para el módulo de Young de las probetas con distinto ángulo de orientación, mostrados en la figura 6.2, es posible señalar que ambas configuraciones presentan distribuciones similares y bastante acotadas, lo que evidencia una variación interna baja entre las probetas. Si bien la configuración BO_45° muestra una dispersión ligeramente mayor, esta diferencia no representa una variación relevante para el análisis.

Al comparar los valores promedios mediante la variación comparativa porcentual (Ecuación 5.2), se observa una diferencia del 0.9 % entre ambas orientaciones, lo que indica que el cambio de 0° a 45° no induce una modificación significativa en el módulo de elasticidad del PLA bajo las condiciones utilizadas.

7.2. Porcentaje de Relleno

Resistencia a la Tracción

A partir de los valores obtenidos para la resistencia a la tracción en función del porcentaje de relleno, presentados en la figura 6.4 se observa una tendencia creciente claramente definida, donde cada incremento en el relleno genera un aumento directo en la resistencia a la tracción del PLA. La distribución de los datos para cada condición se mantiene acotada, mostrando buena repetitividad dentro de los ensayos y evitando dispersión excesiva que podría afectar la interpretación.

Al comparar los valores centrales (promedios), es evidente que los aumentos más pronunciados se producen a partir de porcentajes de relleno superiores al 70 %, donde la resistencia crece con una pendiente mayor, alcanzando su valor máximo en la configuración de 100 %. Es importante notar que el aumento en la resistencia a la tracción del PLA para los valores entre 40 % y 60 % es bastante menor en comparación a las otras secciones de la gráfica, presentando un valle dentro de la curva. Si bien las diferencias entre los porcentajes de relleno presentan incrementos graduales, estos resultan consistentes con el comportamiento esperado para materiales fabricados por FDM, tal como menciona Chacón [6], donde el aumento del volumen sólido interno mejora directamente la capacidad del material para resistir esfuerzos de tracción.

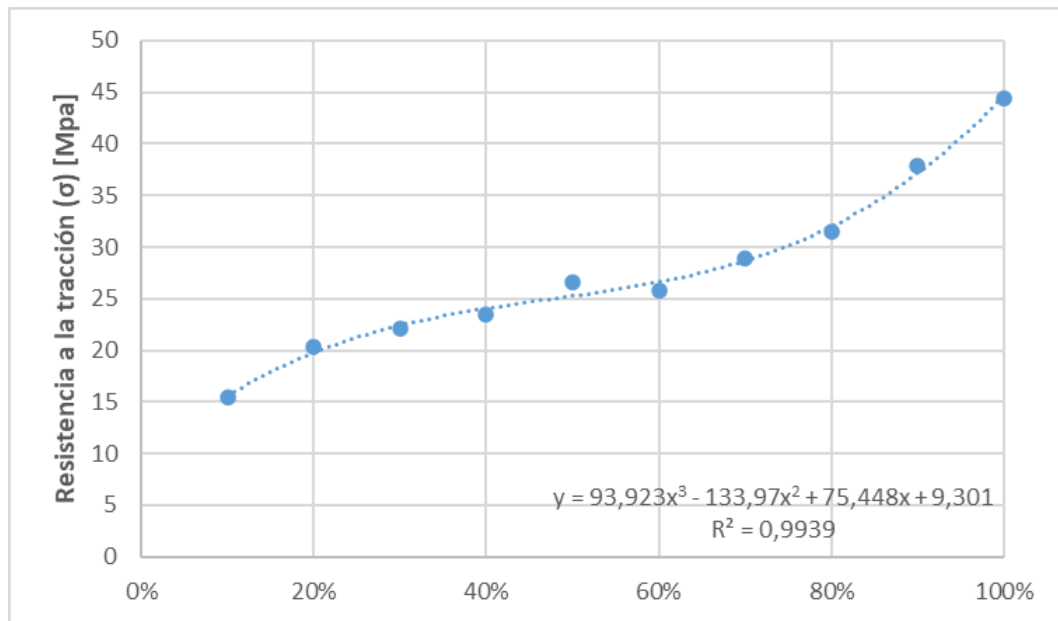


Figura 7.1: Gráfica de la resistencia a la tracción en función del porcentaje de relleno.

En la figura 7.1 se muestra el ajuste polinomial realizado a los valores promedio de resistencia mecánica en función del porcentaje de relleno. Esta curva puede considerarse un modelo adecuado para representar la tendencia general presente en los datos y, dada la magnitud del coeficiente de determinación obtenido ($R^2 = 0,9939$), puede considerarse como el modelo que mejor representa la sucesión de valores experimentales. Se observa, además, un tramo con pendiente reducida entre el 40 % y 60 % de relleno, donde las variaciones en los resultados son mínimas, generando una zona de valle. En conjunto, este ajuste confirma que, a medida que aumenta el volumen sólido interno, la resistencia a la tracción del PLA mejora de forma progresiva y cada vez más pronunciada, reafirmando que el porcentaje de relleno es uno de los parámetros con mayor incidencia dentro del estudio.

Por lo tanto, es posible afirmar que el porcentaje de relleno tiene una incidencia directa y significativa sobre la resistencia del PLA, siendo este uno de los parámetros con mayor impacto en la respuesta mecánica entre los estudiados.

Módulo de Elasticidad (Young)

A partir de los valores obtenidos para el módulo de Young en función del porcentaje de relleno, presentados en la figura 6.4 se observa una tendencia claramente creciente, donde cada incremento en el porcentaje de relleno genera un aumento en la rigidez del material. La distribución de los datos para cada condición se mantiene dentro de rangos acotados y con buena repetibilidad. Si bien algunos niveles intermedios presentan una dispersión ligeramente mayor, esto no modifica la tendencia general del comportamiento.

Al comparar los valores promedios, se evidencia que los aumentos más significativos se manifiestan a partir de rellenos superiores al 70 %, donde el módulo de elasticidad presenta incrementos más pronunciados, alcanzando su valor máximo en la configuración de 100 %. EL comportamiento es bastante similar al obtenido para la resistencia a la tracción, confirmando que las propiedades mecánicas de un polímero de PLA impreso en 3D mediante FDM efectivamente mejoran al aumentar el porcentaje de relleno, siendo este un factor determinante dentro de los otros parámetros estudiados.

7.3. Cantidad de Paredes

Resistencia a la Tracción

A partir de los resultados obtenidos y presentados en la figura 6.5, se aprecia que la resistencia a la tracción aumenta de manera consistente a medida que se incrementa la cantidad de paredes. La dispersión de los datos para los lotes de este parámetro es bastante baja, por lo que las diferencias observadas entre cada grupo pueden considerarse representativas. En conjunto, los datos indican que la cantidad de paredes influye directamente en la resistencia a la tracción del PLA.

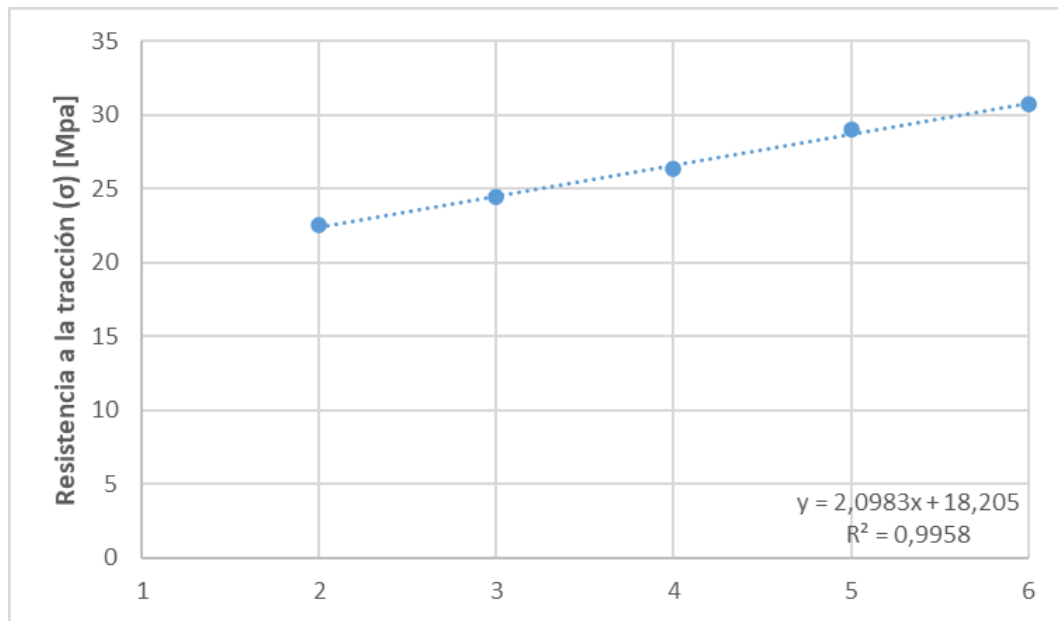


Figura 7.2: Gráfica de la resistencia a la tracción en función de la cantidad de paredes.

En la figura 7.2 se presenta la curva de tendencia ajustada a los valores promedio de resistencia a la tracción en función de la cantidad de paredes. El comportamiento observado es prácticamente lineal, con un coeficiente de determinación elevado ($R^2 = 0,9958$), lo que indica que el aumento en la resistencia se relaciona de manera directa y proporcional con el aumento de número de paredes. Este ajuste confirma que, dentro de los parámetros estudiados, cada incremento en el número de paredes incide de manera consistente para mejorar la resistencia a la tracción para las probetas impresas en PLA.

Módulo de Elasticidad (Young)

A partir de los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad en función de la cantidad de paredes, presentados en la figura 6.6, se observa que el incremento en el número de perímetros produce un aumento general en la rigidez del material, aunque con variaciones menos pronunciadas que las observadas en la resistencia a la tracción. Las dispersiones se mantienen relativamente bajas en la mayoría de las configuraciones. Considerando los promedios, la tendencia global indica que el aumento de paredes contribuye a mejorar el módulo de Young.

7.4. Patrones de Relleno

Resistencia a la Tracción

A partir de los resultados obtenidos para la resistencia mecánica en función del tipo de relleno, presentados en la figura 6.7 se observa que los distintos patrones presentan diferencias pequeñas entre sí, manteniéndose todos dentro de un rango bastante acotado. El patrón Gyroid muestra un valor central más alto, mientras que el relleno Quarter Cubic presenta un valor central más bajo que el resto del lote. Las otras configuraciones se ubican en un comportamiento intermedio, sin grandes variaciones entre ellas. En conjunto, estos resultados indican que la geometría interna influye de manera mínima en la capacidad resistente del PLA, donde claramente su efecto es menor en comparación con el de otros parámetros estudiados, como el porcentaje de relleno o la cantidad de paredes.

Módulo de Elasticidad (Young)

A partir de los resultados obtenidos para el módulo de elasticidad en función del tipo de relleno, presentados en la figura 6.8 se aprecia que las cuatro configuraciones evaluadas presentan valores bastante cercanos entre sí, sin grandes diferencias que indiquen un efecto relevante sobre la rigidez de las probetas impresas en PLA. El patrón Cubic muestra los valores promedio más altos, seguido de cerca por Gyroid y Octet, mientras que Quarter presenta los valores más bajos del grupo. Si bien existen pequeñas variaciones en la dispersión de cada condición, estas no modifican la tendencia general del comportamiento. En conjunto, los datos no confirman de manera certera la incidencia directa de los patrones de relleno en la rigidez de las probetas, ya que las diferencias entre promedios son de menor orden de magnitud que la dispersión.

A modo de complementar el análisis, es que, se consulta el artículo de Ultimaker Support Community [7] en donde se indica que los patrones Cubic, Quarter Cubic y Octet presentan mejores características para aplicaciones de ingeniería, lo cual en la práctica parece ser un poco contradictorio, ya que el patrón de relleno que posee mejor capacidad mecánica es el octet, ya que posee un mayor valor de resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad es igual que todos, por lo que este patron destaca por ser mejor en general que los otros.

7.5. Análisis Global de los resultados

7.5.1. Resistencia a la Tracción

A partir de los distintos ensayos realizados, se observa que la resistencia a la tracción del PLA presenta un aumento pronunciado en la resistencia a la tracción con algunos de los parámetros estudiados, mientras que en otros casos el efecto observado es mínimo.

Dentro de lo cual, es correcto concluir que los parámetros que tienen mayor incidencia en el comportamiento mecánico de las piezas de PLA impresas mediante FDM, son el porcentaje de relleno y la cantidad de paredes.

Donde los resultados para los ensayos realizados respecto a porcentaje de relleno muestran una clara tendencia creciente, donde el aumento del porcentaje de relleno implica un incremento directo en la resistencia a la tracción. La curva de ajuste analizada en la figura 7.1 muestra un coeficiente de relación elevado, lo que matemáticamente respalda la relación entre porcentaje de relleno y resistencia a la tracción, respondiendo a una curva polinómica, la cual presenta potencial para ser un objeto de estudio para calibrar un modelo que permita calcular con exactitud la resistencia a la tracción de piezas de PLA impresas en 3D mediante FDM.

Analizando los valores comparativamente, es posible agregar que el aumento del porcentaje de relleno desde un 10 % a un 100 % logra aumentar en un 118 % la resistencia mecánica de las probetas analizadas.

De manera similar, la cantidad de paredes muestra un efecto relevante en cuanto a su incidencia en la resistencia a la tracción, ya que al aumentar el número de paredes de 2 a 6, la resistencia a la tracción aumenta en un 36 %. Esto queda aun mas en evidencia al analizar la curva representada en la figura 7.2 donde se observa el comportamiento lineal de este parámetro con la resistencia a la tracción, con un coeficiente de relación bastante elevado, respaldando dicha relación directa.

En contraste, al evaluar el ángulo de orientación de la probeta respecto al plano de la cama de impresión, los resultados muestran una variación porcentual inferior al 1 % entre las configuraciones 0° y 45°, indicando que no es significativa la contribución que este parámetro realiza a la resistencia a la tracción. Es importante aclarar que este parámetro no queda del todo aislado para realizar un análisis mas profundo respecto a su incidencia en la resistencia a la tracción, debido a que las probetas consideradas contenían un 30 % de relleno.

Finalmente, para el parámetro de patrón de relleno se observan diferencias bastante moderadas en la resistencia a la tracción, destacando que el patrón que tendió levemente a tener valores mas elevados fue Gyroid y Quarter Cubic a valores menores. Sin embargo, todos los patrones se mantienen dentro de un rango relativamente acotado.

7.5.2. Módulo de Elasticidad (Young)

En cuanto al módulo de elasticidad, el comportamiento en general mantiene algunas tendencias que presentan los resultados de la resistencia a la tracción, aunque con algunas diferencias.

Para el porcentaje de relleno, se observa nuevamente una tendencia al alza del módulo de young a medida que aumenta el porcentaje de relleno, indicando una mayor rigidez del material a medida que se aumenta el porcentaje de relleno, logrando aumentar en un 89 % la rigidez entre una probeta con un 10 % de relleno y una con 100 % de relleno, mostrando un aumento no tan abrupto como lo es con respecto a la resistencia a la tracción.

En el caso de la cantidad de paredes, los resultados muestran un aumento del módulo de Young, en particular, se logra aumentar la rigidez en alrededor de un 14 % entre una probeta con 2 paredes y una con 6 paredes, demostrando que la cantidad de paredes tiene una mayor incidencia en la resistencia a la tracción que en el módulo de elasticidad, esto se evidencia aun más al analizar la figura 6.6, donde el la variación del promedio es menor al orden de magnitud de la distribución de los datos.

Para el ángulo de impresión, los resultados del módulo de elasticidad son muy similares a lo observado en la resistencia, en donde las diferencias entre una configuración con 0° y una con 45° son mínimas y menores al orden de magnitud de las distribuciones, lo cual indica que bajo las condiciones de este estudio, los cambios de orientación no inducen una variación apreciable para la rigidez global de las probetas, teniendo en cuenta que el relleno mantiene una presencia mas relevante dentro de la sección de probeta analizada en este ensayo.

Finalmente, para el patrón de relleno, los valores del módulo de elasticidad presentan promedios bastante cercanos y distribuciones cuyo orden de magnitud es mayor a la variación de los promedios, por lo que no es posible atribuir de forma estricta una incidencia clara del patrón de relleno sobre la rigidez de las probetas de PLA impresas en 3D.

7.5.3. Síntesis general

Como resumen, es correcto concluir que el porcentaje de relleno y la cantidad de paredes son los parámetros que influyen directamente en las propiedades mecánicas de las piezas impresas en 3D, siendo especialmente relevantes para la resistencia a la tracción, y un poco menos trascendentales en cuanto al módulo de elasticidad. Por lo que, el aumentar estas propiedades implica un aumento proporcional de la resistencia a la tracción, en distinta medida para cada parámetro. En cambio, el ángulo de orientación y el tipo de relleno presentan efectos no significativos en lo que respecta a las propiedades mecánicas de las piezas impresas en 3D.

Al comparar el porcentaje de relleno y la cantidad de paredes, en cuanto a la resistencia a la tracción, como se aprecia en las figuras 6.4, 6.5 y los valores de la tabla 5.3, es posible concluir que aumentar el número de paredes de 2 a 6 es equivalente a aumentar el porcentaje de relleno del 30 % al 80 %, obteniendo como gran beneficio la reducción del tiempo de impresión en aproximadamente un 22 % y, además, una reducción en el material utilizado cercana al 26 %. Sin embargo, al analizar el módulo de young para este caso, se tiene que aumentar el número de paredes, no aumenta la rigidez con la misma razón que lo hace el porcentaje de relleno, por lo que una pieza impresa con un 80 % de relleno tiene una rigidez un 15 % mayor que una pieza impresa con 6 paredes.

Lineamientos de configuración de impresión

A partir de lo analizado en el capítulo 7, es posible mejorar las propiedades mecánicas de las piezas impresas en 3D mediante la variación de los parámetros de impresión. Si el objetivo es obtener los valores más altos de rigidez y resistencia a la tracción en base a lo ensayado durante este estudio, los resultados muestran que un mayor porcentaje de relleno y una mayor cantidad de paredes incrementan los valores de resistencia y rigidez. Por lo que se recomendaría utilizar un 100 % de relleno y una cantidad de paredes de 6 para lograr mayores valores de resistencia a la tracción y de rigidez, aunque valores cercanos al 100 % generan mayores resistencias, el análisis muestra que no representan una relación eficiente entre tiempo de impresión y mejora mecánica.

“Sin embargo, si el objetivo es maximizar la rigidez y la resistencia a la tracción sin aumentar considerablemente el tiempo de impresión y la cantidad de material, es muy conveniente aumentar la cantidad de paredes en vez de aumentar el porcentaje de relleno, el cual tiene una mayor incidencia en el tiempo de impresión que la cantidad de paredes. Es por ello que a partir de lo rescatado en el capítulo 7, se puede deducir un rango ideal entre aumento de las propiedades mecánicas del PLA y el tiempo.

En base a los resultados obtenidos durante este ensayo y los parámetros estudiados es que se puede llegar a la recomendación de los siguientes valores para los parámetros:

- Ángulo de impresión: Cualquier valor
- Porcentaje de Relleno: 60 % a 80 %
- Cantidad de Paredes: 4 a 6
- Patrón de Relleno: Cubic

Como se menciona en el capítulo 7, el ángulo de impresión no representa un valor que incida de manera significativa en las propiedades mecánicas ni tampoco en el tiempo de impresión, por lo que cualquier valor puede ser seleccionado para este parámetro.

En cuanto al porcentaje de relleno, se observa que entre el 60 % y el 80 % aparece una

zona de la curva que comienza a presentar una pendiente más pronunciada, acercándose a los valores máximos de propiedades mecánicas. Si se aumenta el porcentaje de relleno por sobre el 80 %, los tiempos de impresión incrementan de forma considerable en relación con el beneficio obtenido en las propiedades mecánicas. Por ello, este rango se define como el punto ideal en la relación entre tiempo y propiedades mecánicas.

Para la cantidad de paredes, tal como se analizó, se sabe que el comportamiento es bastante lineal y proporcional en función de la resistencia a la tracción. Sin embargo, los tiempos de impresión para este parámetro son bastante cercanos entre sí, lo que implica que aumentar este valor para mejorar la resistencia no significa un incremento excesivo en el tiempo de fabricación. Por este motivo se considera que el rango superior de los valores de este ensayo, entre 4 y 6 paredes, constituye el intervalo ideal para mejorar las propiedades mecánicas. En adición, se tiene que en base a lo observado en las probetas fabricadas, una mayor cantidad de paredes es más visible a simple vista, afectando la calidad visual de las piezas, lo cual puede ser un criterio a considerar en ciertas aplicaciones.

En cuanto al patrón de relleno, el que demostró un mejor desempeño en las propiedades mecánicas fue el Gyroid, sin embargo, es también el que presenta un tiempo de fabricación mayor en comparación con el resto. Dado que los valores de las propiedades mecánicas para los distintos patrones estudiados son muy cercanos entre sí, se privilegia el patrón Cubic, que si bien posee una menor resistencia mecánica, requiere un menor tiempo de impresión que el patrón Gyroid, tal como se aprecia en los valores de la tabla 5.3.

Conclusiones

Este estudio permitió analizar de forma empírica el comportamiento y la influencia de distintos parámetros de impresión en la resistencia mecánica de las piezas fabricadas mediante tecnología FDM, comprendiendo los principios de funcionamiento de diversas tecnologías de manufactura aditiva, revisando estudios previos sobre las propiedades mecánicas en piezas impresas por FDM e identificando los principales parámetros que definen una impresión 3D, comprobando cuáles de estos influyen directamente en las propiedades mecánicas de las piezas.

Se identificó, mediante los estudios previos, que las piezas impresas con tecnología FDM son anisotrópicas, determinadas por los parámetros de impresión y la orientación de las capas depositadas durante la impresión. Además, fue posible reconocer cómo fueron desarrollados dichos estudios, rescatando los parámetros relevantes considerados por los autores y, a partir de ello, identificar los parámetros que no habían sido estudiados para incorporarlos en el análisis del presente trabajo.

Los resultados de este estudio confirman que los parámetros evaluados tienen incidencia en la resistencia a la tracción del PLA, donde el patrón de relleno y el ángulo de impresión presentan una influencia menor en comparación con el porcentaje de relleno y la cantidad de paredes.

El ángulo de impresión mostró un comportamiento prácticamente idéntico en las dos configuraciones estudiadas, con una variación de apenas un 0,26 % en la resistencia mecánica, diferencia que es menor al orden de magnitud de la dispersión de los datos, indicando que la diferencia no es significativa en relación con la dispersión observada. En particular, el patrón de relleno mostró un comportamiento estable entre las distintas configuraciones, sin inducir diferencias notables en el aumento de la resistencia mecánica. Se destaca el patrón Gyroid, que presenta el valor más alto dentro del grupo de ensayo, aunque dicha diferencia no mantiene un orden de magnitud comparable al de los otros parámetros estudiados.

En cuanto al porcentaje de relleno, los resultados muestran una clara tendencia al alza en la resistencia a la tracción del PLA a medida que este valor aumenta, generando una mejora sustantiva en el desempeño mecánico del material. Esto se ve respaldado por el modelo matemático, en el cual los resultados se ajustan a una curva polinómica con

tendencia creciente.

En conjunto con el porcentaje de relleno, el número de paredes también presenta una relación directa y proporcional con la resistencia a la tracción. De acuerdo con el ajuste matemático de los resultados, este parámetro exhibe un comportamiento lineal, lo que lo vuelve predecible y adecuado para ser considerado en análisis más detallados.

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos, fue posible identificar un rango de valores para estos parámetros que permite mejorar la resistencia mecánica de las piezas impresas en 3D sin incrementar de manera significativa el tiempo de impresión, aportando a una configuración mas eficiente del proceso de fabricación. Cabe mencionar que estos lineamientos tienen relación exclusiva con las condiciones de este estudio y pueden no replicarse de igual manera en otros escenarios, por lo que se recomienda tomarlos como una guía basada en tendencias y valores esperados, mas no como una predicción absoluta.

Bibliografía

- [1] Iso / astm 52900:2021 – additive manufacturing – general principles – fundamentals and vocabulary, 2021. Available at: <https://www.iso.org/standard/79254.html>.
- [2] Kenny L Alvarez, Rodrigo F Lagos, and Miguel Aizpun. Influencia del porcentaje de relleno en la resistencia mecánica en impresión 3d, por medio del método de modelado por deposición fundida (fdm). Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 24(ESPECIAL):17–24, 2016.
- [3] ANSYS, Inc. ANSYS Mechanical, 2024. Versión utilizada en este proyecto.
- [4] Autodesk Inc. Autodesk inventor 2025 [software de modelado cad]. Available at: <https://www.autodesk.com/products/inventor>, 2025.
- [5] Praveena B.A, Lokesh N, Abdulrajak Buradi, Santhosh N, Praveena B L, and Vignesh R. A comprehensive review of emerging additive manufacturing (3d printing technology): Methods, materials, applications, challenges, trends and future potential. Materials Today: Proceedings, 52:1309–1313, 2022. International Conference on Smart and Sustainable Developments in Materials, Manufacturing and Energy Engineering.
- [6] Jesus Miguel Chacón, Miguel Angel Caminero, Eustaquio García-Plaza, and Pedro J Núñez. Additive manufacturing of pla structures using fused deposition modelling: Effect of process parameters on mechanical properties and their optimal selection. Materials & Design, 124:143–157, 2017.
- [7] Ultimaker Support Community. Infill settings. <https://support.ultimaker.com/s/article/1667411002588>, 2024. Recuperado de Ultimaker Support.
- [8] Pradip Das, A. K. Chandran, Sanjoy Samanta, Arindam Khutia, and Suman Banerjee. A review of emerging additive manufacturing techniques and their applications. Materials Today: Proceedings, 45:5426–5434, 2021.

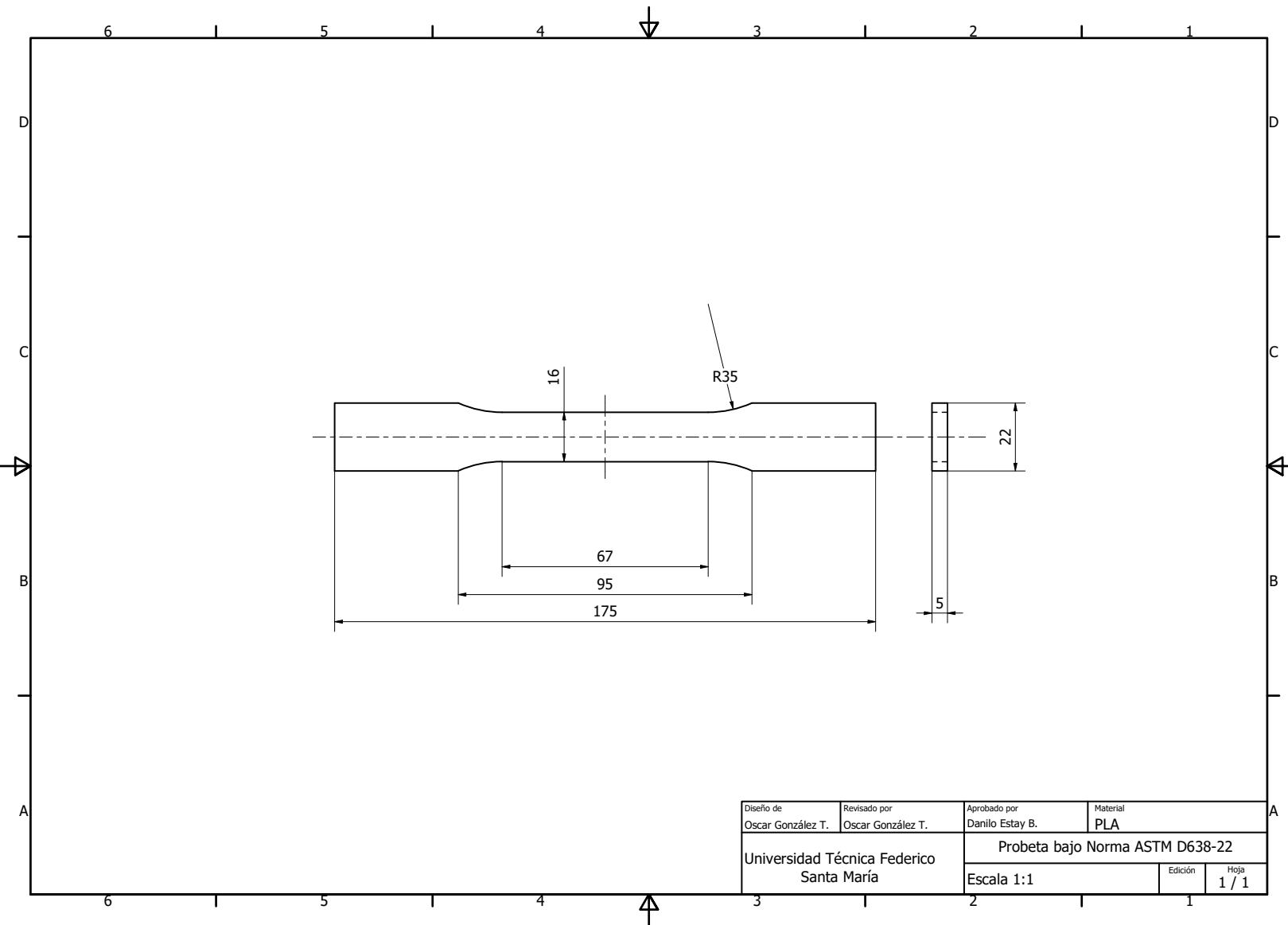
- [9] Joe Hiemenz and I Stratasys. La impresión 3d con fdm:¿ cómo funciona? Pixel Sistemas. Recuperado de [https://caminstech.upc.edu/sites/default/files/FDM I-Tecnologia. pdf](https://caminstech.upc.edu/sites/default/files/FDM-I-Tecnologia.pdf), 2014.
- [10] ASTM International. Astm d638-22: Standard test method for tensile properties of plastics. Technical report, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022. DOI: 10.1520/D0638-22.
- [11] László Lendvai, Imre Fekete, Sándor Kálmán Jakab, Györgyi Éva Szarka, Klára Verebélyi, and Béla Iván. Influence of environmental humidity during filament storage on the structural and mechanical properties of material extrusion 3d-printed poly(lactic acid) parts. *Results in Engineering*, 24:103013, 2024.
- [12] Meiyu Li, Yanan Xu, and Jianguang Fang. Orthotropic mechanical properties of pla materials fabricated by fused deposition modeling. *Thin-Walled Structures*, 199:111800, 2024.
- [13] Thwing-Albert Instrument Company, West Berlin, New Jersey, USA. TAS 622 Series Operator's Manual, n.d. Manual técnico del sistema de medición de fuerza TAS 622.
- [14] Ultimaker B.V. Ultimaker cura [software de impresión 3d, versión 5.6]. Available at: <https://ultimaker.com/software/ultimaker-cura>, 2023.
- [15] Zureks. Fdm by zureks. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:FDM_by_Zureks.png, 2020.
- [16] ZwickRoell GmbH & Co. KG. testXpert II: Testing Software, 2010. Software utilizado en la máquina de ensayos ZwickRoell Z100.

Anexos

Anexo A: Especificaciones técnicas Ender 3v3-KE

Printing Technology	FDM	File Transfer	USB Drive, LAN, Creality Cloud APP
Build Volume	220*220*240mm	Extruder	Upgraded "Sprite" direct drive extrusion
Product Dimensions	433*366*490mm	Leveling Mode	Hands-free auto leveling
Package Dimensions	502*409*280mm	Display Screen	4.3" color touch screen
Net Weight	7.8kg	Mainboard	32-bit silent mainboard
Gross Weight	9.9kg	Printable File Format	G-code
Typical Printing Speed	300mm/s	Power Loss Recovery	Yes
Max. Printing Speed	500mm/s (Test with Hyper PLA)	Filament Runout Sensor	Yes
Max. Acceleration	8000mm/s ²	Vibration Compensation Sensor	Optional
Printing Accuracy	±0.1mm	Creality AI Camera	Optional
Layer Height	0.1-0.35mm	Rated Voltage	350W
Filament Diameter	1.75mm	Rated Power	100-120V~, 200-240V~, 50/60Hz
Nozzle Diameter	0.4mm (default)	Slicing Software	Creality Print, Cura, Simplify3D
Nozzle Temperature	≤300°C	Formats for Slicing	STL, OBJ, 3MF, AMF
Heatbed Temperature	≤100°C	Supported Filaments	PLA, PETG, ABS, TPU(95A), ASA
Build Surface	PEI flexible build plate		
UI Languages	English, Español, Deutsche, Français, Русский, Português, Italiano, Türk, 日本語, 中文		

Anexo B: Plano ASTM D638



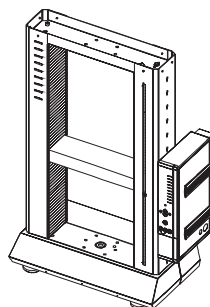
Anexo C: Especificaciones técnicas máquina de ensayos Zwick-Roell Z100

Zwick / Roell

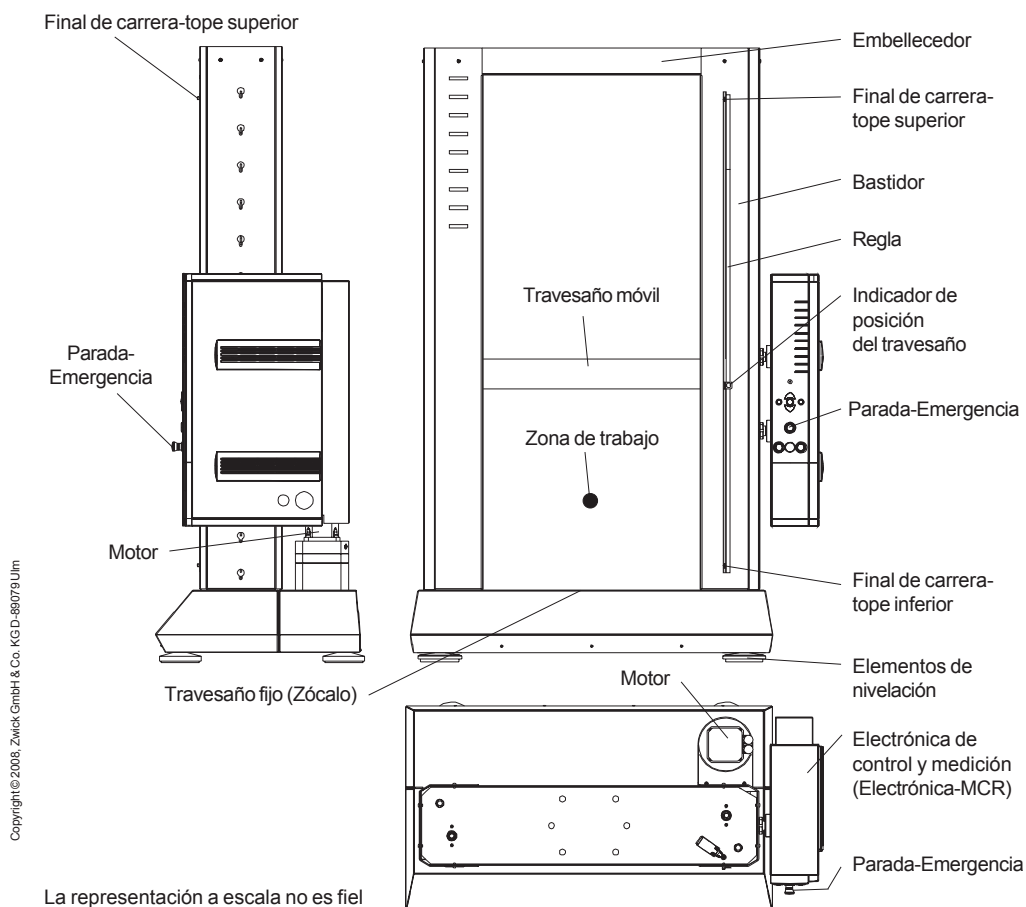
Datos técnicos
Máquina de ensayos

2
13

**Máquina de
ensayos 100 kN**



Resumen



Copyright © 2008, Zwick GmbH & Co. KG D-89079 Ulm

Anexo C: Especificaciones técnicas máquina de ensayos Zwick-Roell Z100

Zwick / Roell

Datos técnicos

Máquina de ensayos

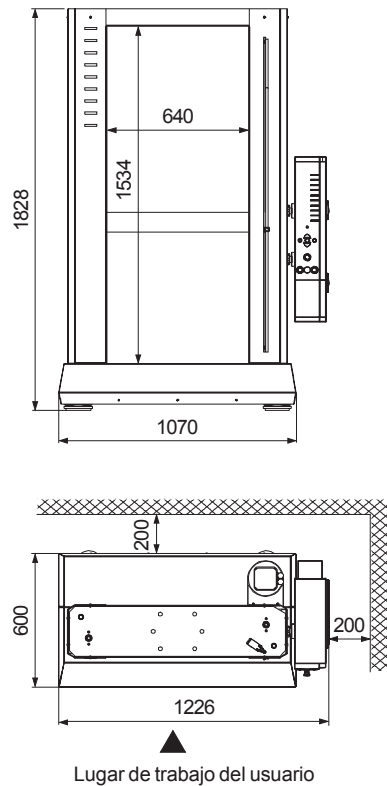
2

13

Datos técnicos

Este apartado contiene la descripción de la máquina de ensayo de materiales con todos los accesorios. Aquí figuran todos los datos técnicos. Está definida la utilización de la máquina de ensayos y de todos los accesorios conforme a la reglamentación. También encontrará información de como no se debe utilizar la máquina de ensayos.

¿Precisa los datos de conexión o los medios de trabajo requeridos? Aquí encontrará todos los datos requeridos acerca de la máquina de ensayos.



La representación a escala no es fiel

Datos técnicos

Tipo	Máquina de ensayos 100 kN
Bastidor	
Fuerza a tracción / compresión	100 kN
Altura total	1.800 mm
Ancho total	1 070 mm
con electrónica	1.226 mm
Fondo total	600mm
Peso:	
con unidad electrónica	530 kg
con accesorios típicos aprox.	680 kg
Superficie de instalación:	
superficie pura de apoyo	6 420 cm²
Superficie de apoyo	380 cm²
Carga específica del suelo:	
referido a los accesorios típicos	1,79 kg/cm²
con 50% seguridad	2,68 kg/cm²
Carga específica del techo:	
referido a los accesorios típicos	0,11 kg/cm²
con 50% seguridad	0,16 kg/cm²
Altura zona de ensayos	
sin accesorios	1.534 mm
Ancho zona de trabajo	640 mm
Temperatura ambiente	+ 10 hasta + 35 °C
Humedad	20 hasta 90 %
Nivel de ruido	71 dB(A)

Copyright © 2008, Zwick GmbH & Co. KG D-89079 Ulm

Anexo C: Especificaciones técnicas máquina de ensayos Zwick-Roell Z100



Datos técnicos
Máquina de ensayos

2
13

Accionamiento

Velocidad del travesaño	0,0005 hasta 300 mm/min
Precisión de la velocidad establecida	0,037% de V_{nom}
Resolución del recorrido	0,0081 μm
Repetibilidad del posicionado	< 2 μm (sin cambio de sentido)
Frecuencia máxima de ensayo	0.5 Hz

Electrónica de medición y control

Frecuencia de adquisición de datos de medida, en sistema	500 Hz
Frecuencia de transmisión de datos al PC	de 10 hasta 100 Hz, ajustable
Número de ranuras modulares	2
Corrección de la deriva del cero de la cadena de medición, sin sensor	automáticamente al inicio de la medición
Corrección del tiempo para las señales de medida	sí
Puerto de salida	RS 232
Puerto PC requerido	COM 1
Tipo protección, caja	IP 32

Indicaciones acerca de la electrónica

- Las bocas de ventilación de la electrónica no deben taparse en ningún caso, incluso las que se encuentran en la parte inferior. Se precisa guardar una distancia libre de como mínimo 100 mm.
- Para mediciones exactas debe encontrarse la electrónica testControl a una temperatura constante. Para ello debe conectar la máquina de ensayos una hora antes de iniciar los ensayos, especialmente para ensayos de larga duración.

Medición de fuerza

La electrónica de medición para la medida de fuerza cumple con la ISO 7500/1.

Captador de fuerza Tipo I

Clase 1	en el rango de 0,4 hasta 100 % de F_{nom} .
Clase 0,5	en el rango de 2 hasta 100 % de F_{nom} .

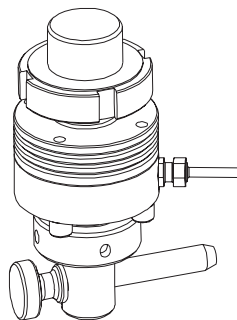
Captador de fuerza Tipo II

Clase 1	en $F_{nom} \geq 500$ N en rango de 0,2 hasta 100 %, en $F_{nom} \leq 200$ N en rango de 0,4 hasta 100 %,
Clase 0,5	en el rango de 1 hasta 100 %.

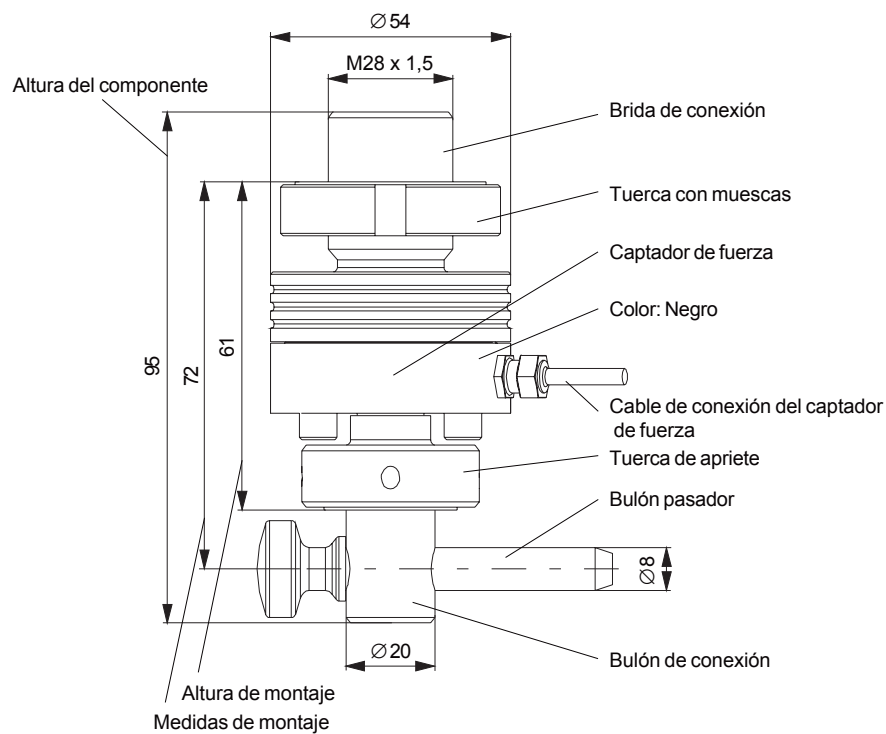
Los valores en porcentaje se refieren a la fuerza nominal (F_{nom}) del captador de fuerza conectado.

Anexo D: Captador de Fuerza de 5kN

Captador de fuerza 5 kN



Resumen



Copyright © 2009, Zwick GmbH & Co. KG D-89079 Ulm

Todas las medidas en mm.
La representación a escala no es fiel

El captador de fuerza convierte la magnitud física fuerza en una tensión eléctrica que se puede medir.

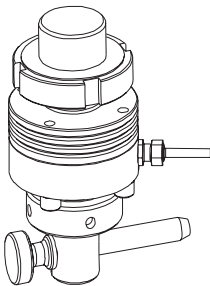
Anexo D: Captador de Fuerza de 5kN



Datos técnicos
Captador de fuerza 5 kN

2
13

Datos técnicos



Modelo	Captador de fuerza
Fuerza nominal F_{nom}	5 kN
Máxima fuerza de utilización F_G	150 % de F_{nom}
Fuerza límite F_L	150 % de F_{nom}
Fuerza de rotura F_B	>300 % de F_{nom}
Fuerza estática transversal límite F_Q	100 % de F_{nom}
Influencia de la excentricidad	0,25 % por mm
Influencia del momento de giro	0,2 % por mm
Torsión máxima (sin carga)*	17 Nm
Flexión máxima (sin carga)*	50 Nm
Par de apriete de tornillos de sujeción M_A Brida, 4 x DIN 912 M5x20	14 Nm
Recorrido nominal de medida	0,06 mm
Máxima influencia de la temperatura sobre la señal de cero TK_0	$\pm 0,01$ % $F_N/10K$
Máxima influencia de la temperatura sobre el valor característico TK_0	$\pm 0,01$ % $F_N/10K$
Rango de medición - Valor inicial: Clase 1 0,4 % del valor nominal	20 N
Clase 0,5 2,0 % del valor nominal	100 N
Rango de temperatura de utilización	+ 10 °C hasta + 60 °C
Temperatura de almacenamiento	- 30 °C hasta + 60 °C
Clase de protección	IP54
Modelo construcción	XForce P
Dimensiones: Alto: Altura del componente	95 mm
Medidas de montaje, aprox.	72 mm
Altura de montaje, aprox.	61 mm
Diámetro	$\varnothing$ 54 mm
Conexión: Bulón de conexión	$\varnothing$ 20 mm
Brida de conexión	M28 x 1,5
Peso, aprox.	0,65 kg

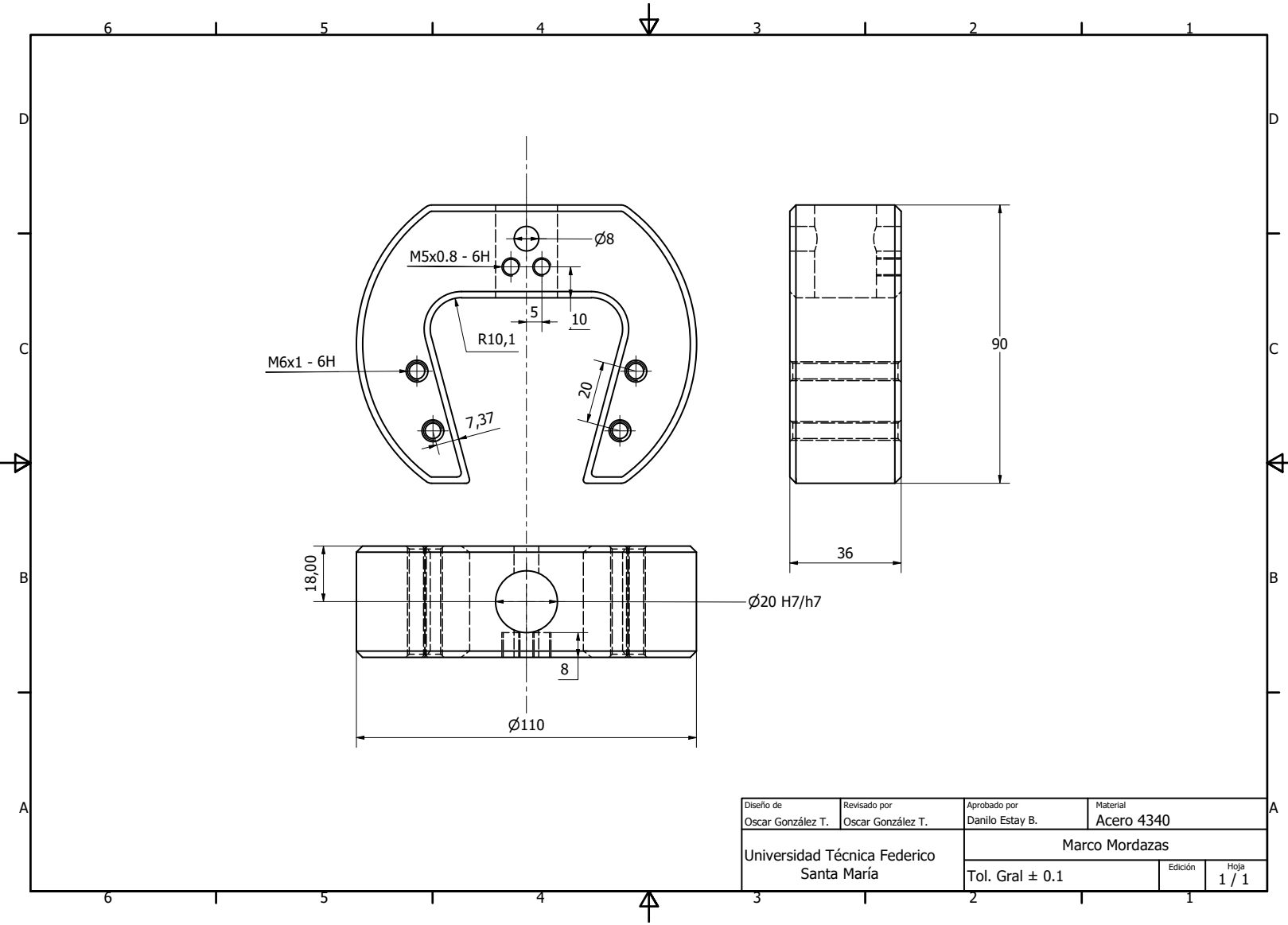
* Estos valores se deben dividir por dos en fuerza nominal.

Copyright © 2009, Zwick GmbH & Co. KG D-86073 Ulm

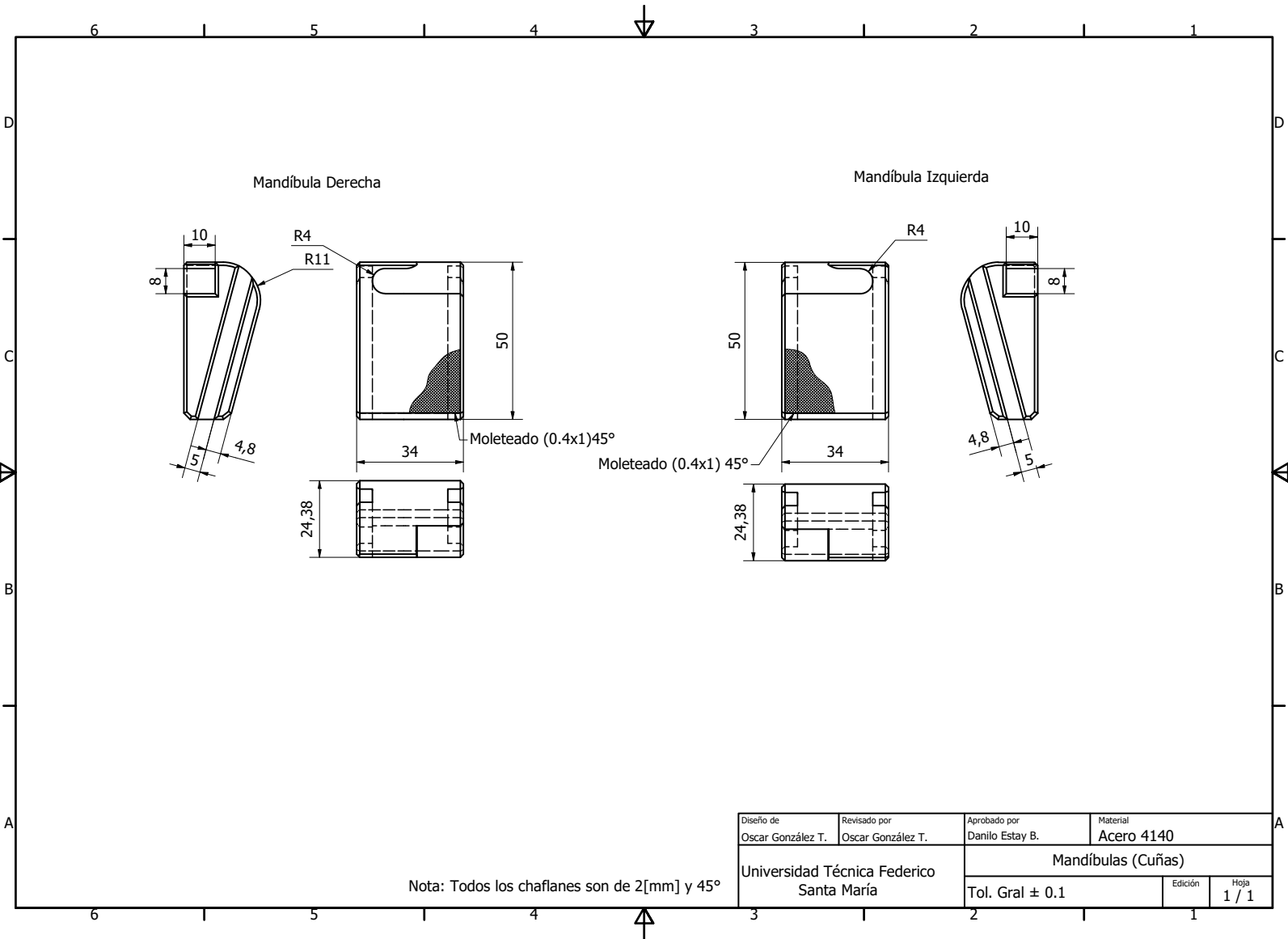
Anexo E: Resultados e indicadores ensayos de Tracción

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
		Bo_0°	Bo_45°	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	Wa_2	Wa_3	Wa_4	Wa_5	Wa_6	InP_Gy	InP_Cu	InP_Qt	InP_Qc
		σ[Mpa]																				
Probeta 1		18,80	19,80	15,36	20,35	22,13	23,22	26,41	25,74	29,73	32,37	36,74	44,17	22,19	23,68	25,56	28,95	31,46	23,47	23,14	19,41	21,70
Probeta 2		19,03	18,22	15,29	20,39	21,91	23,24	26,80	25,24	27,98	31,18	37,72	44,74	23,03	24,76	25,46	29,73	30,31	23,77	23,02	21,08	22,17
Probeta 3		18,57	18,43	15,21	20,01	21,48	23,62	26,47	25,35	27,95	31,82	36,36	44,51	22,47	23,92	27,13	28,47	31,28	24,61	22,61	21,84	22,16
Probeta 4		18,60	19,14	15,77	20,45	22,75	23,35	27,22	25,68	28,88	31,38	39,13	44,60	22,29	25,79	26,95	29,57	30,04	24,05	23,07	21,96	22,11
Probeta 5		19,33	18,50	15,40	20,22	22,51	23,82	25,79	26,69	29,72	31,03	39,65	43,91	22,49	24,04	26,64	28,37	30,39	24,56	23,34	21,77	21,21
Resistencia a la Tracción (σ)	X	18,87	18,82	15,41	20,29	22,16	23,45	26,54	25,74	28,85	31,56	37,92	44,39	22,49	24,44	26,35	29,02	30,70	24,09	23,04	21,21	21,87
	s	0,32	0,65	0,22	0,17	0,50	0,26	0,53	0,57	0,88	0,55	1,44	0,34	0,32	0,85	0,78	0,62	0,63	0,50	0,27	1,06	0,42
Comparación Mejora porcentual	%	0,26%			32%	44%	52%	72%	67%	87%	105%	146%	188%		9%	17%	29%	36%				
Tiempo de Impresión	t	100	101	96	120	105	116	126	132	143	152	161	176	105	111	111	117	119	140	118	108	105
Cantidad de Filamento	m	61	61	49	55	61	68	74	81	87	94	100	106	61	64	66	68	70	62	61	61	61
		E[Mpa]																				
Probeta 1		1102,96	975,00	898,12	983,29	1080,49	940,31	1070,45	1199,25	1371,33	1230,65	1675,33	1711,95	940,92	1077,73	1121,37	1280,17	1234,69	1112,09	1185,71	943,72	1075,00
Probeta 2		1033,18	1100,74	956,37	1113,35	1083,14	1026,20	998,60	1169,23	1073,73	1210,32	1507,94	1683,51	1145,18	1089,64	1049,90	1343,39	1214,33	1095,50	991,07	1117,22	984,20
Probeta 3		996,01	1007,70	909,10	1156,15	1018,81	1229,00	1075,04	1250,51	1189,55	1431,94	1681,65	1642,49	1101,63	1062,53	1181,36	1200,66	1210,98	850,05	1017,11	1030,14	1048,74
Probeta 4		1047,07	1076,24	921,46	1166,78	940,48	1084,20	865,01	1050,83	1481,92	1484,71	1427,92	1761,03	995,14	1220,60	1122,08	941,07	974,78	1025,51	1082,22	890,92	958,37
Probeta 5		1074,01	1048,05	824,46	1192,79	959,32	1111,23	1055,41	1219,70	1173,08	1473,29	1449,65	1727,28	941,32	1040,98	1270,36	1105,91	1188,34	1119,42	1089,26	1026,15	1092,69
Modulo de Young (E)	X	1050,6	1041,5	901,9	1122,5	1016,4	1078,2	1012,9	1177,9	1257,9	1366,2	1548,5	1705,3	1024,8	1098,3	1149,0	1174,2	1164,6	1040,5	1073,1	1001,6	1031,8
	s	40,6	50,8	48,5	82,9	66,3	106,8	88,1	77,0	165,0	134,6	122,2	44,9	93,9	70,7	82,3	157,8	107,4	112,8	75,6	87,2	58,1
Comparación Mejora porcentual	%		1%		24%	13%	20%	12%	31%	39%	51%	72%	89%		7%	12%	15%	14%				

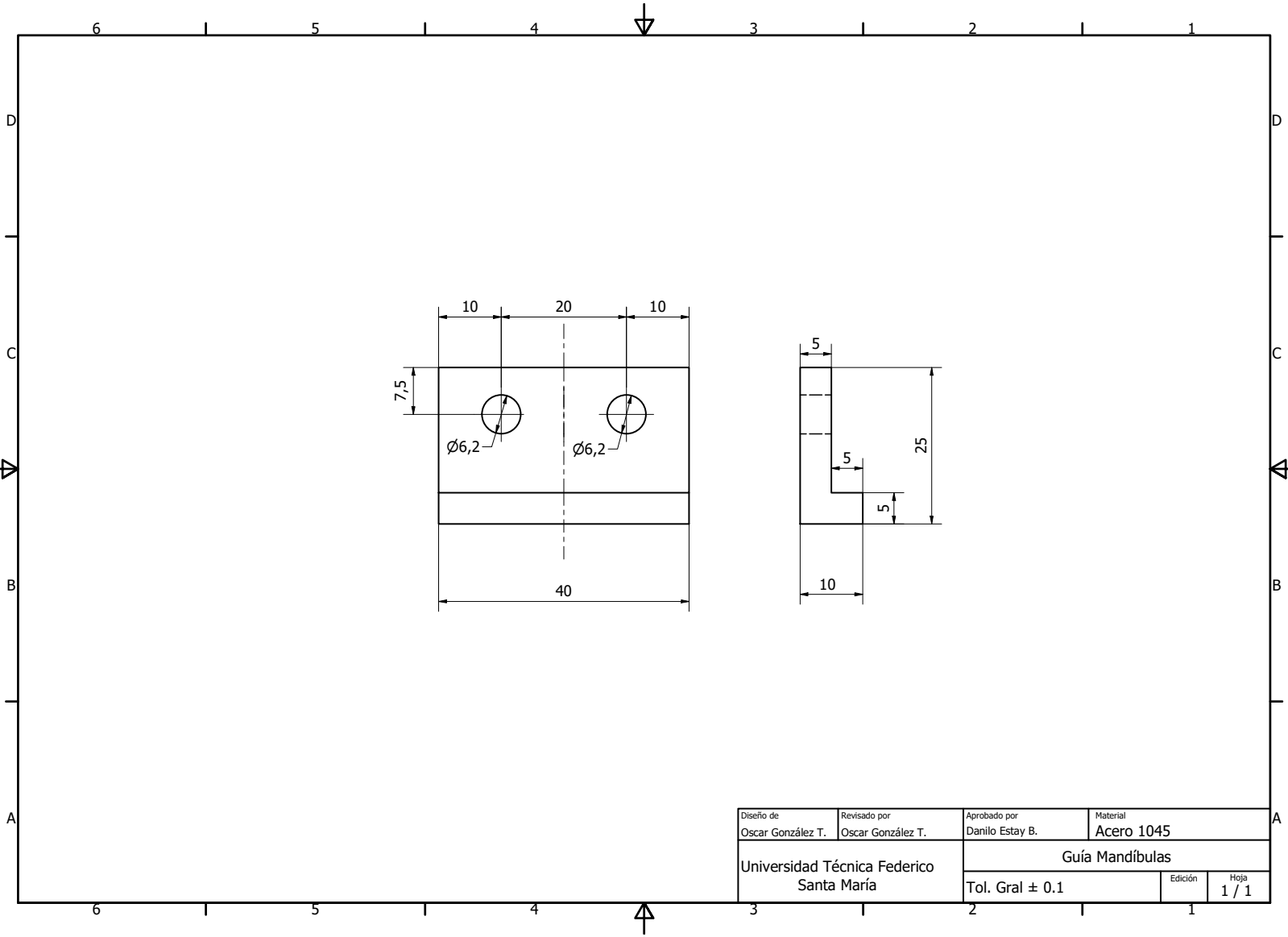
Anexo F: Plano Marco de las mordazas



Anexo G: Plano Mandíbulas



Anexo H: Plano Guías para las Mandíbulas



Placa Soporte

25
8 8
10,9
Ø8,5
Ø5,5
7
5
13
R1
Ø5,2
45
M5x0.8 - 6H
8

Pasador

R0,5
0,5 X 45°
25
5
8

Sujetador Resorte

M5x0.8 - 6g
0,5
8,5
4
16
5

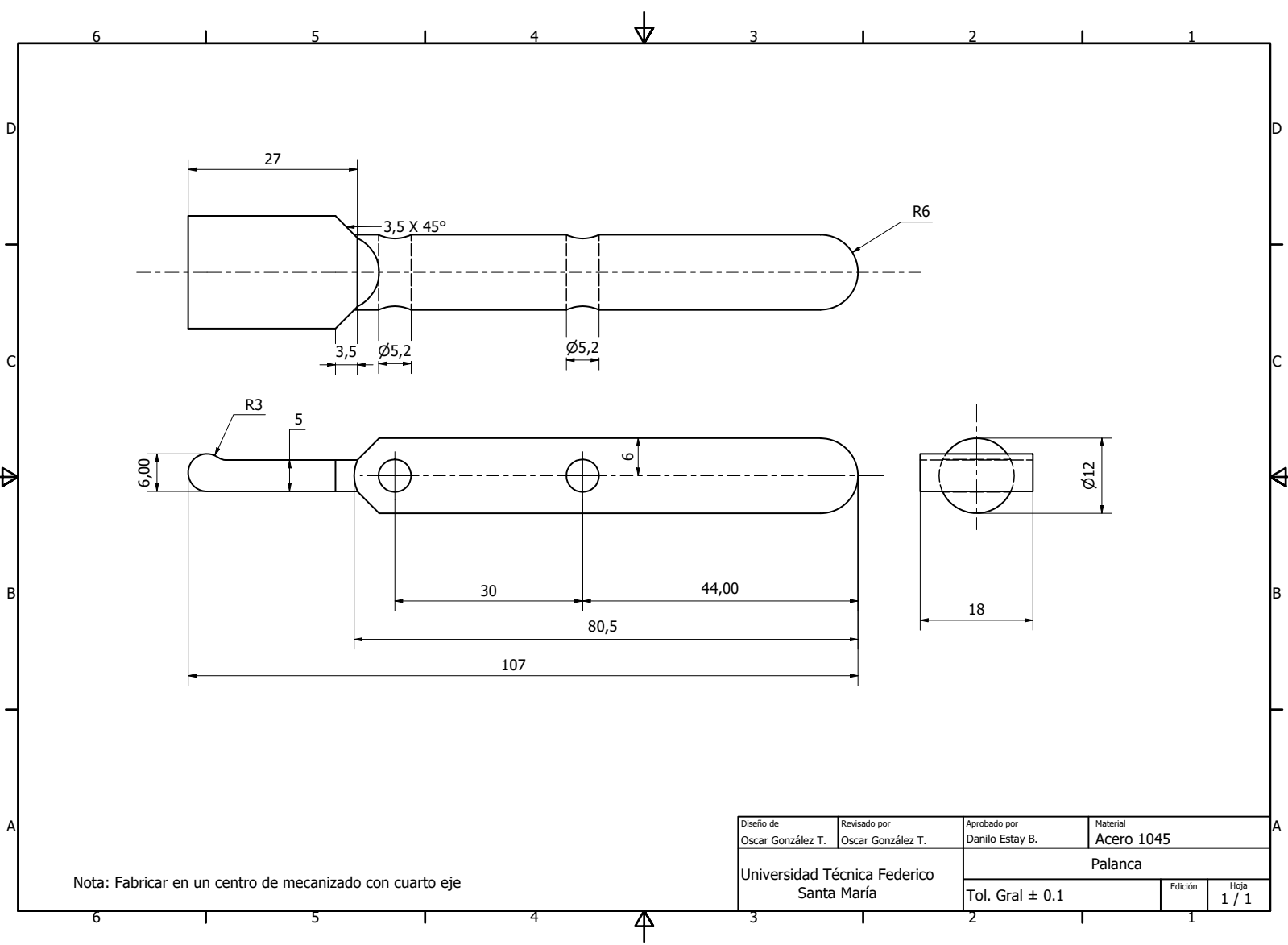
Sujetador resorte Palanca

Moletado Recto 0.25[mm]
41
12
4
4
5

Materiales:
Placa Soporte - Acero 4140
Pasador - Latón
Sujetador Resorte - Latón
Sujetador Resorte Palanca - Latón

Diseño de Oscar González T.	Revisado por Oscar González T.	Aprobado por Danilo Estay B.	
Universidad Técnica Federico Santa María		Componentes Sistema de Accionamiento	
Tol. Gral ± 0.1		Edición	Hoja 1 / 1

Anexo J: Plano Palanca mecanismo de accionamiento mor-
dazas



Anexo K: Informes extraídos del sistema testXpert II

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

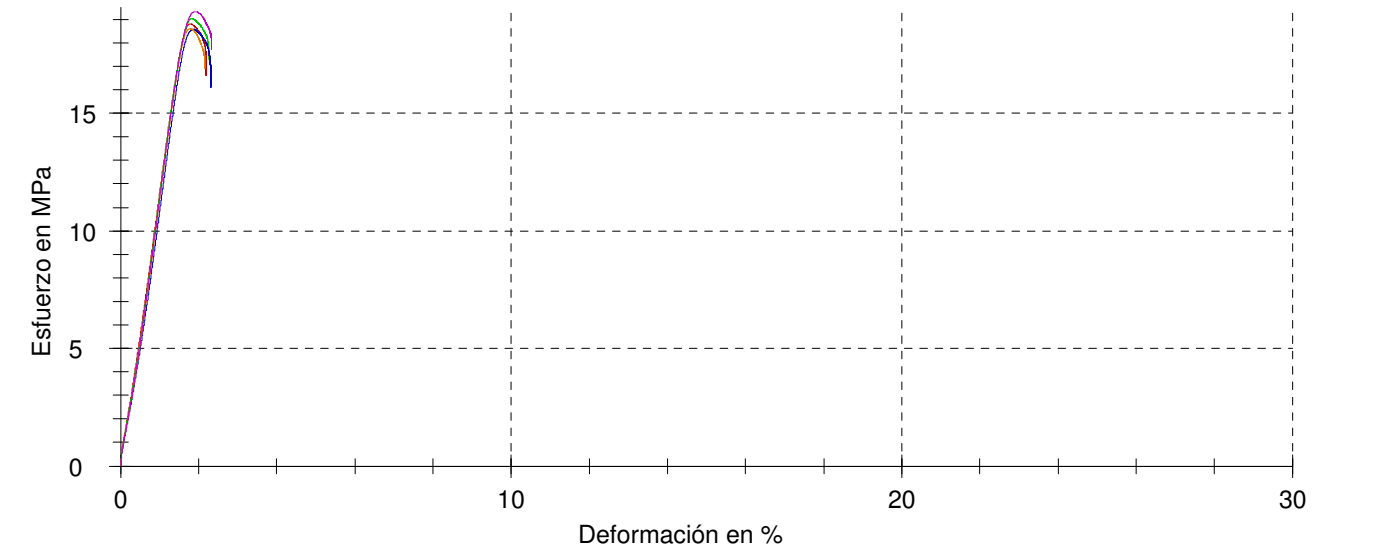
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	211,93	211,93	0,716	2,692	969	1120	18,5	-	-	-	18,8	1,8	1,8	18,8
2	211,93	211,93	0,699	2,652	966	1110	18,8	-	-	-	19,0	1,8	1,9	19,0
3	206,92	206,92	0,658	2,440	876	1040	18,2	-	-	-	18,6	1,9	1,9	18,6
4	206,92	206,92	0,702	2,542	901	1090	18,0	-	-	-	18,6	1,8	1,8	18,6
5	206,92	206,92	0,716	2,528	870	1080	18,8	-	-	-	19,3	1,9	1,9	19,3

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	1,8	1,8	5,31	15,9	84,43
2	1,8	1,9	5,26	15,9	83,63
3	1,9	1,9	5,29	15,95	84,38
4	1,8	1,8	5,28	15,96	84,27
5	1,9	1,9	5,25	15,98	83,90

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº1_BO_0° n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
x	208,92	208,92	0,698	2,571	916	1090	18,4	-	-	-	18,9	1,8	1,9
s	2,74	2,74	0,024	0,102	48,2	31,6	0,371	-	-	-	0,320	0,051	0,054
v	1,31	1,31	3,41	3,95	5,26	2,90	2,01	-	-	-	1,69	2,77	2,89

N°1_BO_0°	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B\ (corr.)}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	18,9	1,8	1,9	5,278	15,94	84,12
s	0,320	0,051	0,054	0,02387	0,03633	0,34
v	1,69	2,77	2,89	0,45	0,23	0,41

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

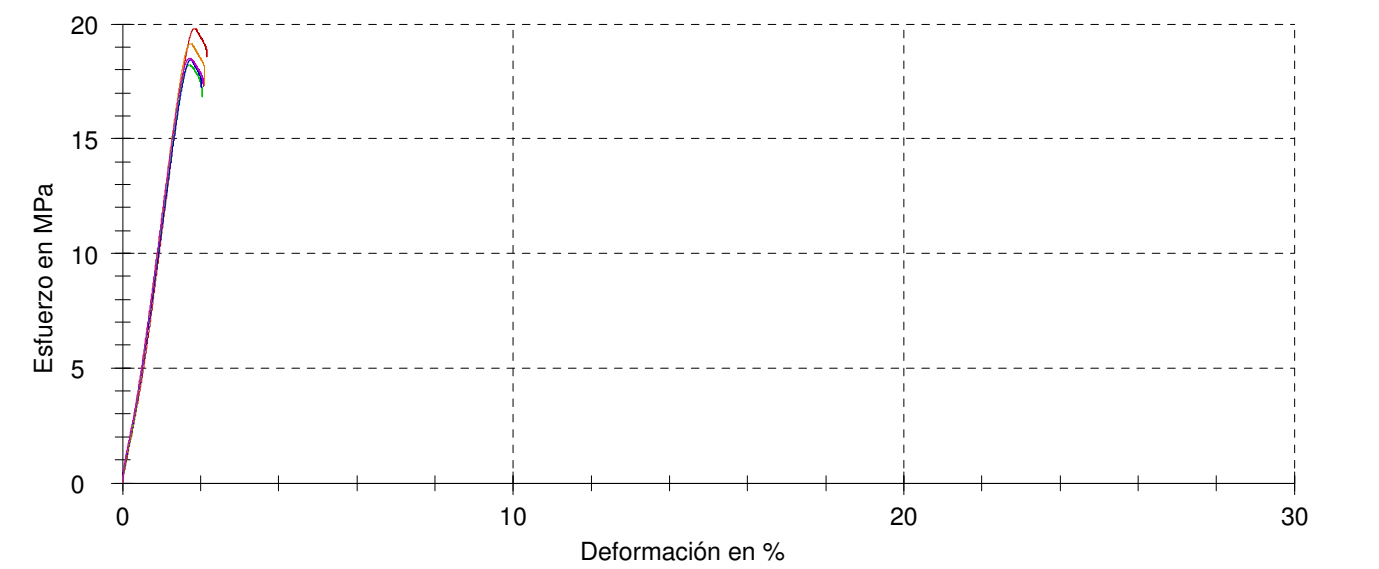
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,501	2,180	847	1060	-	-	-	-	19,8	1,8	1,9	19,8
2	206,92	206,92	0,605	2,275	813	1080	-	-	-	-	18,2	1,7	1,7	18,2
3	206,92	206,92	0,677	2,406	847	1060	-	-	-	-	18,4	1,7	1,8	18,4
4	206,92	206,92	0,703	2,441	828	1090	-	-	-	-	19,1	1,7	1,8	19,1
5	206,92	206,92	0,760	2,534	859	1080	17,3	-	-	-	18,5	1,7	1,8	18,5

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	1,8	1,9	5,3	15,91	84,32
2	1,7	1,7	5,43	16	86,88
3	1,7	1,8	5,45	16,02	87,31
4	1,7	1,8	5,25	15,97	83,84
5	1,7	1,8	5,31	15,98	84,85

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº2_BO_45º	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
n = 5	206,92	206,92	0,649	2,367	839	1070	17,3	-	-	-	18,8	1,8	1,8
x	206,92	206,92	0,649	2,367	839	1070	17,3	-	-	-	18,8	1,8	1,8
s	0,00	0,00	0,100	0,140	18,5	14,3	-	-	-	-	0,649	0,053	0,043
v	0,00	0,00	15,37	5,92	2,21	1,33	-	-	-	-	3,45	3,01	2,43

Nº2_BO_45° n = 5	σ _B MPa	ε _B %	ε _B (corr.) %	h mm	b mm	A ₀ mm²
x	18,8	1,8	1,8	5,348	15,98	85,44
s	0,649	0,053	0,043	0,08729	0,04159	1,56
v	3,45	3,01	2,43	1,63	0,26	1,82

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

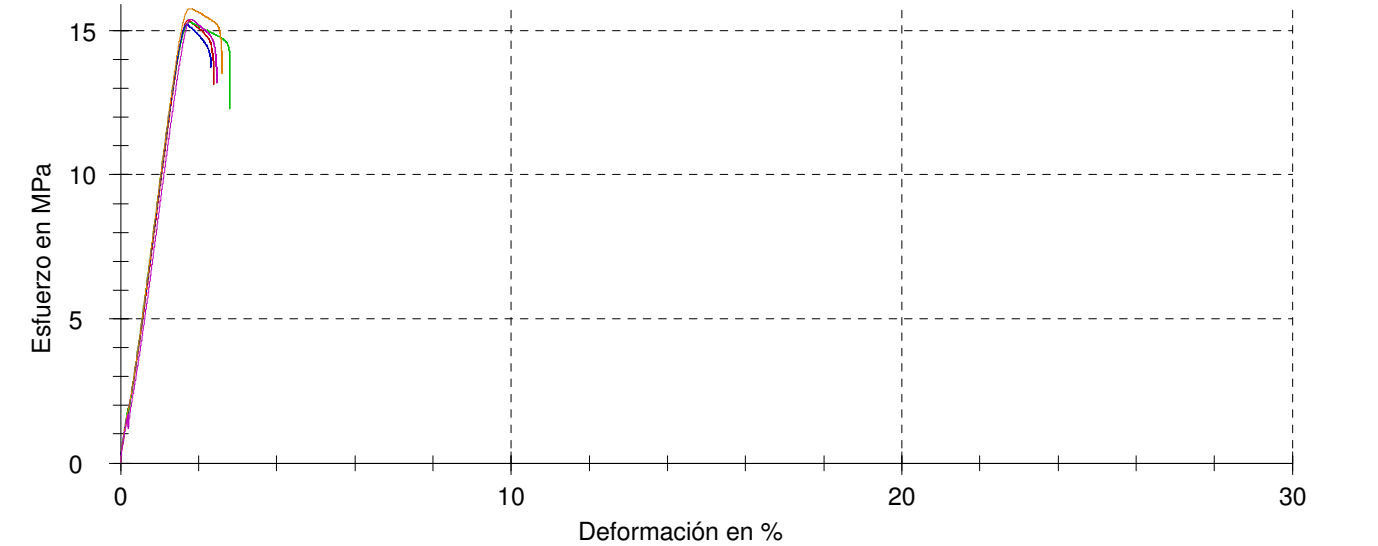
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,594	2,106	731	896	15,0	15,4	1,7	1,8	15,4	1,7	1,8	13,1
2	206,92	206,92	0,606	2,043	630	886	14,9	15,3	1,8	1,8	15,3	1,8	1,8	12,3
3	206,92	206,92	0,636	2,180	735	906	14,8	15,2	1,7	1,8	15,2	1,7	1,8	13,7
4	206,92	206,92	0,606	2,186	769	924	15,6	15,8	1,8	1,8	15,8	1,8	1,8	13,5
5	206,92	206,92	0,546	1,752	538	800	-	15,4	1,8	1,9	15,4	1,8	1,9	13,2

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	2,4	2,4	5,24	15,97	83,68
2	2,8	2,9	5,26	16	84,16
3	2,3	2,4	5,27	15,91	83,85
4	2,6	2,6	5,25	16,02	84,11
5	2,5	2,5	5,35	15,98	85,49

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº3_IN_10	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
n = 5	mm	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%
x	206,92	206,92	0,597	2,054	680	883	15,0	15,4	1,8	1,8	15,4	1,8	1,8
s	0,00	0,00	0,033	0,178	95,2	48,4	0,362	0,217	0,041	0,056	0,217	0,041	0,056
v	0,00	0,00	5,47	8,68	14,00	5,49	2,41	1,41	2,33	3,09	1,41	2,33	3,09

Nº3_IN_10	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B (corr.)}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm²
x	13,2	2,5	2,6	5,274	15,98	84,26
s	0,551	0,19	0,20	0,04393	0,04159	0,72
v	4,18	7,47	7,63	0,83	0,26	0,85

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

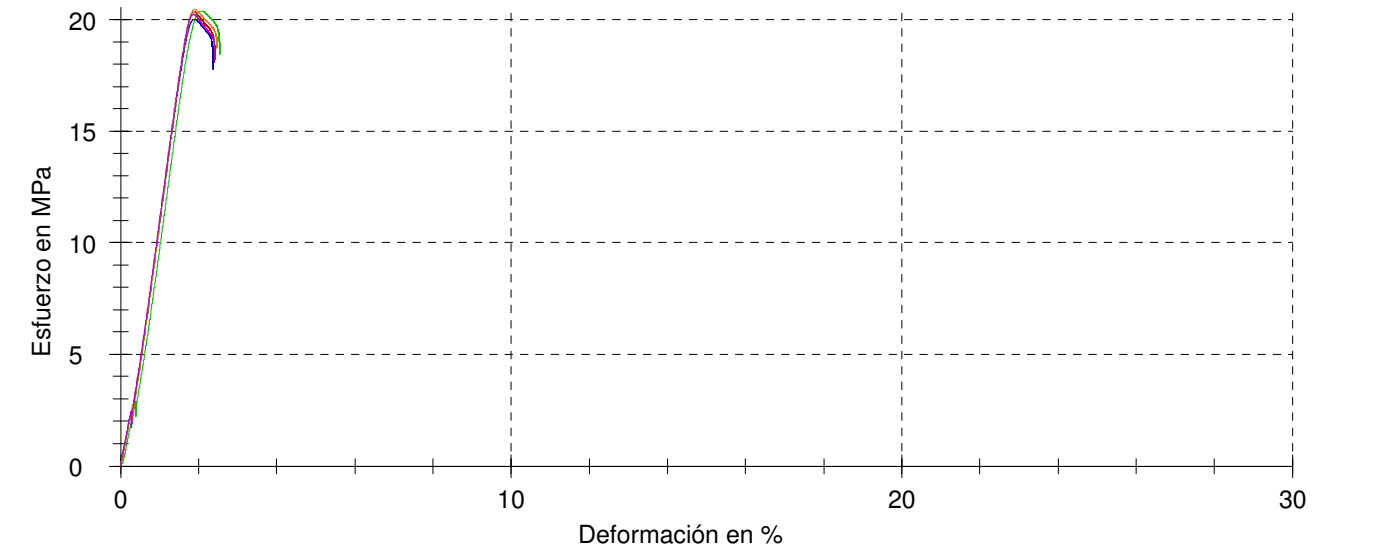
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,337	2,195	942	1110	19,7	20,4	1,9	1,9	20,4	1,9	1,9	18,1
2	206,92	206,92	0,127	1,705	839	1020	19,6	-	-	-	20,4	2,1	2,0	20,4
3	206,92	206,92	0,468	2,216	874	1070	19,2	-	-	-	20,0	1,9	1,9	20,0
4	206,92	206,92	0,435	2,193	876	1080	19,7	20,5	1,9	1,9	20,5	1,9	1,9	18,7
5	206,92	206,92	0,523	2,246	874	1090	19,3	20,2	1,9	1,9	20,2	1,9	1,9	18,2

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	2,4	2,4	5,06	16,14	81,67
2	2,1	2,0	5,04	16,17	81,50
3	1,9	1,9	5,08	16,11	81,84
4	2,5	2,5	5,05	16	80,80
5	2,4	2,4	5,12	15,92	81,51

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº4_IN_20	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
n = 5	mm	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%
x	206,92	206,92	0,378	2,111	881	1080	19,5	20,3	1,9	1,9	20,3	1,9	1,9
s	0,00	0,00	0,156	0,228	37,6	30,8	0,211	0,116	0,016	0,017	0,174	0,081	0,062
v	0,00	0,00	41,28	10,78	4,26	2,86	1,08	0,57	0,83	0,90	0,86	4,23	3,23

N°4_IN_20	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B\text{ (corr.)}}$	h	b	A_0
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm²
x	19,1	2,3	2,2	5,07	16,07	81,46
s	1,06	0,26	0,26	0,03162	0,1047	0,40
v	5,57	11,46	11,78	0,62	0,65	0,49

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

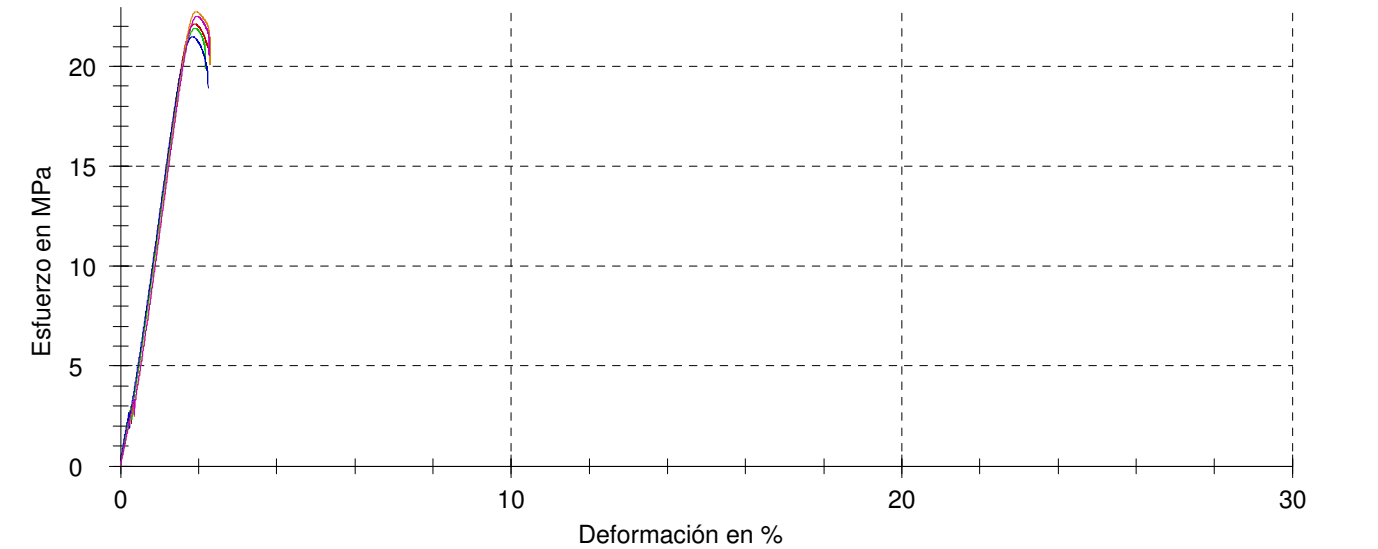
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,606	2,741	1070	1230	21,7	-	-	-	22,1	1,9	1,9	22,1
2	206,92	206,92	0,658	2,772	1060	1200	21,4	-	-	-	21,9	1,9	1,9	21,9
3	206,92	206,92	0,778	2,368	847	1160	-	-	-	-	21,5	1,8	1,9	21,5
5	206,92	206,92	0,475	2,364	959	1170	21,0	-	-	-	22,7	1,9	1,9	22,7
6	206,92	206,92	0,467	2,412	969	1160	21,1	-	-	-	22,5	2,0	2,0	22,5

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	1,9	1,9	5,07	15,84	80,31
2	1,9	1,9	5,06	15,89	80,40
3	1,8	1,9	5,08	15,86	80,57
5	1,9	1,9	5,03	15,83	79,62
6	2,0	2,0	5,06	15,91	80,50

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº5_IN_30	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
n = 5	mm	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%
x	206,92	206,92	0,597	2,532	982	1180	21,3	-	-	-	22,2	1,9	1,9
s	0,00	0,00	0,131	0,207	91,6	28,2	0,305	-	-	-	0,497	0,043	0,022
v	0,00	0,00	21,90	8,17	9,33	2,38	1,43	-	-	-	2,24	2,24	1,13

N°5_IN_30	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B\text{ (corr.)}}$	h	b	A_0
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	22,2	1,9	1,9	5,06	15,87	80,28
s	0,497	0,043	0,022	0,01871	0,03362	0,38
v	2,24	2,24	1,13	0,37	0,21	0,47

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

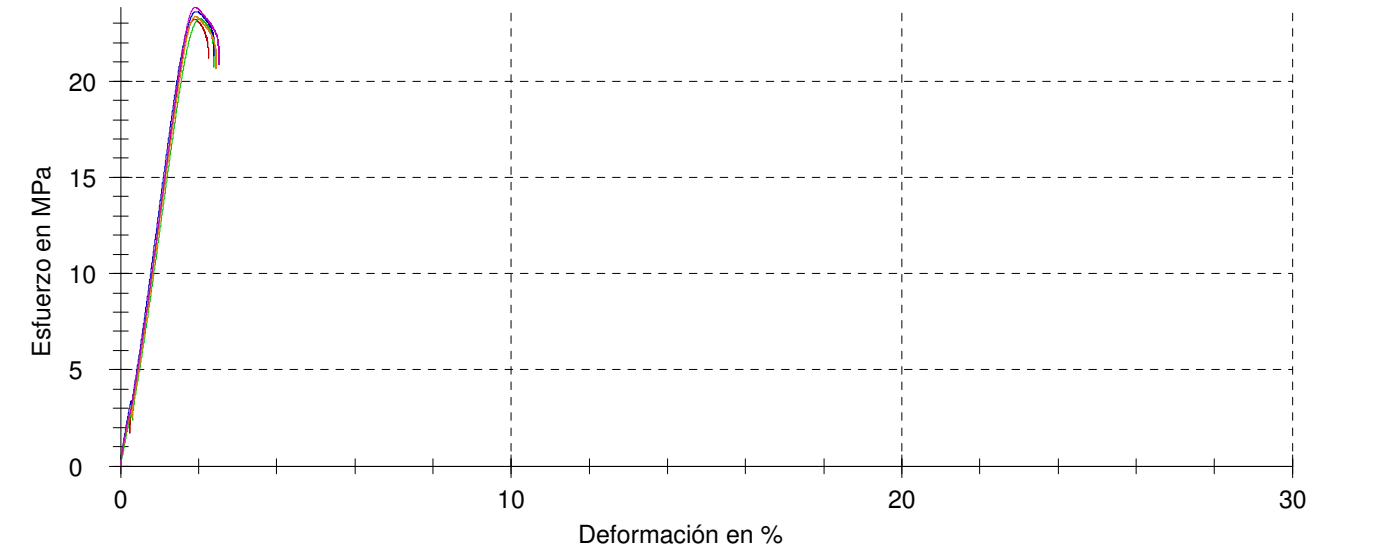
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,761	2,125	788	1170	-	-	-	-	23,2	1,9	2,0	23,2
2	206,92	206,92	0,502	2,571	1040	1210	22,7	-	-	-	23,2	2,0	2,0	23,2
3	206,92	206,92	0,844	3,169	1150	1300	23,4	-	-	-	23,6	1,9	2,0	23,6
4	206,92	206,92	0,704	2,777	1050	1220	22,7	23,4	1,9	1,9	23,4	1,9	1,9	20,6
5	206,92	206,92	0,747	2,754	1050	1250	23,1	23,8	1,9	1,9	23,8	1,9	1,9	20,8

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	1,9	2,0	5,12	16,02	82,02
2	2,0	2,0	5,12	16,07	82,28
3	1,9	2,0	5,06	16,03	81,11
4	2,5	2,5	5,13	16,06	82,39
5	2,5	2,5	5,03	16,05	80,73

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº6_IN_40 n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
x	206,92	206,92	0,712	2,679	1020	1230	23,0	23,6	1,9	1,9	23,5	1,9	2,0
s	0,00	0,00	0,128	0,379	136	47,4	0,340	0,332	0,015	0,0081	0,263	0,055	0,039
v	0,00	0,00	17,96	14,14	13,38	3,85	1,48	1,41	0,77	0,41	1,12	2,81	1,96

N°6_IN_40	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B \text{ (corr.)}}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	22,3	2,2	2,2	5,092	16,05	81,71
s	1,44	0,29	0,29	0,04438	0,02074	0,74
v	6,47	13,58	13,05	0,87	0,13	0,91

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

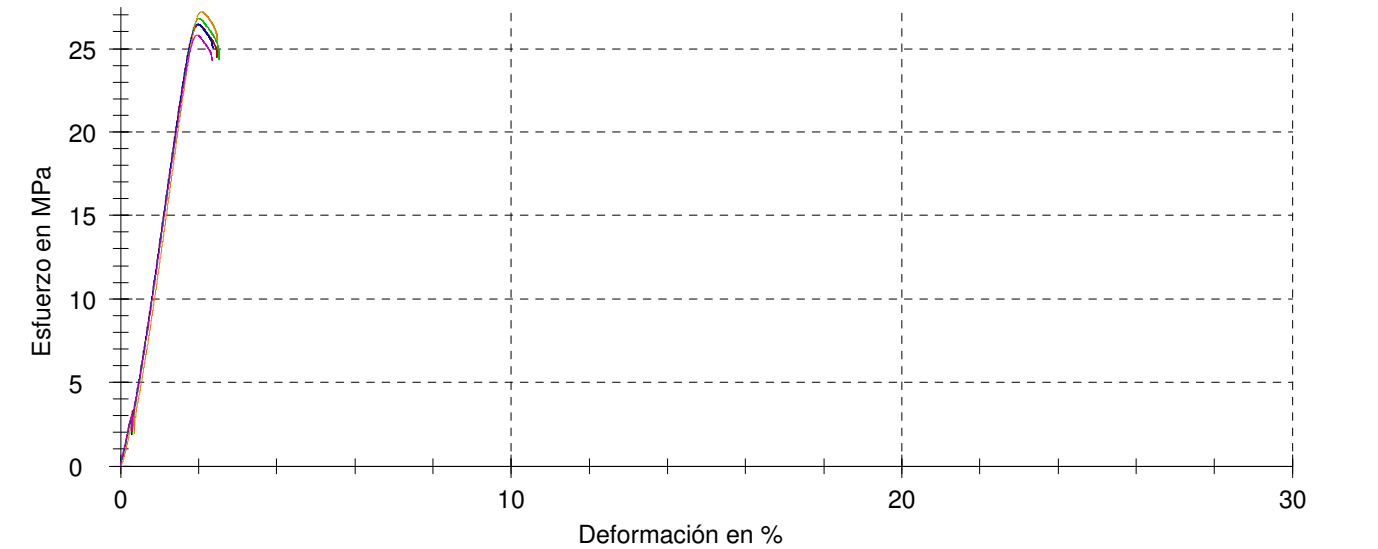
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,461	2,671	1120	1350	25,4	-	-	-	26,4	2,0	2,0	26,4
2	206,92	206,92	0,473	2,517	1030	1310	1,98	26,8	2,0	2,0	26,8	2,0	2,0	24,3
3	206,92	206,92	0,499	2,683	1110	1330	25,0	-	-	-	26,5	2,0	2,0	26,5
4	206,92	206,92	0,189	2,098	968	1270	2,09	-	-	-	27,2	2,1	2,0	27,2
5	206,92	206,92	0,599	2,695	1060	1290	2,14	-	-	-	25,8	2,0	2,0	25,8

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	2,0	2,0	5,05	15,94	80,50
2	2,5	2,5	5,04	15,91	80,19
3	2,0	2,0	5,04	15,97	80,49
4	2,1	2,0	5	15,97	79,85
5	2,0	2,0	5,12	15,97	81,77

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº7_IN_50	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
n = 5	mm	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%
x	206,92	206,92	0,444	2,533	1060	1310	11,3	26,8	2,0	2,0	26,5	2,0	2,0
s	0,00	0,00	0,153	0,254	63,3	32,2	12,7	-	-	-	0,526	0,042	0,028
v	0,00	0,00	34,34	10,02	5,98	2,46	111,93	-	-	-	1,98	2,07	1,40

Nº7_IN_50	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B \text{ (corr.)}}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm²
x	26,0	2,1	2,1	5,05	15,95	80,56
s	1,08	0,24	0,24	0,04359	0,02683	0,73
v	4,15	11,38	11,50	0,86	0,17	0,90

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

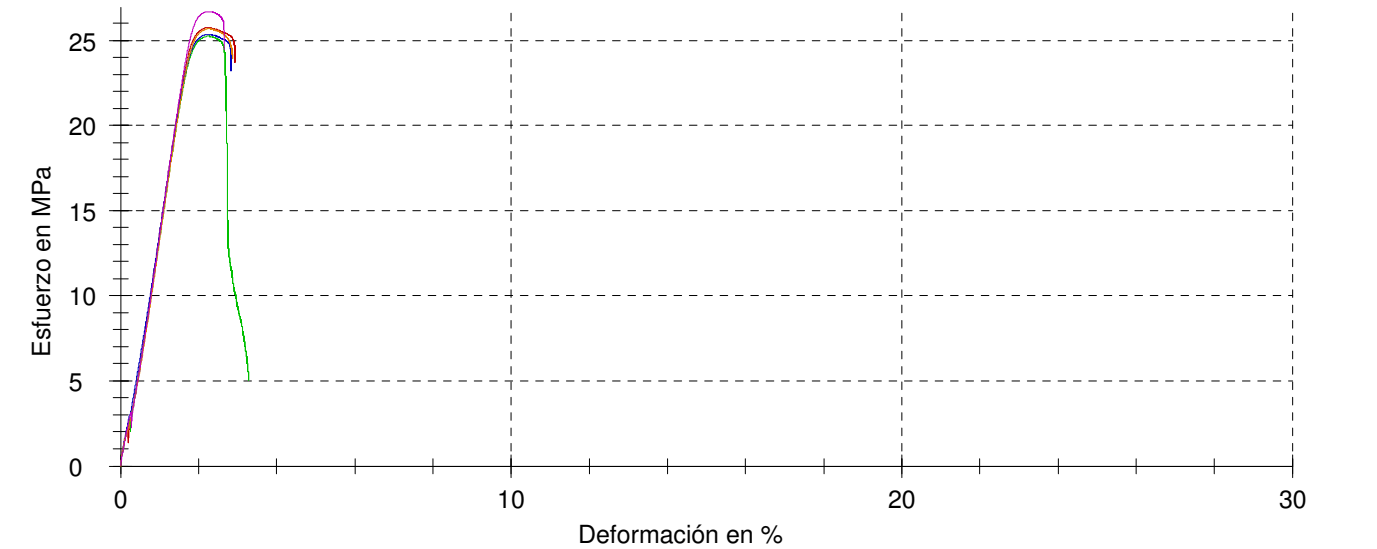
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,763	2,487	664	1180	1,41	25,7	2,2	2,4	25,7	2,2	2,4	23,7
2	206,92	206,92	0,730	2,781	1080	1300	25,2	25,2	2,2	2,3	25,2	2,2	2,3	5,04
3	206,92	206,92	0,816	3,050	1130	1320	25,3	25,3	2,2	2,3	25,3	2,2	2,3	23,2
4	206,92	206,92	0,817	2,627	825	1210	-	25,7	2,2	2,3	25,7	2,2	2,3	23,9
5	206,92	206,92	0,665	2,961	1170	1330	26,6	-	-	-	26,7	2,2	2,3	26,7

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	2,9	3,0	5,1	15,87	80,94
2	3,3	3,3	5,12	15,91	81,46
3	2,8	2,9	5,15	15,84	81,58
4	2,9	2,9	5,1	15,97	81,45
5	2,2	2,3	5,07	15,92	80,71

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº8_IN_60	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
n = 5	mm	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%	%
x	206,92	206,92	0,758	2,781	974	1270	19,6	25,5	2,2	2,3	25,7	2,2	2,3
s	0,00	0,00	0,064	0,232	220	65,6	12,2	0,246	0,00083	0,040	0,574	0,00073	0,040
v	0,00	0,00	8,40	8,34	22,53	5,17	61,99	0,97	0,04	1,74	2,23	0,03	1,75

N°8_IN_60	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B \text{ (corr.)}}$	h	b	A_0
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm²
x	20,5	2,8	2,9	5,108	15,9	81,23
s	8,76	0,37	0,39	0,0295	0,0497	0,38
v	42,68	13,20	13,43	0,58	0,31	0,47

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

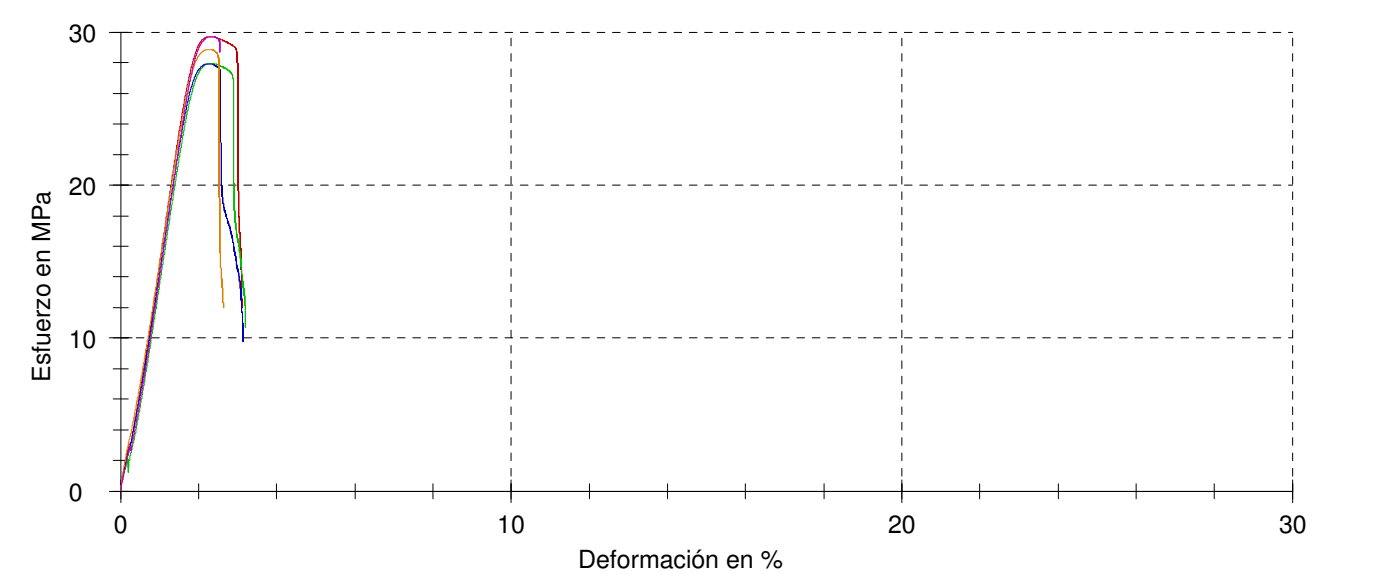
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,750	3,085	1220	1440	29,6	29,7	2,3	2,3	29,7	2,3	2,3	12,0
2	206,92	206,92	0,780	2,259	561	1130	1,27	28,0	2,3	2,4	28,0	2,3	2,4	10,7
3	206,92	206,92	0,893	2,924	990	1340	24,9	27,9	2,2	2,3	27,9	2,2	2,3	9,79
4	206,92	206,92	0,927	3,552	1320	1440	28,9	-	-	-	28,9	2,3	2,3	28,9
5	206,92	206,92	0,641	2,822	1120	1370	-	-	-	-	29,7	2,3	2,3	29,7

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	3,1	3,1	5,06	15,99	80,91
2	3,2	3,3	5,14	16,1	82,75
3	3,1	3,2	5,15	15,95	82,14
4	2,3	2,3	5,14	16,01	82,29
5	2,3	2,3	5,11	15,91	81,30

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº9_IN_70 n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
x	206,92	206,92	0,798	2,929	1040	1340	21,2	28,6	2,3	2,4	28,9	2,3	2,3
s	0,00	0,00	0,115	0,467	297	125	13,4	1,02	0,037	0,073	0,882	0,035	0,059
v	0,00	0,00	14,42	15,95	28,43	9,32	63,42	3,57	1,63	3,11	3,06	1,54	2,52

N°9_IN_70	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B\text{ (corr.)}}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm²
x	18,2	2,8	2,9	5,12	15,99	81,88
s	10,1	0,47	0,50	0,03674	0,07155	0,76
v	55,69	16,81	17,57	0,72	0,45	0,92

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

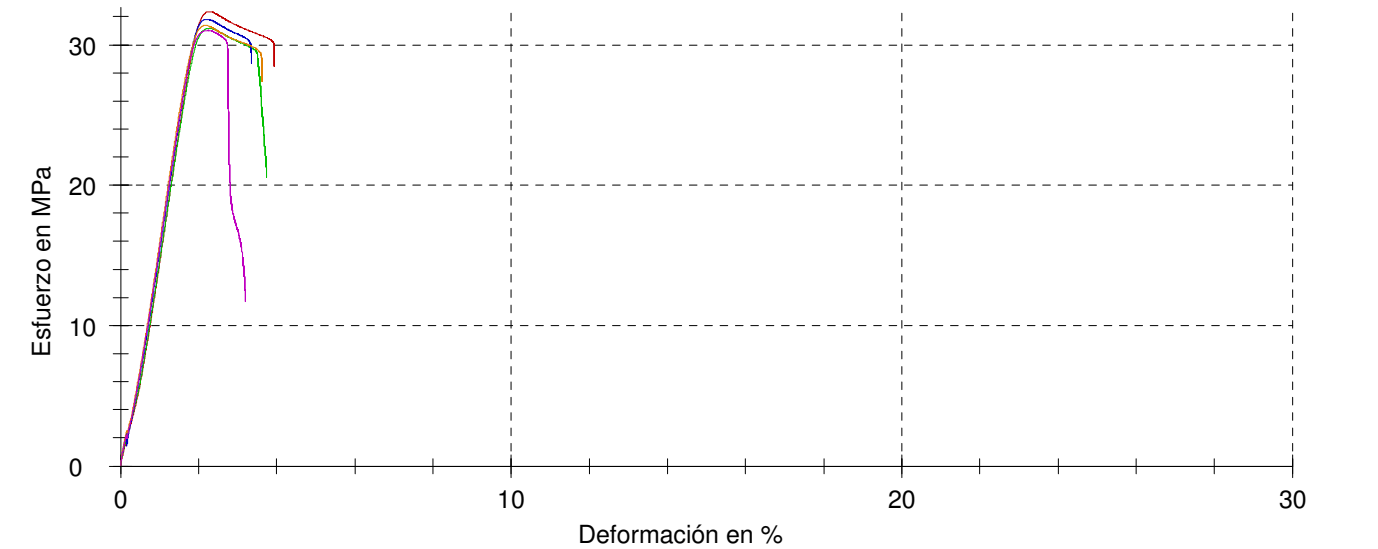
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %	ε _M (corr.) %	σ _B MPa
1	206,92	206,92	0,643	2,812	1090	1410	31,4	32,4	2,3	2,3	32,4	2,3	2,3	28,5
2	206,92	206,92	0,782	2,916	1020	1390	30,2	31,2	2,3	2,3	31,2	2,3	2,3	20,6
3	206,92	206,92	0,872	2,867	776	1350	-	31,8	2,2	2,3	31,8	2,2	2,3	28,7
4	206,92	206,92	0,996	3,188	975	1440	30,2	31,4	2,2	2,2	31,4	2,2	2,2	27,4
5	206,92	206,92	0,870	2,986	937	1430	25,6	31,0	2,2	2,3	31,0	2,2	2,3	11,7

Nr	ε _B %	ε _B (corr.) %	h mm	b mm	A ₀ mm²
1	3,9	4,0	5,09	16,14	82,15
2	3,7	3,8	5,15	16,03	82,55
3	3,4	3,4	5,12	16,16	82,74
4	3,6	3,7	5,11	16	81,76
5	3,2	3,3	5,17	15,92	82,31

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº10_IN_80 n = 5	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %	ε _M (corr.) %
x	206,92	206,92	0,833	2,954	959	1400	29,3	31,6	2,2	2,3	31,6	2,2	2,3
s	0,00	0,00	0,131	0,146	116	37,2	2,58	0,547	0,050	0,032	0,547	0,050	0,032
v	0,00	0,00	15,68	4,93	12,11	2,65	8,79	1,73	2,23	1,38	1,73	2,23	1,38

N°10_IN_80	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B (corr.)}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	23,4	3,6	3,6	5,128	16,05	82,30
s	7,31	0,30	0,28	0,03194	0,1	0,38
v	31,27	8,37	7,62	0,62	0,62	0,46

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

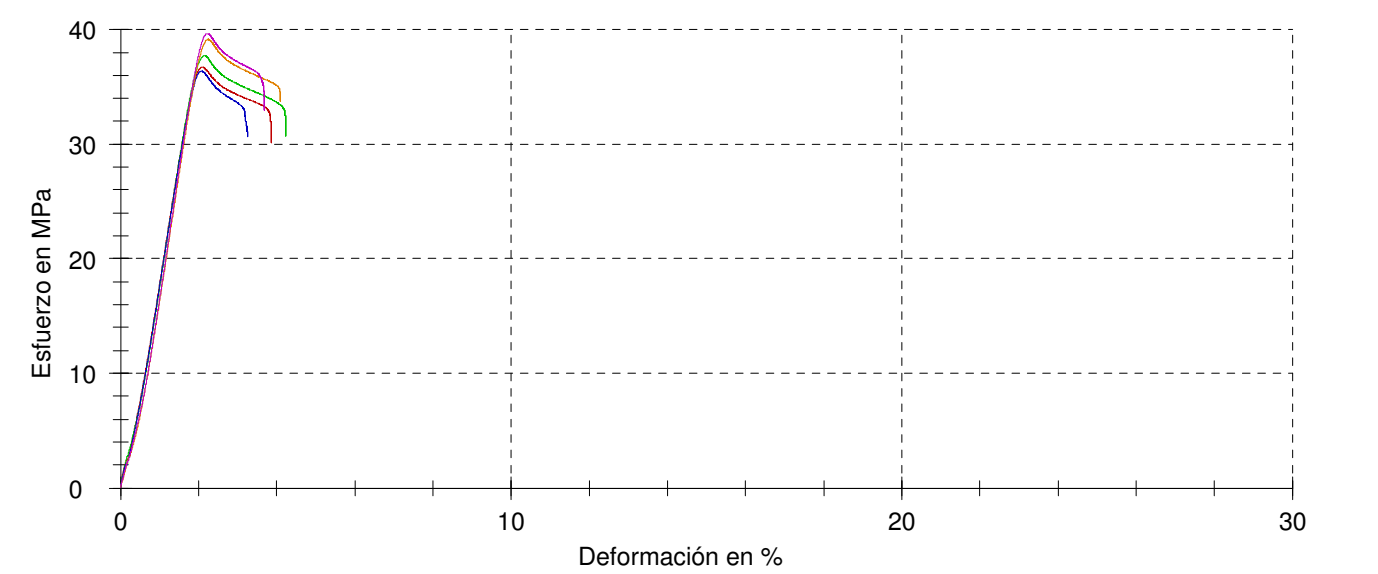
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %	ε _M (corr.) %	σ _B MPa
1	206,92	206,92	1,030	3,294	954	1590	33,5	36,7	2,1	2,2	36,7	2,1	2,2	30,1
2	206,92	206,92	0,927	3,554	1260	1660	35,4	37,7	2,2	2,2	37,7	2,2	2,2	30,7
3	206,92	206,92	0,865	3,113	1000	1640	31,8	36,4	2,1	2,1	36,4	2,1	2,1	30,6
4	206,92	206,92	0,577	2,763	1210	1620	36,5	39,1	2,2	2,2	39,1	2,2	2,2	33,7
5	206,92	206,92	0,657	2,925	1090	1590	36,4	39,7	2,2	2,2	39,7	2,2	2,2	33,0

Nr	ε _B %	ε _B (corr.) %	h mm	b mm	A ₀ mm²
1	3,9	3,9	5,09	16,08	81,85
2	4,2	4,3	5,08	16	81,28
3	3,3	3,3	5,17	15,94	82,41
4	4,1	4,1	5,07	16,15	81,88
5	3,7	3,7	5,04	15,91	80,19

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº11_IN_90 n = 5	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %	ε _M (corr.) %
x	206,92	206,92	0,811	3,130	1100	1620	34,8	37,9	2,2	2,2	37,9	2,2	2,2
s	0,00	0,00	0,189	0,310	130	33,1	2,04	1,44	0,077	0,051	1,44	0,077	0,051
v	0,00	0,00	23,30	9,90	11,83	2,04	5,86	3,80	3,59	2,33	3,80	3,59	2,33

N°11_IN_90	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B (corr.)}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	31,6	3,8	3,9	5,09	16,02	81,52
s	1,61	0,38	0,37	0,04848	0,09915	0,85
v	5,08	9,85	9,51	0,95	0,62	1,04

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

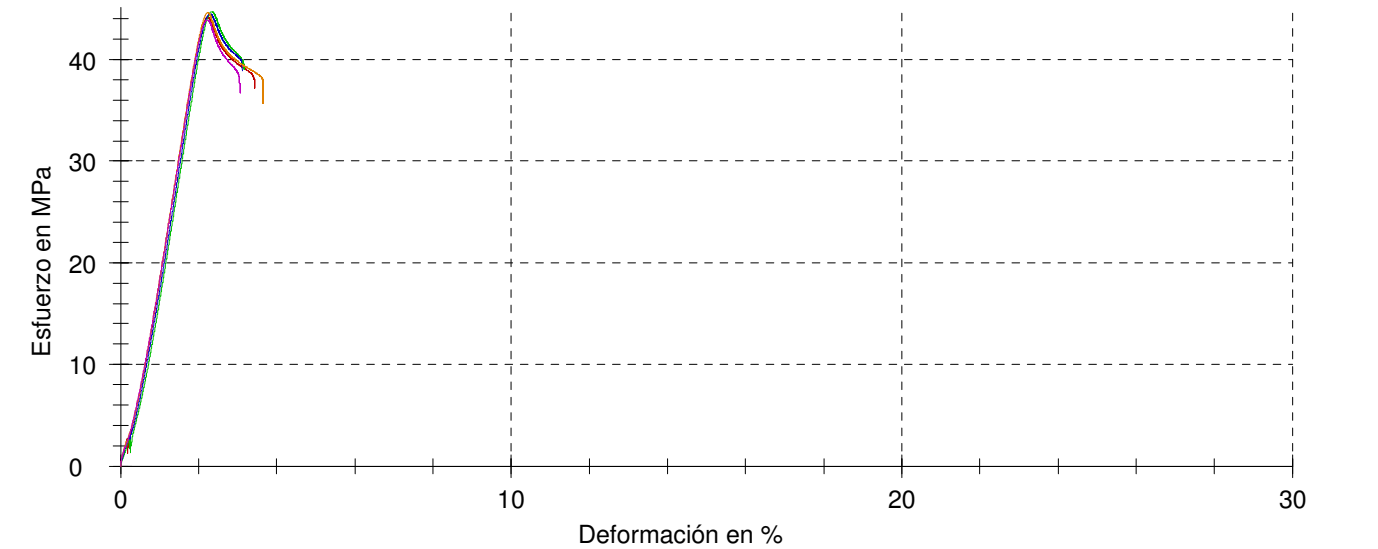
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _{Y (corr.)} %	σ _M MPa	ε _M %	ε _{M (corr.)} %	σ _B MPa
1	206,92	206,92	0,836	2,945	696	1510	1,40	44,2	2,2	2,4	44,2	2,2	2,4	37,2
2	206,92	206,92	0,588	2,323	1140	1610	1,74	44,7	2,3	2,3	44,7	2,3	2,3	39,1
3	206,92	206,92	0,745	2,634	1130	1650	-	44,5	2,3	2,3	44,5	2,3	2,3	38,9
4	206,92	206,92	1,014	3,363	1090	1700	38,4	44,6	2,2	2,3	44,6	2,2	2,3	35,7
5	206,92	206,92	1,029	3,279	1040	1700	-	43,9	2,2	2,3	43,9	2,2	2,3	36,7

Nr	ε _B %	ε _{B (corr.)} %	h mm	b mm	A ₀ mm²
1	3,4	3,6	5,26	15,91	83,69
2	3,2	3,2	5,25	15,92	83,58
3	3,1	3,1	5,24	15,93	83,47
4	3,7	3,7	5,25	15,93	83,63
5	3,1	3,1	5,26	16	84,16

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº12_IN_100 n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _{Y (corr.)} %	σ _M MPa	ε _M %
x	206,92	206,92	0,842	2,909	1020	1630	13,8	44,4	2,3	2,3	44,4	2,3
s	0,00	0,00	0,186	0,437	185	76,2	21,3	0,337	0,049	0,034	0,337	0,049
v	0,00	0,00	22,10	15,02	18,13	4,66	153,58	0,76	2,18	1,49	0,76	2,18

N°12_IN_100	ϵ_M (corr.)	σ_B	ϵ_B	ϵ_B (corr.)	h	b	A ₀
n = 5	%	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	2,3	37,5	3,3	3,3	5,252	15,94	83,71
s	0,034	1,45	0,25	0,28	0,008367	0,03564	0,27
v	1,49	3,86	7,64	8,26	0,16	0,22	0,32

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

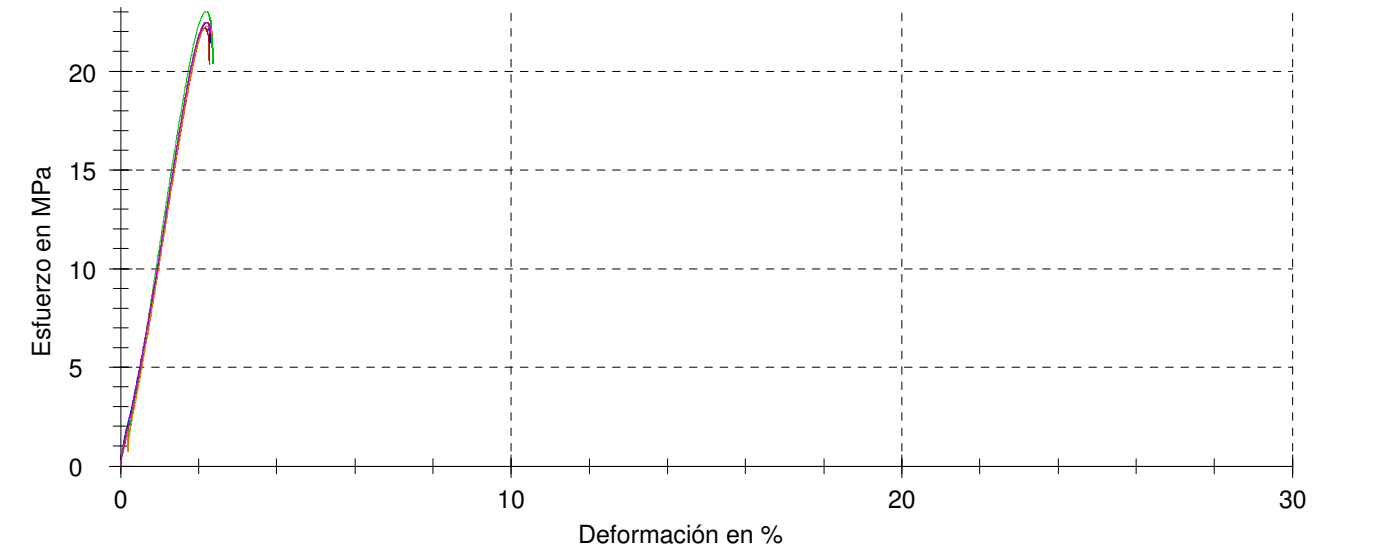
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,553	2,168	879	1010	-	-	-	-	22,2	2,2	2,2	22,2
2	206,92	206,92	0,667	2,039	561	951	1,28	-	-	-	23,0	2,2	2,3	23,0
3	206,92	206,92	0,785	2,615	860	991	-	-	-	-	22,5	2,2	2,3	22,5
4	206,92	206,92	0,664	1,801	326	724	1,13	-	-	-	22,3	2,2	2,5	22,3
5	206,92	206,92	0,649	2,417	838	1020	-	-	-	-	22,5	2,2	2,2	22,5

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	2,2	2,2	5,11	15,92	81,35
2	2,2	2,3	5,12	15,95	81,66
3	2,2	2,3	5,08	15,92	80,87
4	2,2	2,5	5,18	15,88	82,26
5	2,2	2,2	5,13	15,83	81,21

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº13_Wa_2 n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
x	206,92	206,92	0,664	2,208	693	940	1,20	-	-	-	22,5	2,2	2,3
s	0,00	0,00	0,082	0,318	242	124	0,109	-	-	-	0,324	0,022	0,11
v	0,00	0,00	12,41	14,42	35,00	13,21	9,06	-	-	-	1,44	0,98	4,82

N°13_Wa_2	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B \text{ (corr.)}}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	22,5	2,2	2,3	5,124	15,9	81,47
s	0,324	0,022	0,11	0,03647	0,04637	0,52
v	1,44	0,98	4,82	0,71	0,29	0,64

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

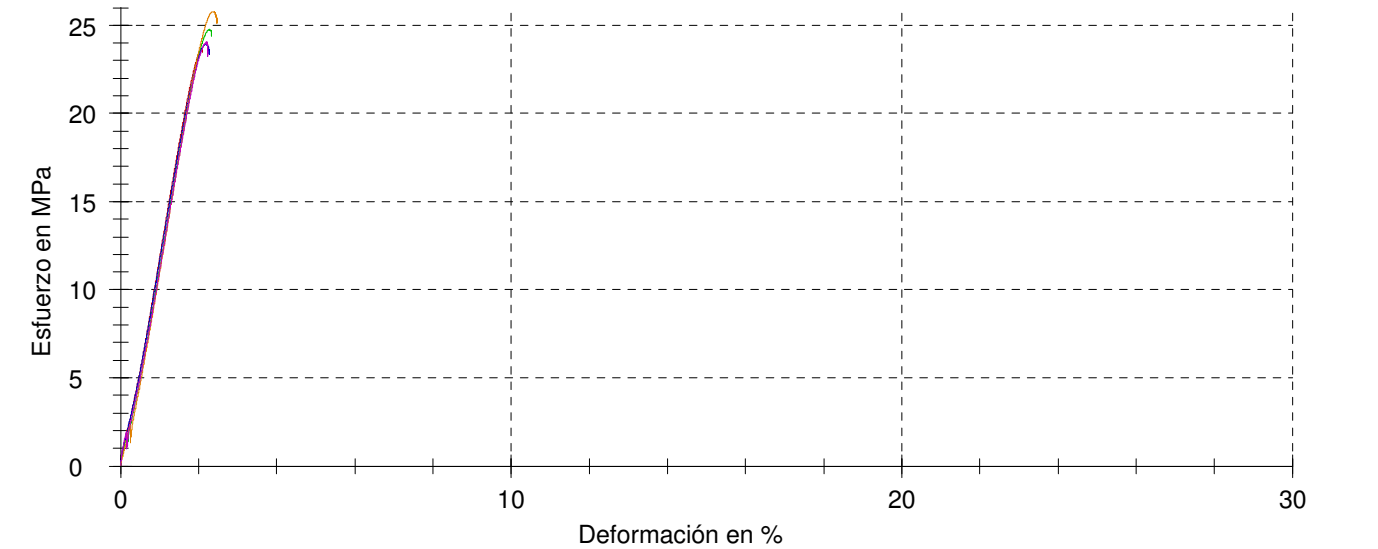
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _{Y (corr.)} %	σ _M MPa	ε _M %	ε _{M (corr.)} %	σ _B MPa
1	206,92	206,92	0,728	2,633	893	1110	-	-	-	-	23,7	2,1	2,1	23,7
2	206,92	206,92	0,631	2,216	674	1030	-	-	-	-	24,8	2,3	2,3	24,8
3	206,92	206,92	0,770	2,680	914	1100	-	-	-	-	23,9	2,2	2,2	23,9
4	206,92	206,92	0,460	2,298	949	1090	1,47	-	-	-	25,8	2,4	2,4	25,8
5	206,92	206,92	0,806	2,340	528	913	1,13	-	-	-	24,0	2,2	2,3	24,0

Nr	ε _B %	ε _{B (corr.)} %	h mm	b mm	A ₀ mm²
1	2,1	2,1	5,13	16	82,08
2	2,3	2,3	5,15	16,06	82,71
3	2,2	2,2	5,17	15,96	82,51
4	2,4	2,4	5,09	16,06	81,75
5	2,2	2,3	5,14	16,06	82,55

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº14_Wa_3 n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _{Y (corr.)} %	σ _M MPa	ε _M %	ε _{M (corr.)} %
x	206,92	206,92	0,679	2,434	792	1050	1,30	-	-	-	24,4	2,2	2,3
s	0,00	0,00	0,139	0,209	183	83,4	0,242	-	-	-	0,855	0,11	0,11
v	0,00	0,00	20,47	8,60	23,07	7,94	18,63	-	-	-	3,50	5,05	4,69

N°14_Wa_3	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B\text{ (corr.)}}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	24,4	2,2	2,3	5,136	16,03	82,32
s	0,855	0,11	0,11	0,02966	0,04604	0,40
v	3,50	5,05	4,69	0,58	0,29	0,48

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

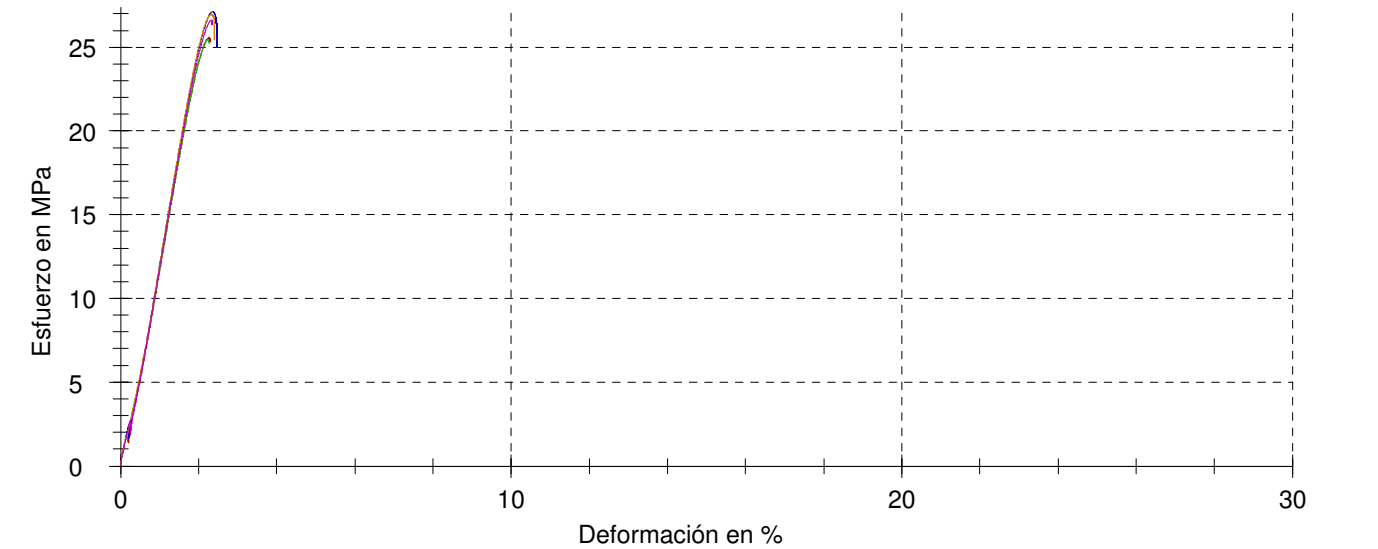
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,744	2,186	622	1000	1,40	-	-	-	25,6	2,3	2,4	25,6
2	206,92	206,92	0,670	2,669	993	1140	-	-	-	-	25,5	2,2	2,3	25,5
3	206,92	206,92	0,700	2,135	789	1100	-	-	-	-	27,1	2,4	2,4	27,1
4	206,92	206,92	0,732	2,589	851	1120	-	-	-	-	26,9	2,3	2,4	26,9
5	206,92	206,92	0,646	2,665	1030	1150	-	-	-	-	26,6	2,3	2,3	26,6

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	2,3	2,4	5,12	15,91	81,46
2	2,2	2,3	5,16	16,13	83,23
3	2,4	2,4	5,11	15,97	81,61
4	2,3	2,4	5,17	15,88	82,10
5	2,3	2,3	5,13	16	82,08

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº15_Wa_4 n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
x	206,92	206,92	0,698	2,449	857	1100	1,40	-	-	-	26,3	2,3	2,4
s	0,00	0,00	0,041	0,266	164	59,8	-	-	-	-	0,785	0,049	0,057
v	0,00	0,00	5,90	10,86	19,18	5,42	-	-	-	-	2,98	2,11	2,40

N°15_Wa_4	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B \text{ (corr.)}}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	26,3	2,3	2,4	5,138	15,98	82,10
s	0,785	0,049	0,057	0,02588	0,09731	0,70
v	2,98	2,11	2,40	0,50	0,61	0,85

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

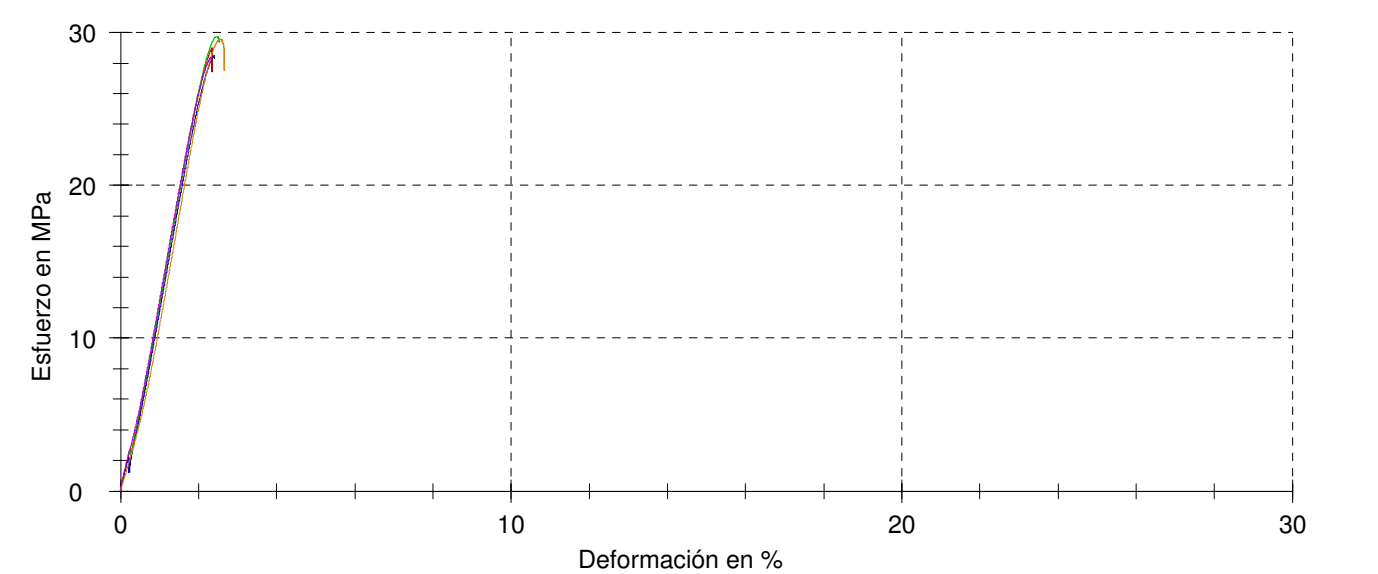
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,590	2,692	1070	1200	-	-	-	-	29,0	2,3	2,4	29,0
2	206,92	206,92	0,616	2,681	1070	1190	1,78	-	-	-	29,7	2,5	2,5	29,7
3	206,92	206,92	0,651	1,659	609	1030	1,38	-	-	-	28,5	2,4	2,5	28,5
4	206,92	206,92	0,428	2,147	848	1070	-	-	-	-	29,6	2,6	2,6	29,6
5	206,92	206,92	0,676	2,757	1050	1220	-	-	-	-	28,4	2,3	2,3	28,4

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	2,3	2,4	5,14	15,99	82,19
2	2,5	2,5	5,08	15,99	81,23
3	2,4	2,5	5,13	16,02	82,18
4	2,6	2,6	5,06	16,06	81,26
5	2,3	2,3	5,12	16	81,92

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº16_Wa_5 n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %
x	206,92	206,92	0,592	2,387	930	1140	1,58	-	-	-	29,0	2,4	2,4
s	0,00	0,00	0,098	0,475	203	84,2	0,289	-	-	-	0,622	0,093	0,092
v	0,00	0,00	16,50	19,91	21,83	7,36	18,29	-	-	-	2,14	3,86	3,78

N°16_Wa_5	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B (corr.)}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	29,0	2,4	2,4	5,106	16,01	81,76
s	0,622	0,093	0,092	0,03435	0,0295	0,48
v	2,14	3,86	3,78	0,67	0,18	0,59

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

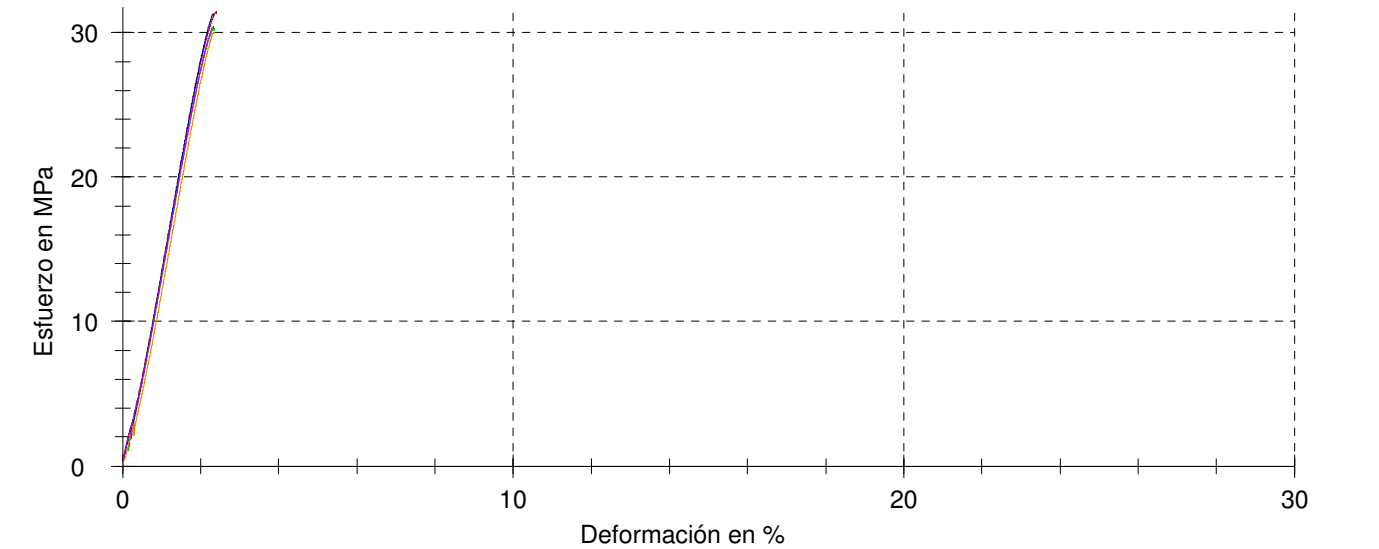
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %	ε _M (corr.) %	σ _B MPa
1	206,92	206,92	0,719	2,968	1130	1300	-	-	-	-	31,5	2,4	2,4	31,5
2	206,92	206,92	0,776	2,548	698	1160	-	-	-	-	30,3	2,3	2,4	30,3
3	206,92	206,92	0,716	2,548	897	1250	-	-	-	-	31,3	2,3	2,4	31,3
4	206,92	206,92	0,412	2,512	1060	1220	-	-	-	-	30,0	2,3	2,3	30,0
5	206,92	206,92	0,815	3,000	1060	1260	-	-	-	-	30,4	2,3	2,4	30,4

Nr	ε _B %	ε _B (corr.) %	h mm	b mm	A ₀ mm²
1	2,4	2,4	5,1	16,14	82,31
2	2,3	2,4	5,21	15,96	83,15
3	2,3	2,4	5,08	16,01	81,33
4	2,3	2,3	5,18	16,03	83,04
5	2,3	2,4	5,19	15,95	82,78

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº17_Wa_6 n = 5	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %	ε _M (corr.) %
x	206,92	206,92	0,688	2,715	969	1240	-	-	-	-	30,7	2,3	2,4
s	0,00	0,00	0,159	0,246	174	50,2	-	-	-	-	0,633	0,035	0,044
v	0,00	0,00	23,18	9,06	17,95	4,06	-	-	-	-	2,06	1,51	1,84

N°17_Wa_6	σ_B	ϵ_B	$\epsilon_{B \text{ (corr.)}}$	h	b	A ₀
n = 5	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	30,7	2,3	2,4	5,152	16,02	82,52
s	0,633	0,035	0,044	0,05805	0,07596	0,74
v	2,06	1,51	1,84	1,13	0,47	0,90

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

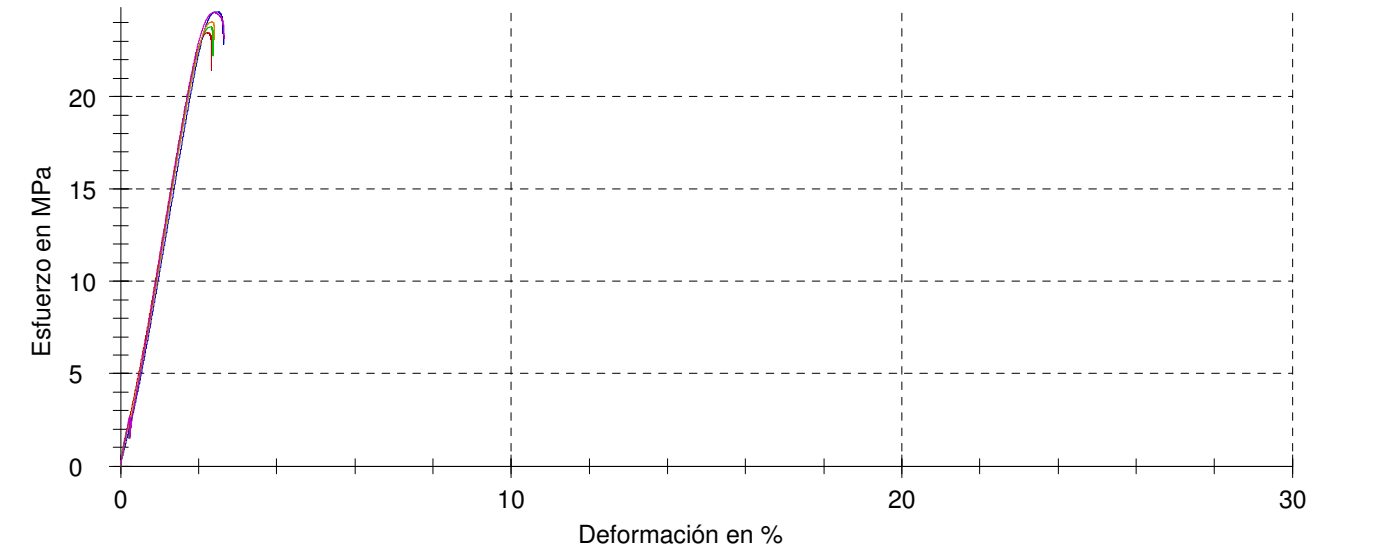
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %	ε _M (corr.) %	σ _B MPa
1	206,92	206,92	0,752	2,750	977	1090	22,2	-	-	-	23,5	2,2	2,3	23,5
2	206,92	206,92	0,724	2,142	653	971	-	-	-	-	23,8	2,3	2,4	23,8
3	206,92	206,92	0,493	2,190	842	1030	-	-	-	-	24,6	2,5	2,5	24,6
4	206,92	206,92	0,601	2,421	938	1060	-	-	-	-	24,0	2,3	2,4	24,0
5	206,92	206,92	0,651	1,556	966	1080	1,67	-	-	-	24,6	2,4	2,4	24,6

Nr	ε _B %	ε _B (corr.) %	h mm	b mm	A ₀ mm²
1	2,2	2,3	5,09	15,86	80,73
2	2,3	2,4	5,13	16,03	82,23
3	2,5	2,5	5,1	15,91	81,14
4	2,3	2,4	5,13	15,83	81,21
5	2,4	2,4	5,09	15,9	80,93

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº18_InPa_Gy n = 5	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %
x̄	206,92	206,92	0,644	2,212	875	1050	11,9	-	-	-	24,1	2,3
s	0,00	0,00	0,103	0,438	135	47,6	14,5	-	-	-	0,495	0,086
v	0,00	0,00	16,05	19,82	15,43	4,55	121,65	-	-	-	2,06	3,69

N°18_InPa_Gy	ϵ_M (corr.)	σ_B	ϵ_B	ϵ_B (corr.)	h	b	A ₀
n = 5	%	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	2,4	24,1	2,3	2,4	5,108	15,91	81,25
s	0,077	0,495	0,086	0,077	0,02049	0,07635	0,58
v	3,25	2,06	3,69	3,25	0,40	0,48	0,72

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

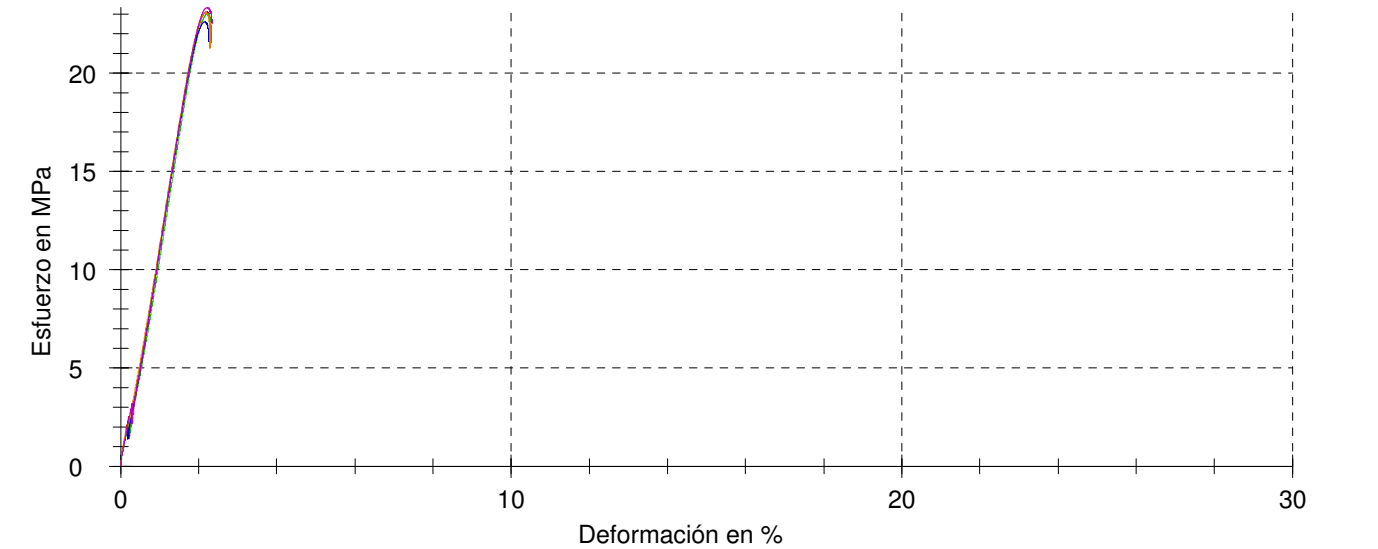
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %	ε _M (corr.) %	σ _B MPa
1	206,92	206,92	0,690	1,904	695	989	1,50	-	-	-	23,1	2,2	2,3	23,1
2	206,92	206,92	0,659	2,410	873	1010	-	-	-	-	23,0	2,2	2,3	23,0
3	206,92	206,92	0,661	2,196	665	997	-	-	-	-	22,6	2,2	2,2	22,6
4	206,92	206,92	0,730	2,560	849	1050	-	-	-	-	23,1	2,2	2,2	23,1
5	206,92	206,92	0,643	2,685	1020	1070	2,27	-	-	-	23,3	2,2	2,2	23,3

Nr	ε _B %	ε _B (corr.) %	h mm	b mm	A ₀ mm²
1	2,2	2,3	5,18	15,92	82,47
2	2,2	2,3	5,11	15,84	80,94
3	2,2	2,2	5,12	16	81,92
4	2,2	2,2	5,12	15,8	80,90
5	2,2	2,2	5,1	15,92	81,19

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº19_InPa_Cu n = 5	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _Y (corr.) %	σ _M MPa	ε _M %
x	206,92	206,92	0,677	2,351	820	1020	1,88	-	-	-	23,0	2,2
s	0,00	0,00	0,034	0,309	144	36,2	0,539	-	-	-	0,265	0,028
v	0,00	0,00	5,05	13,16	17,51	3,54	28,60	-	-	-	1,15	1,27

N°19_InPa_Cu	ϵ_M (corr.)	σ_B	ϵ_B	ϵ_B (corr.)	h	b	A ₀
n = 5	%	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	2,3	23,0	2,2	2,3	5,126	15,9	81,48
s	0,027	0,265	0,028	0,027	0,0313	0,07797	0,69
v	1,21	1,15	1,27	1,21	0,61	0,49	0,84

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

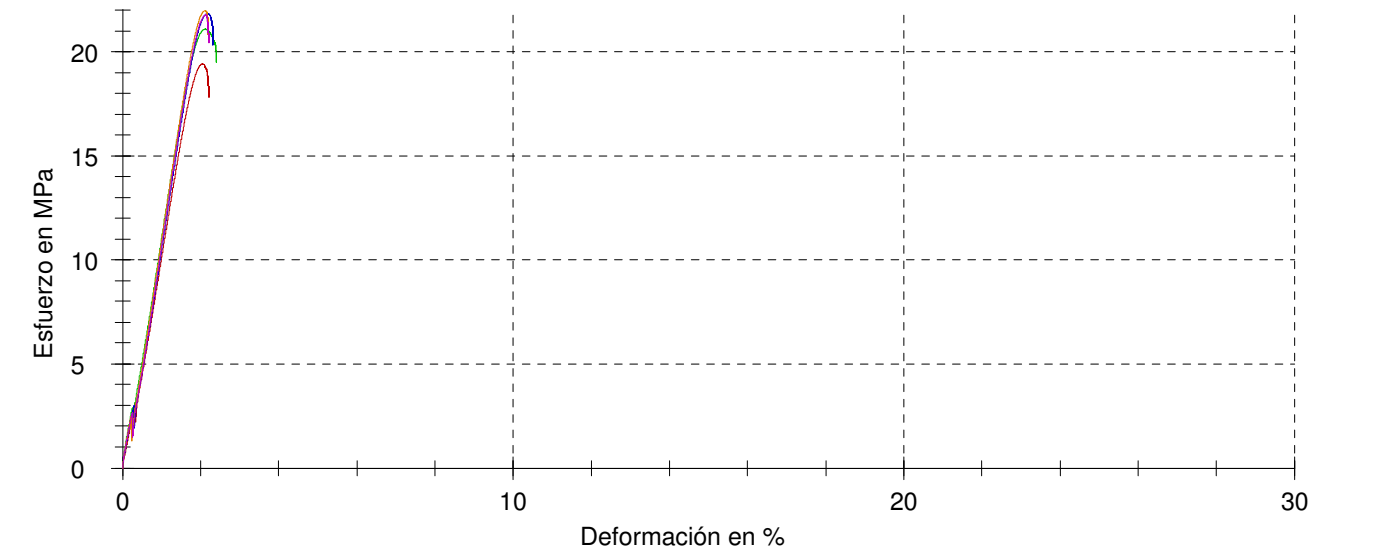
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %	εM (corr.) %	σB MPa
1	206,92	206,92	0,528	2,407	956	1000	2,26	-	-	-	19,4	2,0	2,0	19,4
2	206,92	206,92	0,723	2,842	1050	1070	21,1	-	-	-	21,1	2,1	2,1	21,1
3	206,92	206,92	0,621	2,604	1000	1020	2,18	-	-	-	21,8	2,2	2,2	21,8
4	206,92	206,92	0,713	1,619	683	975	1,52	-	-	-	22,0	2,1	2,2	22,0
5	206,92	206,92	0,686	2,602	972	1030	1,85	-	-	-	21,8	2,1	2,1	21,8

Nr	εB %	εB (corr.) %	h mm	b mm	A0 mm²
1	2,0	2,0	5,2	15,94	82,89
2	2,1	2,1	5,15	15,95	82,14
3	2,2	2,2	5,12	15,82	81,00
4	2,1	2,2	5,13	15,9	81,57
5	2,1	2,1	5,15	15,87	81,73

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº20_InPa_Qt n = 5	L0 Trav mm	L0 mm	σlow MPa	σhigh MPa	Et MPa	ESec MPa	σx1 MPa	σY MPa	εY %	εY (corr.) %	σM MPa	εM %
x	206,92	206,92	0,654	2,415	933	1020	5,77	-	-	-	21,2	2,1
s	0,00	0,00	0,081	0,471	145	33,1	8,55	-	-	-	1,06	0,048
v	0,00	0,00	12,38	19,50	15,51	3,25	148,05	-	-	-	5,01	2,29

N°20_InPa_Qt	ϵ_M (corr.)	σ_B	ϵ_B	ϵ_B (corr.)	h	b	A ₀
n = 5	%	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	2,1	21,2	2,1	2,1	5,15	15,9	81,87
s	0,062	1,06	0,048	0,062	0,03082	0,0532	0,70
v	2,88	5,01	2,29	2,88	0,60	0,33	0,86

Informe de ensayos

Encabezdo : Informe de ensayos

Cliente :

Orden-Nº. :

Norma de ensayo : ASTM D 638

Tipo e identificación :

Material :

Toma de la muestra :

Tipo de probeta :

Pretratamiento :

Analista :

Observación :

Datos máquina :

Velocidad módulo de tracción : 5 mm/min

Velocidad de ensayo : 5 mm/min

Longitud de sujeción en posición de inicio : 206,92 mm

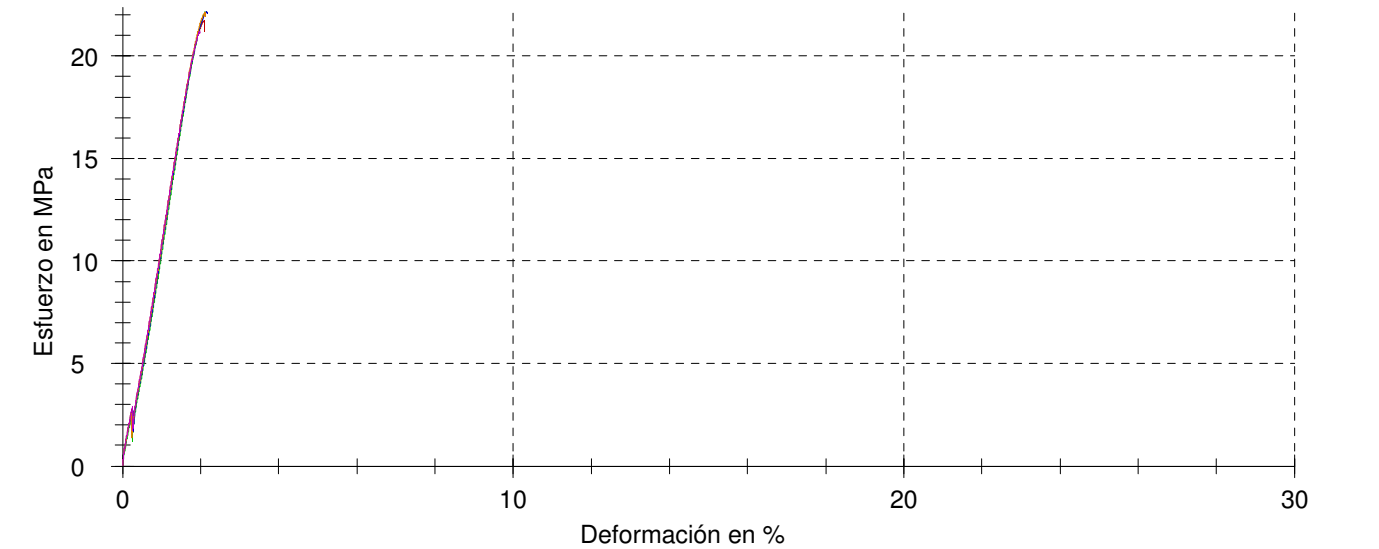
Valor prefijado deformación módulo secante : 1 %

Resultados de ensayo:

Nr	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _{Y (corr.)} %	σ _M MPa	ε _M %	ε _{M (corr.)} %	σ _B MPa
1	206,92	206,92	0,766	2,471	990	1030	1,84	-	-	-	21,7	2,1	2,1	21,7
2	206,92	206,92	0,652	1,945	934	997	1,62	-	-	-	22,2	2,1	2,1	22,2
3	206,92	206,92	0,736	2,678	971	1010	1,99	-	-	-	22,2	2,2	2,2	22,2
4	206,92	206,92	0,734	1,586	779	980	1,62	-	-	-	22,1	2,1	2,2	22,1
5	206,92	206,92	0,754	2,804	1020	1040	1,99	-	-	-	21,2	2,0	2,0	21,2

Nr	ε _B %	ε _{B (corr.)} %	h mm	b mm	A ₀ mm²
1	2,1	2,1	5,15	16,01	82,45
2	2,1	2,1	5,14	15,8	81,21
3	2,2	2,2	5,14	15,89	81,67
4	2,1	2,2	5,14	15,88	81,62
5	2,0	2,0	5,14	15,92	81,83

Gráfico Serie:



Estadística:

Nº21_InPa_Oc	L ₀ Trav mm	L ₀ mm	σ _{low} MPa	σ _{high} MPa	E _t MPa	E _{Sec} MPa	σ _{x1} MPa	σ _Y MPa	ε _Y %	ε _{Y (corr.)} %	σ _M MPa	ε _M %
n = 5	mm	mm	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	MPa	%	%	MPa	%
x	206,92	206,92	0,728	2,297	938	1010	1,82	-	-	-	21,9	2,1
s	0,00	0,00	0,045	0,515	94,2	23,6	0,185	-	-	-	0,418	0,068
v	0,00	0,00	6,14	22,43	10,03	2,34	10,20	-	-	-	1,91	3,25

N°21_InPa_Oc	ϵ_M (corr.)	σ_B	ϵ_B	ϵ_B (corr.)	h	b	A ₀
n = 5	%	MPa	%	%	mm	mm	mm ²
x	2,1	21,9	2,1	2,1	5,142	15,9	81,76
s	0,073	0,418	0,068	0,073	0,004472	0,07583	0,45
v	3,41	1,91	3,25	3,41	0,09	0,48	0,55