



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**PROYECTO TÉCNICO**  
**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO**

**TEMA:**

---

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES PARA LA OBTENCIÓN DE  
PROBETAS EN VERDE A COMPRESIÓN BAJO NORMAS ASTM”**

---

**AUTORA:**

Lilibeth Aracelly Gálvez Albán

**TUTOR:**

Ing. Mg. Segundo Espín

**AMBATO – ECUADOR**

**2019**

## CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del trabajo de graduación, certifico que el presente Proyecto Técnico realizado por el Srta. Lilibeth Aracelly Gálvez Albán, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánica, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito, bajo el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS EN VERDE A COMPRESIÓN BAJO NORMAS ASTM ”

En el presente trabajo de graduación bajo mi tutoría fueron concluidos de manera correcta los 4 capítulos que conforman el proyecto técnico dentro del tiempo establecido según la normativa que rige en la Universidad Técnica de Ambato.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y puede continuar con el trámite pertinente.

En la ciudad de Ambato, al 1 día del mes de julio de 2019.



.....  
Ing. Mg. Segundo Espín

**TUTOR**

## AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO

Yo, Lilibeth Aracelly Gálvez Albán, declaro que los contenidos y los resultados en el presente proyecto técnico, como requerimiento previo para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, son absolutamente originales, auténticos y personales a excepción de las citas, tablas y gráficos de origen bibliográfico.



**Egda. Lilibeth Aracelly Gálvez Albán**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

**Ambato, julio del 2019**

**Autor**



**Lilibeth Aracelly Gálvez Albán**

**CI: 055000495-6**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

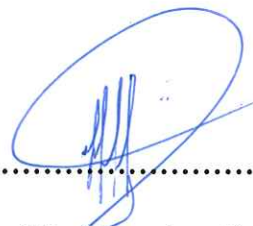
La Comisión de Estudio y Calificación del Informe del Trabajo de Graduación o Titulación modalidad Proyecto Técnico, bajo el tema: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE MOLDES PARA LA OBTENCIÓN DE PROBETAS EN VERDE A COMPRESIÓN BAJO NORMAS ASTM ”, presentada por el Srta. Lilibeth Aracelly Gálvez Albán, egresada de la Carrera de Ingeniería Mecánica, una vez revisada y calificado el proyecto técnico, se APRUEBA en razón de que cumple con los principios básicos técnicos y científicos de investigación reglamentaria.

Por lo tanto, se autoriza la presentación ante los organismos pertinentes

Para constancia firman,



.....  
**Ing. Mg. Christian Castro**



.....  
**Ing. Mg. Francisco Peña**

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico a mi Madre Aracely, a mis hermanos David y Nataly, a mis sobrinos Nicolás y Victoria, por brindarme a diario su amor, su paciencia y permanente comprensión, además de ser mi fuente de motivación e inspiración para superarme.

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar mi agradecimiento va dirigido a Dios, porque mi fe hacia él ha hecho que llegue a cumplir una de mis metas más anheladas.

A mi madre por todo el sacrificio realizado para que hoy el sueño de ambas se haga realidad.

A mis hermanos por regalarme mis pequeños motores de inspiración.

A mi enamorado David por estar siempre pendiente de mí, y sobre todo por brindarme su cariño y compañía incondicional durante toda mi carrera.

A mis primas Solange y Stephy por brindarme momentos de muchas risas a pesar de la distancia y así hacer llevadera cada dificultad.

A mi familia tanto de sangre, como a la que la vida me ha regalado, por aconsejarme y ayudarme desinteresadamente para alcanzar este logro.

Por ultimo a mis amigas por estar siempre junto a mí.

## ÍNDICE

### A.- PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
RESUMEN EJECUTIVO.....	XV
EXECUTIVE SUMMARY.....	XVI



## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
1.1    Antecedentes Investigativos .....	1
1.2    Objetivos .....	2
1.2.1    Objetivo General:.....	2
1.2.2    Objetivos Específicos: .....	2
1.3    Fundamentación Teórica .....	3
1.3.1    Pulvimetalurgia.....	3
1.3.2    Principios Básicos del Proceso de Pulvimetalurgia.....	3
1.3.3    Producción y mezcla de polvo metálico .....	4
1.3.4    Etapas del proceso de Pulvimetalurgia .....	5
1.3.4.1    Obtención del polvo.....	6
1.3.4.2    Dosificación y mezcla de polvo metálico .....	7
1.3.4.3    Compactación de polvos.....	8
1.3.4.4    Sinterización .....	10
1.3.4.5    Cogniciones para elegir la Pulvimetalurgia como proceso.....	11
1.3.5    Alternativas de Prensado .....	11
1.3.5.1    Prensado Isostático .....	11
1.3.6    Consideraciones de diseño en metalurgia de polvos .....	12
1.3.6.1    Sistema de clasificación de piezas.....	12
1.3.6.2    Lineamientos para el diseño de piezas en metalurgia de polvos .....	13
1.3.7    Materiales para punzones y matrices.....	15
1.3.7.1    Presiones de compactado.....	15
1.3.7.2    Sinterización de aleaciones a base de cobre .....	16
1.4    Fundamentos teóricos de cálculos .....	16
1.4.1    Esfuerzo Directo .....	16
1.4.2    Factor de diseño .....	17
1.4.3    Selección de material .....	17
CAPÍTULO II .....	19
2.1.    Materiales .....	19
2.1.1    Selección de material de los punzones de compactación .....	19
2.1.1.2    Aceros para Herramental .....	20
2.2.    Métodos .....	22

2.2.1	Análisis de las probetas a obtener.....	22
2.2.2	Determinación de parámetros y cálculos de diseño.....	22
2.2.2.1	Dimensionamiento de los Moldes de Compactación .....	22
2.2.2.1.1	Medidas de Molde para Ensayo a Tensión .....	22
2.2.2.1.2	Medidas de Molde para Ensayo de Impacto.....	23
2.2.3	Desarrollo y selección de componentes.....	24
2.2.4	Validación de la propuesta final .....	24
2.2.5	Evaluación de los moldes .....	24
2.2.6	Fuerza de compactación por parte de la prensa hidráulica.....	24
2.2.7	Calculo de la Fuerza de la Prensa Hidráulica para los moldes.....	25
2.2.7.1	Presión de la Prensa Hidráulica para compactar Molde de probetas para ensayo de Tensión.....	25
2.2.7.2	Presión de la Prensa Hidráulica para compactar Molde de probetas para ensayo de Impacto .....	26
2.2.8	Calculo para compactar probetas de diferentes materiales.....	26
2.2.9	Factor de seguridad de los punzones de los Moldes.....	27
2.2.9.1	Factor de Seguridad para el Punzón del Molde de Tensión .....	27
2.2.9.2	Factor de Seguridad para el Punzón del Molde de Impacto .....	27
2.2.10	Cálculo de la cantidad de polvo para cada Molde .....	27
2.2.10.1	Probeta para Ensayo de Tensión sin Mecanizar .....	27
2.2.10.2	Probeta para Ensayo de Impacto y Tensión con mecanizado.....	29
2.3	Organigrama .....	33
CAPÍTULO III .....		35
3.1	Análisis de resistencia de los moldes y componentes .....	35
3.1.1.1	Placa Superior junto con Punzón.....	35
3.1.1.2	Placa Base .....	36
3.1.1.3	Placa hembra.....	38
3.1.1.4	Marco de placa hembra.....	39
3.1.2.1	Placa superior junto con punzón.....	40
3.1.2.2	Placa Base .....	42
3.1.2.3	Marco de Placa hembra .....	43
3.1.2.4	Placa hembra.....	44
3.2	Resultados de los análisis .....	46
3.3	Ensayos para la obtención de las probetas .....	46
3.3.1	Obtención de Probetas .....	46

3.4	Dimensiones de las probetas obtenidas y modo de extracción .....	47
3.5	Denominación de materiales de los moldes .....	48
3.5.1	Molde para probetas de Ensayo a Tensión.....	48
3.5.2	Molde para probetas de Ensayo de Impacto.....	48
3.6	Presiones aplicadas en la compactación .....	49
3.7	Cantidad de Polvo para compactar en los moldes.....	49
CAPÍTULO IV.....		50
4.1	Conclusiones .....	50
4.2	Recomendaciones .....	51

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Temperaturas típicas de sinterización y tiempo.....	10
Tabla 2. Presiones de compactado para principales polvos metálicos [12]. .....	15
Tabla 3. Propiedades mecánicas del Acero AISI-SAE D3 (K100) [16]......	19
Tabla 4. Tipos de Acero para Herramientas [17]......	21
Tabla 5. Dimensiones de Probeta [19]. .....	23
Tabla 6. Dimensiones de Probeta.....	24
Tabla 7. Presión mínima de compactado en una prensa hidráulica de diámetro de 20.5 cm.....	26
Tabla 8. Presupuesto molde para probetas de ensayo a Tensión .....	32
Tabla 9. Presupuesto molde para probetas de ensayo de Impacto .....	33
Tabla 10. Costos de polvos metálicos .....	33
Tabla 11. Resultados de análisis de los moldes .....	46
Tabla 12. Resultado de obtención de probetas con polvo bueno .....	46
Tabla 13. Resultado de obtención de probetas con polvo malo.....	47
Tabla 14. Partes del molde para probetas de Ensayo a Tensión .....	48
Tabla 15. Partes del molde para probetas de Ensayo a Tensión .....	49
Tabla 16. Presiones aplicadas en la compactación de polvo de bronce .....	49
Tabla 17. Cantidad de polvo para compactar polvo de bronce .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. (a) a (d) Figuras frecuentes de los recipientes para combinar polvos [5]....	5
Figura 2. Proceso de Pulvimetalurgia [6].....	6
Figura 3. Pulvimetalurgia convencional – Diagrama de flujo del proceso. [6] .....	6
Figura 4. Varias formas posibles (ideales) de partícula en metalurgia de polvos [7].	7
Figura 5. Etapas del procedimiento de la compactación de polvos metálicos; ,1 llenado de la matriz; 2, compresión; 3, expulsión de la pieza en verde [8]......	8
Figura 6. Curva de compresibilidad de distintos tipos de polvos [8].....	9
Figura 7. Mecanismos de la difusión en la sinterización [10]. .....	10
Figura 8. Cuatro clases de piezas en metalurgia de polvos (vista lateral, la sección transversal es circular): a) Clase I, formas delgadas simples que se pueden presionar en una dirección; b) clase II, formas simples pero más gruesas que requieren presión en dos direcciones; c) clase III, dos niveles de espesor presionados en dos direcciones, y d) clase IV, múltiples niveles de espesor presionados en dos direcciones, con controles separados para cada nivel a fin de lograr una densificación apropiada a través de la compactación [7]. .....	13
Figura 9. a) Perforaciones laterales y b) muescas laterales [7]. .....	14
Figura 10. a) perforaciones verticales ocultas y abiertas, b) perforaciones verticales abocardadas y c) muescas en dirección vertical [7]. .....	14
Figura 11. a) Entre perforaciones o b) entre una perforación [7].....	14
Figura 12. Probetas para ensayo a tensión [19]. .....	23
Figura 13. Probeta para ensayo de impacto [19].....	24
Figura 14. Polvo pesado en balanza. ....	29
Figura 15. Placas atornilladas .....	30
Figura 16. Molde compactado en la prensa hidráulica .....	30
Figura 17. Aplicación de la carga .....	30
Figura 18. Probeta compactada .....	31
Figura 19. Probeta expulsada .....	31
Figura 20. Probetas Finales .....	31
Figura 21. Esfuerzo de Von Mises del molde en el punzón .....	35
Figura 22. Desplazamiento del punzón trabajando en conjunto con la placa sufridera y placa superior. ....	35
Figura 23. Deformación unitaria equivalente.....	36

Figura 24. Factor de Seguridad en el Punzón .....	36
Figura 25. Esfuerzo de Von Mises de la placa base.....	36
Figura 26. Desplazamiento resultante .....	37
Figura 27. Deformación unitaria equivalente.....	37
Figura 28. Factor de Seguridad de la placa base.....	37
Figura 29. Esfuerzo de Von Mises de la placa hembra.....	38
Figura 30. Desplazamiento resultante .....	38
Figura 31. Deformación unitaria equivalente.....	38
Figura 32. Factor de Seguridad de la placa hembra .....	39
Figura 33. Esfuerzo de Von Mises del marco de la placa hembra.....	39
Figura 34. Desplazamiento resultante .....	39
Figura 35. Deformación unitaria equivalente.....	40
Figura 36. Factor de Seguridad del marco de la placa hembra .....	40
Figura 37. Esfuerzo de Von Mises del molde en el punzón .....	40
Figura 38. Desplazamiento del punzón trabajando en conjunto con la placa sufridera y placa superior. ....	41
Figura 39. Deformación unitaria equivalente.....	41
Figura 40. Factor de Seguridad en el Punzón .....	41
Figura 41. Esfuerzo de Von Mises de la placa base.....	42
Figura 42. Desplazamiento resultante .....	42
Figura 43. Deformación unitaria equivalente.....	42
Figura 44. Factor de Seguridad de la placa base .....	43
Figura 45. Esfuerzo de Von Mises del marco de la placa hembra.....	43
Figura 46. Desplazamiento resultante .....	43
Figura 47. Deformación unitaria equivalente.....	44
Figura 48. Factor de Seguridad del marco de la placa hembra .....	44
Figura 49. Esfuerzo de Von Mises de la placa hembra.....	44
Figura 50. Desplazamiento resultante .....	45
Figura 51. Deformación unitaria equivalente.....	45
Figura 52. Factor de Seguridad de la placa hembra .....	45
Figura 53. (a)Vista frontal del molde; (b) Vista Lateral del molde .....	48
Figura 54. (a)Vista frontal del molde; (b) Vista Lateral del molde .....	48

## RESUMEN EJECUTIVO

El presente documento trata del diseño y construcción de moldes para la obtención de probetas en verde a compresión bajo normas ASTM, por lo que se realizó el diseño de los moldes respetando las medidas detalladas en las normas, posteriormente se seleccionó un material de trabajo que para este proyecto fue un acero AISI D3 conocido comercialmente acero K100, que por su composición química en el análisis realizado en un software de diseño (von misses y factor de seguridad) cumplió con lo requerido. En el caso de los punzones, al ser la parte que más sufre durante el proceso de compactación se realizó un análisis matemático. Luego se procedió al mecanizado de cada una de las partes que conforman los moldes, donde para la elaboración de la placa-hembra se utilizó una cortadora de electroerosión por hilo, para tener una mejor exactitud en las medidas de los moldes fabricados. En cuanto a lo que se refiere el proceso de compactado del polvo metálico se utilizó una prensa hidráulica con un diámetro de embolo de 20.5 cm, lo que nos permitió dar una presión de compactado de 1000 PSI, obteniendo probetas para ensayos de tensión con espesores de 3.56 y 6.35 mm dentro de la tolerancia de  $\pm 0.13$  y probetas para ensayos de impacto con espesores de 10 mm con una tolerancia de  $\pm 0.10$ . El molde que menos dificultad presentó fue el de las probetas para ensayo de tensión ya que su geometría presenta varios radios, que mejoran el proceso. Como lubricante se utilizó vaselina, pues es considerada como un lubricante natural y no afectaría la composición química del polvo compactado. Las cantidades de polvo calculadas inicialmente para poner en cada molde pueden variar al momento de obtener las probetas, debido a que se pierde un poco de material al momento de colocar el polvo en la cavidad de los moldes como en el caso de las probetas de tensión se pesó una cantidad de 17.5 g para probetas de espesor de 3.56 mm y 31.5 mm para probetas de 6.35 mm en donde después de ser compactadas tuvieron una variación de 0.3 g con respecto a la cantidad inicial, y para las probetas para ensayos de impacto la cantidad del polvo fue de 54 g, por lo que después de la compactación obtuvo un peso de 53.5 g.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes Investigativos

El diseño de moldes para la compactación de materiales debe cumplir con especificaciones de acuerdo a las normativas ASTM, ya que estas se usan en investigaciones, proyectos de desarrollo, sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos a nivel mundial.

Los estudios previos relacionados con los materiales son los siguientes:

Lucana Dante elaboró su proyecto de investigación titulado “DISEÑO DE UN MOLDE PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS DE MATERIALES COMPUESTOS DE MATRIZ PLÁSTICA Y REFUERZOS DE FIBRAS NATURALES MEDIANTE COMPRESIÓN TÉRMICA”, basado en los requerimientos que establece la norma internacional ASTM 1037 - 06a. El procedimiento metodológico adoptado para este trabajo ha sido, en primer lugar, el análisis individual de las propiedades mecánicas y físicas de los elementos constituyentes de la probeta y su comportamiento bajo las condiciones de procesamiento, cumpliendo las dimensiones y tolerancias de la norma internacional [1].

Así también Alencastro Byron desarrollo su proyecto de titulación el cual consistió en la elaboración de un “MOLDE PERMANENTE PARA PROBETAS DE ALEACIONES DE ALUMINIO APLICANDO LA NORMA ASTM B-108”, determinando de manera analítica los parámetros de fundición adecuados como son temperatura del molde, temperatura del metal, tiempo de llenado y tiempo de solidificación; finalizando con el diseño del molde en software CAD en el cual se pudo analizar la geometría de la pieza a fabricar, además de cumplir los requisitos dimensionales establecidos por la norma y consideraciones de diseño para fundición, como son ángulos de desmoldeo, tolerancias a la contracción para aleaciones de aluminio y selección del plano de partición [2].

En cuanto a tesis elaboradas dentro de la universidad está la de Castro Henry quien presentó su proyecto técnico con el tema “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN



MOLDE PARA COMPACTACIÓN DE PULVIMETALURGIA PARA LA ELABORACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICA”, para lo cual se tomó en consideración dos parámetros fundamentales, que las probetas que se obtienen en el molde sean de fácil extracción por lo cual el molde es desmontable y el otro es como se puede obtener la mejor compactación de los polvos metálicos seleccionando el acero AISI H13 para la elaboración de sus moldes ya que es un material para trabajos en caliente [3].

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General:**

Diseñar y construir moldes para la obtención de probetas en verde a compresión bajo normas ASTM.

### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

- Determinar las dimensiones específicas de las probetas de material sinterizado bajo las normas ASTM E8 y E23.

Este objetivo planteado se lo cumplirá al determinar las medidas que deben alcanzar las probetas después de ser compactadas según lo que establece las normas, considerando las tolerancias adecuadas para cada caso.

- Diseñar los moldes para la obtención de probetas en verde bajo normas ASTM E8 y E23.

El diseño de los moldes constara de planos que contengan las medias, tolerancias y material de cada una de las piezas que conforman los moldes.

- Analizar las propiedades de resistencia mecánica que deben mantener los moldes para su trabajo continuo.

Este punto se logrará mediante un software de diseño que nos permita analizar las partes de los moldes que puede sufrir una deformación durante el proceso de compactación considerando las propiedades del material y la presión a la cual se compactara.

- Fabricar los moldes diseñados mediante un proceso de mecanizado asistido por computador para poder alcanzar la precisión dimensional requerida.

Para la elaboración de las partes de los moldes se utilizara una cortadora de electroerosión de hilo, un torno y fresadora CNC.

- Evaluar los moldes fabricados mediante la obtención de probetas en verde para los ensayos a tensión e impacto.

Se realizará varias prácticas con polvo de bronce para obtener probetas en verdes y después con los datos recaudados realizar una tabla de resumen de los resultados.

### **1.3 Fundamentación Teórica**

#### **1.3.1 Pulvimetalurgia**

La metalurgia de polvos se ocupa de la producción de polvos metálicos y de convertirlos en formas útiles. Es una técnica de procesamiento de materiales en la que los materiales particulados se consolidan en productos semiacabados y terminados. Hoy en día, las técnicas de metalurgia de polvos se utilizan cada vez más para proporcionar propiedades excepcionales que se requieren en industrias aeronáuticas, electrónicas y de energía nuclear altamente sofisticadas. El proceso de pulvimetalurgia minimiza o elimina el mecanizado, y las pérdidas de chatarra. A su vez ofrece economía, ahorro de energía y materias primas junto con la producción en masa de componentes de precisión de calidad [4].

#### **1.3.2 Principios Básicos del Proceso de Pulvimetalurgia**

El proceso tradicional de pulvimetalurgia consiste en mezclar los polvos metálicos y otros componentes seguidos de la compactación para producir el tamaño y la forma deseados. El compacto verde se sinteriza luego calentando a temperaturas elevadas, preferiblemente por debajo del punto de fusión del constituyente principal para obtener un producto de la densidad de la estructura y las propiedades deseadas. Las dos etapas de compactación y sinterización se combinan en un solo paso en el prensado en caliente. Los polvos también se pueden laminar continuamente y sinterizar para producir tiras y otros productos planos o se pueden forjar para obtener componentes de acabado de alta resistencia. Algunas de las limitaciones de la compactación y sinterización de la matriz en el proceso tradicional de pulvimetalurgia pueden

superarse con la compactación isostática recientemente desarrollada y los métodos de compactación isostática en caliente. Este último método es cada vez más importante para la fabricación de materiales sofisticados y avanzados [4].

### **Ventajas**

- La pérdida de materia prima es mínima
- La composición química debe tener un control estricto
- Se eliminan las operaciones de mecanizado
- Se obtiene buenas tolerancias dimensionales
- Homogeneidad estructural y de propiedades
- Acabado superficial excelente.
- La energía tiene un uso más eficiente
- Fácil automatización

### **Desventajas**

- Imposibilita el proceso posterior de soldadura, debido al deterioro de las propiedades físicas y la porosidad de la pieza.
- Las piezas que se realicen pueden ser de tamaño y formato limitado.
- Elevado costo de las herramientas.

### **1.3.3 Producción y mezcla de polvo metálico**

Lo que producirá un polvo metálico depende de su composición y características físicas. Las composiciones más utilizadas son los polvos a base de cobre y a base de hierro; latón, acero para piezas estructurales, y bronce para rodamientos. Otros de importancia, aunque en cantidades menores, son el acero inoxidable, el aluminio, el níquel, el estaño, el tungsteno, el circonio, el grafito de durabilidad, los óxidos y carburos metálicos.

La combinación de los polvos se lo realiza con las siguientes intenciones:

- Se mezcla polvos de diferentes metales con el objetivo de suministrar propiedades y características físicas y mecánicas especiales al producto de la P/M. También se pueden producir combinaciones de metales aleándolos antes de elaborar un polvo.

Una mezcla adecuada puede garantizar la uniformidad de las propiedades mecánicas en toda la pieza creada.

- A pesar de que en ensayos se use el mismo material los polvos pueden variar en tamaño y forma, por lo que se le mezcla para obtener igualdad en la pieza. En teoría se puede decir que una combinación ideal es aquella en la que todas las partículas de cada material se distribuyen de forma similar.
- Para reducir la fricción entre partículas metálicas se pueden mezclar lubricantes con los polvos para mejorar sus características de flujo, y así de esta manera mejorar la vida de la matriz. Por lo común se usan los lubricantes esteárico o estearato de zinc en una proporción de 0.25% a 5% en peso.
- Se utilizan otros aditivos: aglutinantes (como en los moldes de arena) para desarrollar suficiente resistencia en verde (crudo) y también se pueden usar aditivos para facilitar el sinterizado [5].

Para evitar el deterioro de la matriz los polvos deben efectuarse en condiciones controladas, ya que en caso de mezclado excesivo puede alterar la forma de las partículas y hacer que se endurezcan por trabajo dificultando las operaciones que vienen después el compactado. Los polvos se pueden mezclar en aire, en atmósferas inertes (para evitar la oxidación) o en líquidos (que actúan como lubricantes y hacen que la mezcla sea más uniforme). Existen diversos tipos de equipo de mezclado, como se puede apreciar en la figura 1.

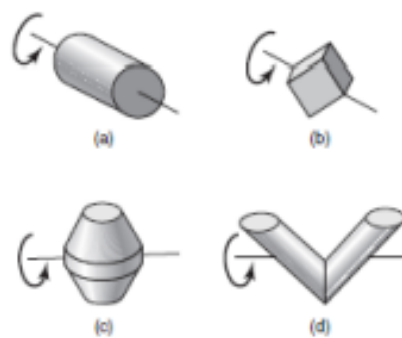


Figura 1. (a) a (d) Figuras frecuentes de los recipientes para combinar polvos [5].

#### 1.3.4 Etapas del proceso de Pulvimetalurgia

El prensado de polvos en moldes de metal es la base de la tecnología de la metalurgia de polvos, para de esta manera poder consolidar por calentamiento controlado algunas

piezas. Un buen acabado superficial, propiedades mecánicas controladas y debidas composiciones químicas son el resultado del producto que se obtienen de este proceso. El proceso de la pulvimetalurgia maneja cuatro etapas básicas: la obtención, la mezcla, compactación y sinterización de polvos, como puede observarse en la figura 2 y 3 [6].

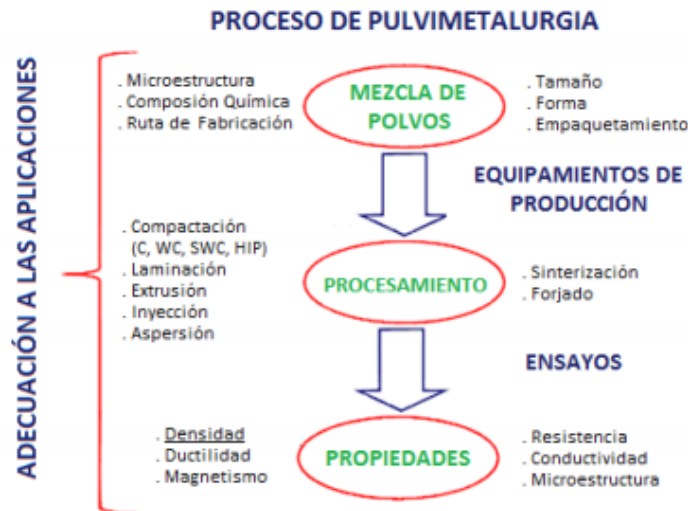


Figura 2. Proceso de Pulvimetalurgia [6].



Figura 3. Pulvimetalurgia convencional – Diagrama de flujo del proceso. [6]

### 1.3.4.1 Obtención del polvo

Las características del polvo inicial son las que van a determinar la evolución del proceso. Por lo general con polvos elementales o compuestos como polvos prealeados, carburos, óxidos, intermetálicos, entre otros.

La forma de los polvos individuales se puede definir mediante los siguientes atributos:

**Tamaño de las partículas y su distribución:** Cuando las partículas sean esféricas es recomendable un solo tamaño, para otras formas se necesitan dos o más dimensiones. Existen varios métodos para obtener los tamaños de las partículas. La más utilizada usa tamices de diferentes medidas para sus mallas. Se usa el término número de malla para referirse al número de aberturas por pulgada lineal. En consecuencia, un número alto de malla indica menor tamaño de partícula. Los tamaños típicos de las partículas que se utilizan en la metalurgia de polvos convencional (comprimido y sinterizado) varían entre 25 y 300  $\mu\text{m}$  (0.001 y 0.012 in).

**Forma y estructura interna de las partículas:** La forma de los polvos metálicos pueden ser de varios tipos; algunos de ellos se muestran en la figura 4. Hay que tener en cuenta que cualquier volumen de polvos sueltos contendrá poros entre las partículas. Se los conoce como *poros abiertos* porque son externos a las partículas, es decir son espacios dentro de los cuales puede penetrar un fluido, como agua, aceite o un metal fundido. También existen *poros cerrados*, que son vacío internos que por lo general son mínimos y sus efectos al existir son menores, aunque en ocasiones puede influir en las medidas de la densidad [7].



Figura 4. Varias formas posibles (ideales) de partícula en metalurgia de polvos [7].

#### 1.3.4.2 Dosificación y mezcla de polvo metálico

Para poder realizar una correcta dosificación y preparación de los polvos se toma en cuenta algunas especificaciones:

- Distribuir de manera uniforme el polvo en la matriz para obtener una uniformidad en la pieza a realizar.

- En el caso de querer adquirir una pieza con mejores propiedades físicas y mecánicas es necesario la mezcla de algunos polvos metálicos y aditivos.
- Para mejorar la fricción y el movimiento de las partículas es necesario utilizar algunos lubricantes, que entre los más típicos son: el ácido esteárico o el estearato de zinc.

### 1.3.4.3 Compactación de polvos

Es una etapa de la pulvimetalurgia o metalurgia de polvos que consiste en dar forma y consistencia a la masa de polvo para su manipulación, empezando en la extracción de la matriz hasta el paso por el horno de sinterización. Prácticamente lo que realizan es aplicar presión a la masa de polvo colocada en una matriz que es el negativo de la forma acabada. Las etapas del procedimiento de la compactación de polvos metálicos se lo realizan mediante 3 fases como se puede observar en la figura 5.

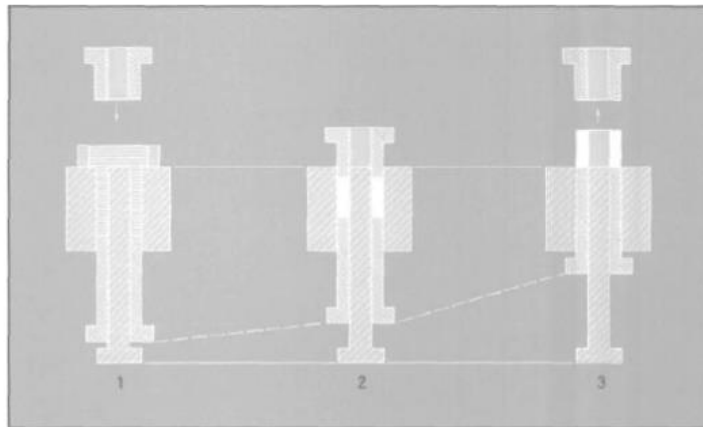


Figura 5. Etapas del procedimiento de la compactación de polvos metálicos; 1, llenado de la matriz; 2, compresión; 3, expulsión de la pieza en verde [8].

Al aplicar una presión se reduce la porosidad y al mismo tiempo se aumenta la adherencia entre partículas y el número de puntos de contacto. Cuando se ejecuta el prensado, las partículas se aplanan más o menos, según sea su blandura. En una masa formada por polvo, la soldadura puede ocurrir en los puntos de contacto a medida que se eleva la temperatura.

Según el tipo de polvo utilizado, varía la presión a aplicar. Por este motivo es necesario saber la *compresibilidad* de una masa de polvo., es decir, la densidad adquirida al aplicar cierta presión, para ayuda nos podemos basar en la curva de compresibilidad que se muestra en la figura 6 [8].

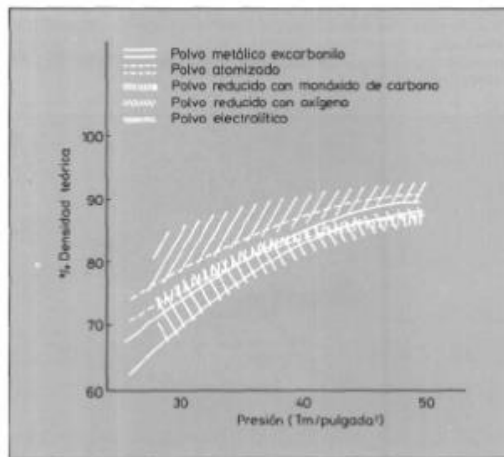


Figura 6. Curva de compresibilidad de distintos tipos de polvos [8].

El prensado en matriz es un método sencillo de compactación que consta de tres etapas:

- a) Llenado de la matriz con el polvo
- b) Movimiento de uno o dos punzones para ejercer presión sobre el material.
- c) Retirada del punzón superior y extracción de la pieza.

Estas son algunas de las ventajas e inconvenientes de la utilización de este proceso.

### Ventajas

- Al utilizar la cantidad de material requerido se obtiene un gran ahorro de materia prima.
- Acabado superficial de muy buena calidad.
- Se disminuye la contaminación.
- Se logra controlar la porosidad de la pieza fabricada
- Se evita las operaciones de mecanizado
- Elevada precisión.

### Inconvenientes

- La etapa de extracción es delicada, ya que dependiendo de la geometría de la pieza está puede doblarse o romperse.
- Los polvos son costosos.
- En algunas piezas si se necesita un mecanizado posterior.
- Se requiere de elevadas presiones para conseguir altos valores de densidad.
- El precio del diseño y construcción es elevado [9].



### 1.3.4.4 Sinterización

Después de la compactación mediante presión, la pieza adquirida resulta frágil debido al débil enlace entre partículas. Para remediarlo se recurre a la sinterización, que consiste en calentar la masa de polvo a una temperatura inferior a su punto de fusión (temperatura de sinterizado,  $T_sK = 2/3$  a  $4/5$  de la temperatura de fusión,  $T_fK$ ) durante el tiempo suficiente para que las partículas se suelden y el componente resultante, muchas veces poroso, adquiera resistencia mecánica. Este proceso de sinterización logra aumentar el débil enlace interparticular, en el cual las propiedades del sistema evolucionan y se libera energía existente en la masa de polvo como se puede apreciar en la figura 7 [10].

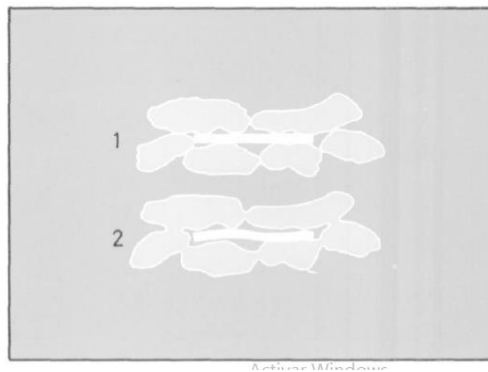


Figura 7. Mecanismos de la difusión en la sinterización [10].

Durante la sinterización ocurren: a) cambios químicos, b) cambios dimensionales, c) se rebaja las tensiones internas, d) cambios de fase y e) se alean.

Las temperaturas típicas de sinterización para principales metales lo podemos encontrar en la tabla 1, procedente de uno de los libros más utilizados por el ingeniero mecánico que es el Metal Handbook.

Tabla 1. Temperaturas típicas de sinterización y tiempo

Material	Temperatura		Tiempo
	°C	°F	Min
Bronce	760-870	1400-1600	10-20
Cobre	840-900	1550-1650	12-45
Latón	840-900	1550-1650	10-45
Acero	1010-1150	1850-2100	30-45
Níquel	1010-1150	1850-2100	30-45

Fuente: Metal Handbook. *Powder metal technologies and applications ASM*. Volumen 7.

### **1.3.4.5 Cogniciones para elegir la Pulvimetalurgia como proceso**

#### **Económica**

- Utiliza más del 97% de la materia prima original en la pieza final.
- El componente sinterizado es de calidad comparable a un componente fundido o que se ha elaborado mecánicamente, además de ser mucho más barato.
- Se tiene piezas de acabado superficial excelente con un solo proceso de manufactura.
- Para producir piezas con formas diversas se podrían generar grandes producciones y automatizar los mismos.

#### **Mecánicas**

- Comparada con otros procesos de manufactura mecánica la resistencia es igual o mayor.
- Se pueden realizar conjuntos de piezas sinterizadas con composiciones diferentes.
- Se puede obtener materiales refractarios con alto punto de fusión que no se alcanzarían con otros procesos.
- Nos permite tener varias combinaciones de elementos químicos (aleaciones).

#### **Ecológicas:**

- Reduce en un 18% su impacto en las reacciones foto oxidante.
- Reduce la influencia sobre la toxicidad ambiental en un 70%.
- Fácil reciclaje
- Con respecto a otros procesos convencionales supera el impacto ambiental con una considerable influencia.
- En comparación con los procesos tradicionales su uso eficiente de materia prima es mayor al 97% [11].

### **1.3.5 Alternativas de Prensado**

#### **1.3.5.1 Prensado Isostático**

Es un tipo de prensado convencional, en la que la presión se aplica uniaxialmente. Ya que los polvos metálicos no fluyen fácilmente en dirección perpendicular a la aplicación de la presión, este método presenta algunas limitaciones. Produce también

variaciones de densidad en la compactación, después del prensado. En el *prensado isostático*, la presión se aplica en todas direcciones contra los polvos contenidos en el molde flexible; para lograr la compactación se usa presión hidráulica. Este tipo de prensados se puede realizar en frío o caliente [12].

- *Prensado isostático en frío*: Este tipo de compactado se lo realiza en temperatura ambiente. Se usa agua o aceite para ejercer presión hidrostática. Las ventajas que se presentan en este proceso son: densidad uniforme, herramienta menos costosa y mayor aplicación a corridas cortas de producción. Se requiere operaciones de formado y acabado antes o después del sinterizado, para obtener las dimensiones requeridas.
- *Prensado isostático caliente*: Se lo realiza a alta presión y temperatura, usa para comprimir gas que puede ser argón o helio. Los moldes se los realiza con lámina de metal para resistir altas temperaturas. En el mismo proceso se genera el prensado y la sinterización. Una de sus desventajas es el de ser relativamente costoso. Su mayor aplicación se encuentra en la industria aeroespacial. Se caracteriza por su alta densidad (porosidad cercana a cero).

### **1.3.6 Consideraciones de diseño en metalurgia de polvos**

En esta sección se intenta definir las características más relevantes para lo que es el diseño y producción de piezas por medio de este proceso.

#### **1.3.6.1 Sistema de clasificación de piezas**

La Metal Powder Industries Federation (MPIF) define cuatro clases de diseño de piezas de metalurgia de polvos, dependiendo de la dificultad en el prensado convencional. El sistema nos ayuda a identificar las limitaciones que se debe tener en la forma de los moldes de compactación, como se puede ver en la figura 8 [12].

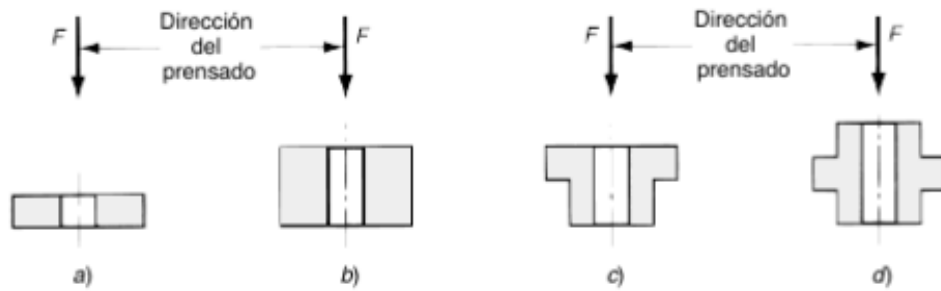


Figura 8. Cuatro clases de piezas en metalurgia de polvos (vista lateral, la sección transversal es circular): a) Clase I, formas delgadas simples que se pueden presionar en una dirección; b) clase II, formas simples pero más gruesas que requieren presión en dos direcciones; c) clase III, dos niveles de espesor presionados en dos direcciones, y d) clase IV, múltiples niveles de espesor presionados en dos direcciones, con controles separados para cada nivel a fin de lograr una densificación apropiada a través de la compactación [7].

### 1.3.6.2 Lineamientos para el diseño de piezas en metalurgia de polvos

- La forma de la pieza debe permitir su remoción del troquel después del prensado.
- Debe evitarse características de diseño como muescas y perforaciones laterales como se muestra en la figura 9. Son permisibles las muescas y perforaciones verticales, como las de la figura 10. Las perforaciones verticales pueden hacerse de sección transversal no redonda (por ejemplo, cuadradas o estriadas) sin aumentar significativamente las herramientas o las dificultades de procesamiento.
- No se puede fabricar las cuerdas roscadas en metalurgia de polvos, si se necesitan deben maquinarse una vez la pieza ya sea tratada.
- El espesor de la pared debe tener un mínimo de 1.5 mm (0.060 in) entre dos perforaciones o entre una perforación y la pared exterior de la pieza, como se indica en la figura 9. El diámetro mínimo recomendado de la perforación es de 1.5 mm (0.060 in).

Las formas que deben evitarse en el diseño de moldes para compactar polvos metálicos lo podemos observar en la figura 9, ya que en caso de la remoción de la pieza será de manera dificultosa.

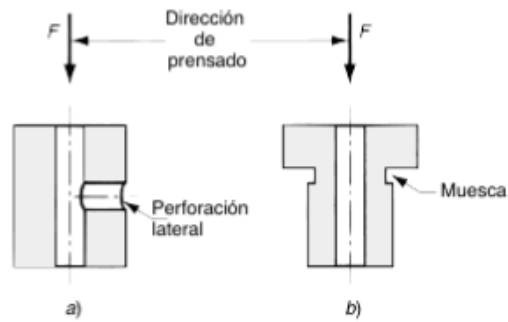


Figura 9. a) Perforaciones laterales y b) muescas laterales [7].

Las formas permisibles de las piezas en metalurgia de polvos, las podemos apreciar en la figura 10, esto nos permite una fácil remoción de la pieza creada.

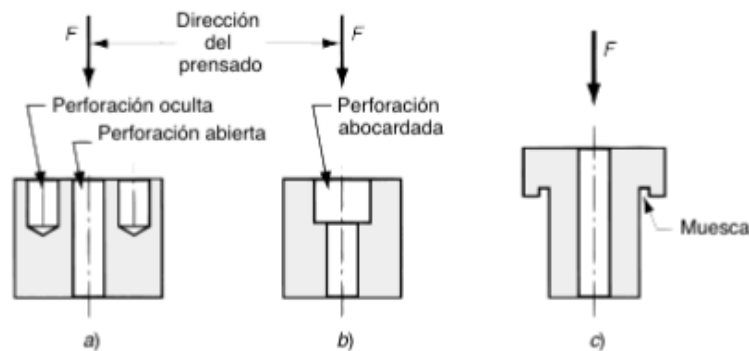


Figura 10. a) perforaciones verticales ocultas y abiertas, b) perforaciones verticales abocardadas y c) muescas en dirección vertical [7].

El espesor mínimo recomendado para las paredes entre perforaciones o entre una perforación y la pared exterior debe ser 1.5 mm (0.060 in) como se muestra en la figura 11.

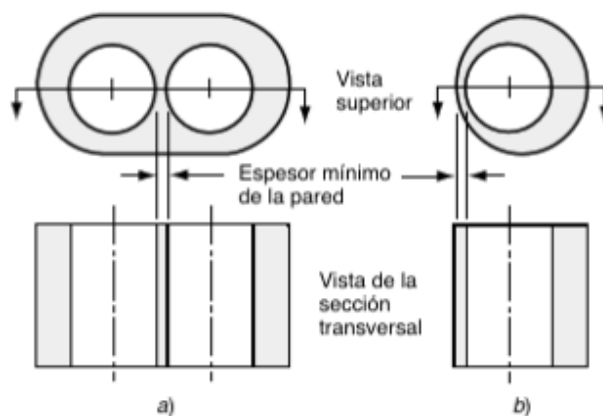


Figura 11. a) Entre perforaciones o b) entre una perforación [7].

### 1.3.7 Materiales para punzones y matrices

El desarrollo de la manufactura moderna también está relacionado con los materiales. La diversificación de los productos y los altos volúmenes de producción exigen, de modo invariable, la diversidad en los materiales utilizados. Por otra parte, el perfeccionamiento de materiales nuevos y mejores. Exigen procesos de manufactura más complejos. Cuando se crearon aleaciones especiales para satisfacer las necesidades de una industria, el ordenamiento personal, los procesos tradicionales de manufactura no se puede utilizar para un proceso eficiente con estas aleaciones. Existe una relación directa entre los tipos de materiales utilizados y los procesos de manufactura requeridos para elaborar un producto para una función específica [11].

#### 1.3.7.1 Presiones de compactado

Es la presión de permanencia para producir una fuerza "verde" que permite el manejo después de la compactación y la densidad máxima si la densidad es máxima (como a diferencia de las partes porosas) intencionadamente deseadas, se determinan por tipo de metal y polvo. Típicamente, presiones en exceso. Se requieren de 200 MPa (30 ksi) para el proceso. Los rangos aplicables de presiones de permanencia para una variedad de metales en polvo son las que se presentan en la tabla 2 [12]:

Tabla 2. Presiones de compactado para principales polvos metálicos [12].

<b>Metal</b>	<b>Presión [MPa]</b>
Aluminio	[70 - 275]
Latón	[400 - 700]
Bronce	[200 - 275]
Hierro	[350 - 700]
Tantalio	[70 - 140]
Tungsteno	[70 - 140]
<b>Otros materiales</b>	
Óxido de Aluminio	[110 - 140]
Carbono	[140 - 165]
Carburos Cementados	[140 - 400]
Ferritas	[110 - 165]

Para la compactación isostática, se requieren presiones bajas debido a la ausencia de efectos de fricción de la pared de la matriz. La presión CIP (Cold Isostatic Pressure) nominal para un polvo metálico también es sustancialmente independiente del tamaño de la pieza, nuevamente debido a la naturaleza isostática del proceso [12].

### 1.3.7.2 Sinterización de aleaciones a base de cobre

Para la elaboración de este proyecto se realizará unos moldes para compactar polvo de bronce el mismo que se puede producir a partir de mezclas de polvo de cobre y polvo de estaño o de un polvo de bronce de estaño prealeado. La composición nominal de 90Cu-10Sn puede complementarse con otros constituyentes como lubricantes orgánicos secos, grafito, plomo y hierro, según el grado especificado [13].

#### Tiempo de sinterización y temperatura para polvo de Bronce

Las temperaturas típicas del horno para la sinterización de bronce está en un rango de 815 a 860 °C (1500 a 1580 °F); el tiempo total de sinterización dentro de los rangos de la zona caliente, es de 15 a 30 min, dependiendo de la temperatura seleccionada del horno, el cambio dimensional requerido, y lo más importante, la presencia de una estructura óptima de grano alfa [13].

## 1.4 Fundamentos teóricos de cálculos

Para establecer los criterios de bosquejo más recomendados para el diseño de los moldes para compactación de polvo metálico se deben calcular las siguientes teorías que nos permite certificar la funcionabilidad de las matrices diseñadas. También a su vez podamos representar el comportamiento de los moldes para que trabajen sin sufrir daño estructural. Para el análisis y cálculo de las partes que componen las matrices se deben estudiar los siguientes conocimientos [14]:

### 1.4.1 Esfuerzo Directo

Según Shigley para el cálculo de un esfuerzo que ocurre en una parte, por lo general como resultado de ser ensamblada y después recibir una carga se lo calcula con la ecuación 1:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

$\sigma$  = Esfuerzo normal directo a tensión o compresión

$F$  = Fuerza a tensión o compresión

$A$  = Área de la sección transversal sometido a una fuerza

Para que se pueda cumplir este concepto se deben dar las siguientes características:

- El lingote debe ser recto y de material homogéneo.
- La línea de acción de la fuerza pase por el centroide de la sección.
- La sección se tome lo suficientemente alejada de los extremos y de cualquier discontinuidad o cambio abrupto en la sección transversal.

#### **1.4.2 Factor de diseño**

Para Shigley un enfoque general del problema que puede presentar un elemento mecánico durante su ciclo de trabajo se lo puede calcular mediante la ecuación de factor de diseño, que nos permite asegurar que el elemento sometido a una carga no falle, para lo que aplicamos la ecuación 2 [14]:

$$n = \frac{S_y}{\sigma} \quad [\text{Ec. 2}]$$

Donde:

$n$  = Factor de diseño

$S_y$  = Resistencia a la cedencia del material

$\sigma$  = Esfuerzo de diseño al que está sometido el elemento

#### **1.4.3 Selección de material**

La selección de materiales se encuentra en el punto crucial del proceso de diseño de ingeniería. La necesidad de elevar los atributos (tanto estructurales como no estructurales) de un material, ha conducido a la evolución de los materiales de ingeniería.

Los ingenieros de diseño emplean diferentes enfoques para la selección de materiales, como realizar una selección basada en clase para los requisitos de diseño y luego reducir la búsqueda a una variación que se adapte mejor al diseño. Otro enfoque para la selección de materiales es finalizar primero el proceso de fabricación y luego elegir un material que pueda cumplir con el proceso seleccionado y también justificar los requisitos de diseño.



Para esto existe el esquema de selección de materiales elaborado por M.F. Ashby, que mediante la representación en dos dimensiones de los rangos lineales de cada propiedad del material forman elipses o burbujas las que permiten tener un criterio de selección tomando en consideración el módulo de Young (E) y la densidad ( $\rho$ ) del elemento para utilizar un criterio que se denomina “Diseño de masa mínima”. Para la selección de materiales en el proceso de diseño se debe considerar la medida de desempeño del elemento estructural (P), el éxito de la selección de materiales depende de la maximización o minimización de este factor. Los criterios que reúne el factor (P) son: requerimientos funcionales, parámetros geométricos del diseño y propiedades de los materiales, siendo el último criterio el que permite obtener un valor idóneo de desempeño del elemento estructural para lo que se emplea la ecuación 2.1. Así [15]:

$$P = [(F)(G)(M)] \quad \text{[Ec. 3]}$$

Donde:

P = Medida de desempeño del elemento estructural.

F = Requerimientos funcionales.

G = Requerimientos geométricos del diseño.

M = Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

Para lograr la maximización o minimización de P, se debe seleccionar un valor ideal para el factor (M), que se conoce con el nombre de coeficiente de eficiencia del material seleccionado para garantizar la validez de la selección realizada y determinar con exactitud las características del material seleccionado [15].

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Materiales

##### 2.1.1 Selección de material de los punzones de compactación

El material seleccionado es el acero AISI D3, ya que las piezas hechas con este acero llegan a tener muy alta resistencia al desgaste u poco movimiento dimensional al tratamiento térmico. Es muy usado en herramientas para trabajos en frío.

Las propiedades mecánicas que posee este acero cumple lo que nos establece la norma ASTM B925-03, que la dureza del acero utilizado para construir este elemento este en el rango [60-62] HRC ya que la dureza de este tipo de acero de grado herramienta está comprendido en el rango de [56-66] HRC después de un tratamiento térmico de Temple y Revenido [16].

Las propiedades mecánicas del Acero AISI-SAE D3 se pueden ver en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades mecánicas del Acero AISI-SAE D3 (K100) [16].

<b>Acero AISI – SAE D3</b>				
<b>Composición química (%)</b>				
Carbono [C]	2,0 – 2,35			
Manganeso [Mn]	0,25 – 0,45			
Fósforo [P]	0,04 máx.			
Azufre [S]	0,04 máx.			
Cromo [Cr]	11,0 – 13,0			
Vanadio [V]	1,0 máx.			
Tungsteno [W]	1,0 máx.			
<b>Tratamiento térmico</b>				
<b>Tratamiento</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Enfriamiento</b>	<b>Dureza</b>	
			<b>HRC</b>	<b>HBN</b>
Recocido	870 – 900 °C	Horno	-	255 máx.
Temple	925 – 980 °C	Aire/Sales	66 máx.	770 máx.
Revenido	200 – 540 °C	-	56 - 62	-
<b>Características</b>		<b>Aplicaciones</b>		
Elevada dureza superficial. Elevada resistencia al desgaste. Contenido alto de carbono y cromo. Elevada resistencia a la compresión. Elevada templabilidad. Elevada estabilidad dimensional.		Herramientas de corte. Herramientas de cizallado. Herramientas de punzonado. Fresas, brocas, buriles. Rodillos de formado. Dados de extracción.		

Tabla 3. Continuación

<b>Propiedades Físicas</b>	
Expansión Térmica	$10 * e^{-6}/K$
Conductividad Térmica	$25W/m * K$
Calor específico	$460J/Kg * K$
Temperatura de Fusión	$[1450-1510] °C$
Densidad	$7700 Kg/m^3$
Resistividad	$0.55\Omega * mm^2/m$
<b>Propiedades Mecánicas</b>	
Módulo de Elasticidad	$[190 - 210]GPa$
Módulo de Poisson	$[0,27-0.3]$
Resistencia a la Tracción	$[650-880] MPa$
Elongación	$[8-25]\%$
Resistencia a la Fatiga	$275 MPa$
Límite Elástico	$[350-650] MPa$
Resistencia ultima a la cedencia	$1410 Mpa$

### 2.1.1.2 Aceros para Herramental

Los aceros que se usan para herramientas son los que se utilizan comúnmente para elementos de corte. Las características de este tipo de aceros son:

- Elevada resistencia al desgaste.
- Elevada dureza superficial.
- Gran estabilidad dimensional.
- Alta resistencia a la compresión y templabilidad.
- Su principal aplicación es en el campo de la ingeniería de manufactura [17].

Los tipos de acero más comunes de aceros para herramienta según sus principales elementos de aleación y especificación AISI o UNS lo podemos observar en la tabla 4.

Tabla 4. Tipos de Acero para Herramientas [17].

		Tipos específicos	Ejemplo		
Tipo General	Símbolo del tipo	Principales elementos de aleación	Núm. AISI	Núm. UNS	Usos típicos y aleaciones comunes
Alta velocidad	M	Molibdeno	M2 M10 M42	T11302 T11310 T11342	Herramientas de corte y forja, extracción, doblado, estirado y penetrado. (M1, M3, M4-M7, M30, M34, M36, M41-M47). Semejantes a los de tipo M (T2, T4, T5, T6, T8).
	T	Tungsteno	T1 T15	T12001 T12015	
Trabajo en caliente	H	Cromo	H10	T20810	Matrices en frío, cuchillas cortantes, partes de aviones, para extracción a baja temperatura y colado a presión (H1-H19). Cuchillas corte en caliente (H20-H39). Aplicaciones de gran desgaste. (H40-H59).
		Tungsteno	H21	T20821	
		Molibdeno	H42	T20842	
Trabajo en frío	D	Alto carbono Alto cromo	D2	T30402	Matrices de estampado, punzones y calibradores (D3, D5 y D7). Matrices para colado a presión, dados de terraja (A3-A10).  Machuelos, brochas, calibradores, porta piezas, bujes, etc. (O2, O6 y O7).
	A	Medio carbono	A2	T30102	
	O	Temple al aire Temple al aceite	O1	T31501	
Resistentes al choque	S		S1	T41901	Piezas sometidas a choque, trabajo pesado (S2, S4-S7).
Aceros moldeados	P		P2	T51602	Matrices de moldeo de plásticos y de colocado de zinc a presión (P3-P6, P20 Y P21).
Uso especial	L	Tipos con baja aleación	L2	T61202	Para piezas y máquinas de gran tenacidad (L3, L6). Igual al tipo L, mayor resistencia a la abrasión (F2).
	F	Tipos al Carbono - Tungsteno	F1	T60601	

## **2.2. Métodos**

La metodología de trabajo para la fabricación del molde para la extracción de probetas en verde de material sinterizado se muestra a continuación [18]:

1. Análisis de las probetas a obtener.
2. Determinación de los parámetros y cálculos de diseño.
3. Desarrollo y selección de componentes
4. Validación de la propuesta final
5. Evaluación de los moldes.

De acuerdo a la metodología establecida anteriormente se desglosa y desarrolla de la siguiente manera:

### **2.2.1 Análisis de las probetas a obtener.**

Para el desarrollo del proyecto, se identificarán las normas a utilizar para tener los parámetros que necesitan cumplir las probetas que se elaborarán en los distintos moldes como son las normas ASTM E8 y E23.

### **2.2.2 Determinación de parámetros y cálculos de diseño**

#### **2.2.2.1 Dimensionamiento de los Moldes de Compactación**

Se tomó como referencia al Anexo I de la norma ASTM B925-03 donde se detalla las medidas, ajustes, tolerancias y acabado superficial que debe tener el dado de compactación.

##### **2.2.2.1.1 Medidas de Molde para Ensayo a Tensión**

El espécimen de prueba de tensión plana no mecanizado que se muestra en la figura 12, se denomina comúnmente en la industria "el hueso de perro". Se compacta directamente al tamaño y la forma utilizando herramientas de compactación como moldes. Esta muestra de prueba ha sido diseñada para tener una conveniente área de presión de 1.00 in<sup>2</sup> (645.2 mm<sup>2</sup>) para simplificar los cálculos de compactación. De acuerdo con la norma ASTM E8 las dimensiones de las probetas deben ser las siguientes [19]:

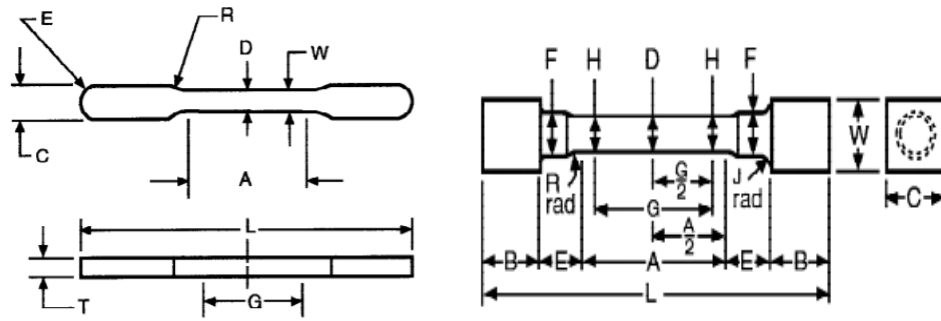


Figura 12. Probetas para ensayo a tensión [19].

Tabla 5. Dimensiones de Probeta [19].

	in	mm
G – Longitud Calibrada	$1.000 \pm 0.003$	$25.40 \pm 0.08$
L – Longitudinal Total	3.53	89.7
C – Ancho de la sección de agarre	0.34	8.6
E – Radio Final	$C/2$	$C/2$
W – Ancho de sección Reducida	0.235	5.97
D – Ancho en el centro	0.225	5.72
A - Longitud de la sección Reducida	1.25	31.8
R – Radio de filete	1.00	25.4
T- Espesor	0.140 a 0.25	3.56 a 6.35

Las dimensiones L y T hacen referencia a la longitud y espesor de la muestra siendo las dimensiones 89.7 mm y 3.56-6.35 mm  $\pm 0.13$  mm respectivamente.

### 2.2.2.1.2 Medidas de Molde para Ensayo de Impacto

Este espécimen de prueba de impacto P / M, que se muestra en la figura. 13, se produce compactando y sinterizando a la forma y dimensiones de la barra de prueba Izod estándar.

La práctica estándar de la industria para las especificaciones de materiales P / M es informar la energía de impacto Izod como energía de impacto sin entalla. Se determina en una prueba de impacto Izod (viga en voladizo) utilizando una máquina de impacto de péndulo de un solo golpe. La dirección de ataque es de 90 grados con respecto a la dirección de compactación original. (Si por otros motivos, la muestra de prueba de Izod se va a probar en una muesca, se debe probar el método de prueba E 23, para conocer las especificaciones de los tipos de muescas y los procedimientos de prueba para las barras con muescas) [19].

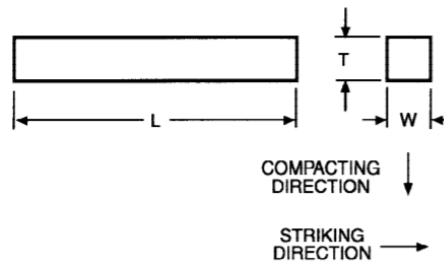


Figura 13. Probeta para ensayo de impacto [19].

Tabla 6. Dimensiones de Probeta [19].

	In	mm
L - Longitud Total	2.95	75.0
W - Ancho	$0.394 \pm 0.005$	$10.00 \pm 0.13$
T - Espesor	$0.394 \pm 0.005$	$10.00 \pm 0.13$

### 2.2.3 Desarrollo y selección de componentes

Los modelos de los moldes se desarrollaron en software CAD que permitieron su diseño tridimensional de tal manera que permita desglosar los componentes de cada uno.

### 2.2.4 Validación de la propuesta final

Mediante la simulación de un software se pudo determinar la factibilidad de las alternativas que mostraron mejor su desempeño al momento de trabajar y extraer las probetas en verde de material sinterizado (ver Anexo VI).

### 2.2.5 Evaluación de los moldes

El polvo metálico a utilizar fue bronce. La obtención del polvo metálico se lo realizó por un proceso de mecanizado por lo que se pretendió reducir el material a virutas las cuales posteriormente se procedió hacerles polvo (ver Anexo V).

La forma de compactación de las probetas se dió dependiendo a las especificaciones de las diferentes normas mediante la aplicación de presión. El proceso se concluyó al obtener las probetas aplicando su respectiva presión de compactación en los 2 tipos de moldes (ver Anexo IX, X) [20].

### 2.2.6 Fuerza de compactación por parte de la prensa hidráulica

Mediante las investigaciones realizadas se determinó que la presión de compactación máxima necesaria para la elaboración de probetas de polvo metálico de bronce es de

300 Mpa, por lo que para poder conocer el valor de la presión de compactación en PSI del elemento hidráulico en los moldes, se realizó una regla básica de tres, de esta manera:

$$1 \text{ Pa} \text{ -----} > 0,000145038 \text{ PSI}$$

$$300 \times 10^6 \text{ Pa} \text{ -----} > X$$

$$X = 43511.32 \text{ PSI}$$

Por lo que para obtener la fuerza que debe generar el elemento hidráulico que se usó para compactar el polvo metálico se multiplicó el valor de 43511.32 PSI por el área de la probetas con mayor dimensión que es la de impacto con un valor de 1.145 in<sup>2</sup>.

$$F = 43511.32 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} * 1.145 \text{ in}^2$$

$$F = 49820.46 \text{ lb}$$

$$F = 22598.18 \text{ kg}$$

$$F = 22.60 \text{ Tn} \approx 23 \text{ Tn}$$

## 2.2.7 Cálculo de la Fuerza de la Prensa Hidráulica para los moldes

Utilizando la ecuación 1, descrita en el capítulo anterior, obtenemos que:

$$F = P \times A_{\text{cilindro-embolo}}$$

El diámetro de la prensa utilizada para la compactación de molde es de 8 in que es igual a 20.5 cm, dato que nos permitirá calcular la presión de la prensa sobre el molde.

### 2.2.7.1 Presión de la Prensa Hidráulica para compactar Molde de probetas para ensayo de Tensión

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{23000 \text{ Kg}}{\frac{(20.5 \text{ cm})^2 * \pi}{4}}$$



$$P = 69.68 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$P = 991 \text{ PSI} \approx 1000 \text{ PSI}$$

### 2.2.7.2 Presión de la Prensa Hidráulica para compactar Molde de probetas para ensayo de Impacto

$$P = \frac{F}{A}$$

$$P = \frac{23000 \text{ Kg}}{\frac{(20.5 \text{ cm})^2 * \pi}{4}}$$

$$P = 69.68 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$P = 991 \text{ PSI} \approx 1000 \text{ PSI}$$

La presión de compactación que se utilizó en la prensa hidráulica sobre los moldes fue de 1000 PSI.

### 2.2.8 Calculo para compactar probetas de diferentes materiales

Tabla 7. Presión mínima de compactado en una prensa hidráulica de diámetro de 20.5 cm

<b>Metal</b>	<b>Presión [PSI]</b>
Aluminio	[227 - 892]
Latón	[1300 - 2273]
Bronce	[650 - 892]
Cobre	[400 - 700]
Hierro	[1140 - 2273]
Tantalio	[227 - 455]
Tungsteno	[227 - 455]
<b>Otros materiales</b>	
Óxido de Aluminio	[357 - 455]
Carbono	[455 - 536]
Carburos Cementados	[455 - 1300]
Ferritas	[357 - 536]

Fuente: La autora

### 2.2.9 Factor de seguridad de los punzones de los Moldes

En ingeniería el factor de seguridad se usa para certificar contra condiciones inciertas o desconocida. En algunos casos están prescritos en códigos pero en la mayoría de las veces es mejor calcularlo por medio de la siguiente ecuación que nos presenta el libro de Shigley:

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$

El valor de  $S_y$  para un acero K100 es igual a 1410 Mpa, revisar tabla 3.

El valor a considerar es el esfuerzo al que se podría someter el molde, es decir los 700 Mpa, siendo este valor la mayor compresión que puede sufrir un polvo metálico como el latón.

#### 2.2.9.1 Factor de Seguridad para el Punzón del Molde de Tensión

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$
$$n = \frac{1410 \text{ Mpa}}{700 \text{ Mpa}}$$
$$n = 2.014$$

Se dice que cuando  $n > 1$  el elemento que se esté diseñando es seguro.

#### 2.2.9.2 Factor de Seguridad para el Punzón del Molde de Impacto

$$n = \frac{S_y}{\sigma}$$
$$n = \frac{1410 \text{ Mpa}}{700 \text{ Mpa}}$$
$$n = 2.014$$

### 2.2.10 Cálculo de la cantidad de polvo para cada Molde

#### 2.2.10.1 Probeta para Ensayo de Tensión sin Mecanizar

Material: Bronce

Densidad: 5.2 g/cm<sup>3</sup>

Relación de compresión: 2.2

Área:  $6.42 \text{ cm}^2$

- Para un espesor de  $e = 3.56 \text{ mm}$

$$V = A * e$$

$$V = (6.42 \text{ cm}^2) * (0.356 \text{ cm})$$

$$V = 2.286 \text{ cm}^3$$

Entonces:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Donde:

$\delta$  = Densidad

$m$  = Masa

$V$  = Volumen

$$m = \delta * V$$

$$m = 5.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 2.286 \text{ cm}^3 * 2.2$$

$$\mathbf{m = 26.34 \text{ g}}$$

- Para un espesor de  $e = 6.35 \text{ mm}$

$$V = A * e$$

$$V = (6.42 \text{ cm}^2) * (0.635 \text{ cm})$$

$$V = 4.077 \text{ cm}^3$$

Entonces:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Donde:

$\delta$  = Densidad

$m$  = Masa

$V$  = Volumen

$$m = \delta * V$$

$$m = 5.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 4.077 \text{ cm}^3 * 2.2$$

$$\mathbf{m = 46.63 \text{ g}}$$

### 2.2.10.2 Probeta para Ensayo de Impacto y Tensión con mecanizado

Material: Bronce

Densidad: 5.2 g/cm<sup>3</sup> (N.Krivij)

Relación de compresión: 2.2 (Metal Handbook V7)

Área: 7.39 cm<sup>2</sup>

$$V = A * e$$

$$V = (7.39 \text{ cm}^2) * (1 \text{ cm})$$

$$V = 7.39 \text{ cm}^3$$

Entonces:

$$\delta = \frac{m}{V}$$

Donde:

$\delta$  = Densidad

$m$  = Masa

$V$  = Volumen

$$m = \delta * V$$

$$m = 5.2 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} * 7.39 \text{ cm}^3 * 2.2$$

$$m = 84.54 \text{ g}$$

Los gramos de masa calculada son una referencia para poder medir el peso que se necesita para la compactación dependiendo del molde y el espesor que se necesite adquirir en las probetas.

### 2.2.11 Procedimiento

1. Pesar el polvo necesario de acuerdo al espesor que se quiera adquirir la probeta.



Figura 14. Polvo pesado en balanza.  
Fuente: La autora

2. Se debe atornillar la placa base con la placa hembra, ajustando de manera moderada el tornillo hexagonal para de manera posterior ubicar el polvo dentro del canal (ver Anexo VIII).



Figura 15. Placas atornilladas  
Fuente: La autora

3. Ingresar el molde a la prensa hidráulica verticalmente y centrado para que la carga se aplique uniformemente tanto en el placa inferior como en la placa superior.



Figura 16. Molde compactado en la prensa hidráulica  
Fuente: La autora

4. Esperar que se aplique la fuerza necesaria para su compactación total de acuerdo al material que se esté ensayando.



Figura 17. Aplicación de la carga  
Fuente: La autora

5. Para la extracción de la probeta final se debe retirar completamente los pernos y levantar con mucho cuidado la tapa superior del molde, para esto posee el molde unas guías que facilita el proceso de retirar la tapa. Una vez retirado todo se debe retirar la placa del medio de la placa base, para después ubicar de nuevo la placa hembra encima de placa base que por producto de la compresión queda en su interior la probeta compactada.



Figura 18. Probeta compactada  
Fuente: La autora

6. Seguido con el mismo punzón se debe producir un poco de presión para que esta caiga en el canal de la placa base y así obtener la probeta final.



Figura 19. Probeta expulsada  
Fuente: La autora

7. Después se procede a medir y pesar las probetas (ver Anexo VII).

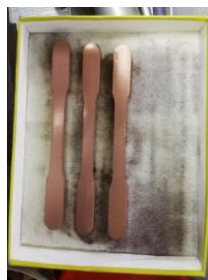


Figura 20. Probetas Finales  
Fuente: La autora

### 2.2.12 Dimensiones y material del molde

El molde para probetas de ensayo a tensión consta de 6 partes (ver Anexo III) realizadas en acero K100 o en especificación AISI como acero D3, para lo que se utilizó una cortadora por electroerosión de hilo, misma que nos permitió alcanzar en una placa de 14 mm de espesor las dimensiones de la geometría necesaria para la probeta que en rasgos generales mide una longitud de 89 mm y 8.6 mm de ancho, esta placa está unida mediante pernos hexagonales de 1/4 (ver Anexo VIII) a una placa base de un espesor de 24 mm, que en su medio tiene un canal de 8 mm de profundidad el cual sirve para extraer ahí la probeta compactada, para juntar el molde con la placa superior que sujeta el punzón, se usan unas guías de 10 mm de diámetro, para de esta manera asegurar que el punzón será dirigido de la mejor manera dentro de la placa hembra.

El molde para probetas de ensayo de impacto se construyó de 6 piezas (ver Anexo IV) al igual que el anterior, pero por necesidad de alcanzar un espesor mayor en la probeta, la placa hembra es de 30 mm de espesor que en su medio con la ayuda de una maquina cortadora de hilo se realizó una perforación rectangular de 75 mm longitud y 10 mm de ancho. Las placas se unen con pernos de 1/4 con cabeza hexagonal, y su funcionalidad es similar al del molde anterior. Vale recalcar que todos los elementos fueron realizados un tratamiento térmico para alcanzar la dureza deseada en el material.

### 2.2.13 Presupuesto

Tabla 8. Presupuesto molde para probetas de ensayo a Tensión

MOLDE – NORMA E8	
Costo de materiales	\$ 120
Mecanizado	\$ 150
Mecanizado Convencional (Rectificado y mano de obra)	\$ 150
Tratamiento Térmico	\$ 75
Rectificado de los punzones	\$ 40
Costo Total	\$ 535

Fuente: La autora

Tabla 9. Presupuesto molde para probetas de ensayo de Impacto

MOLDE NORMA E23	
Costo de materiales	\$ 120
Mecanizado	\$ 150
Mecanizado Convencional (Rectificado y mano de obra)	\$ 150
Tratamiento Térmico	\$ 75
Rectificado de los punzones	\$ 40
Costo Total	\$ 535

Fuente: La autora

Tabla 10. Costos de polvos metálicos

POLVOS METÁLICOS	
Obtención del bronce (material)	\$ 80
Imprevistos	\$ 40
Costo Total	\$ 120

Fuente: La autora

Costo total del proyecto:

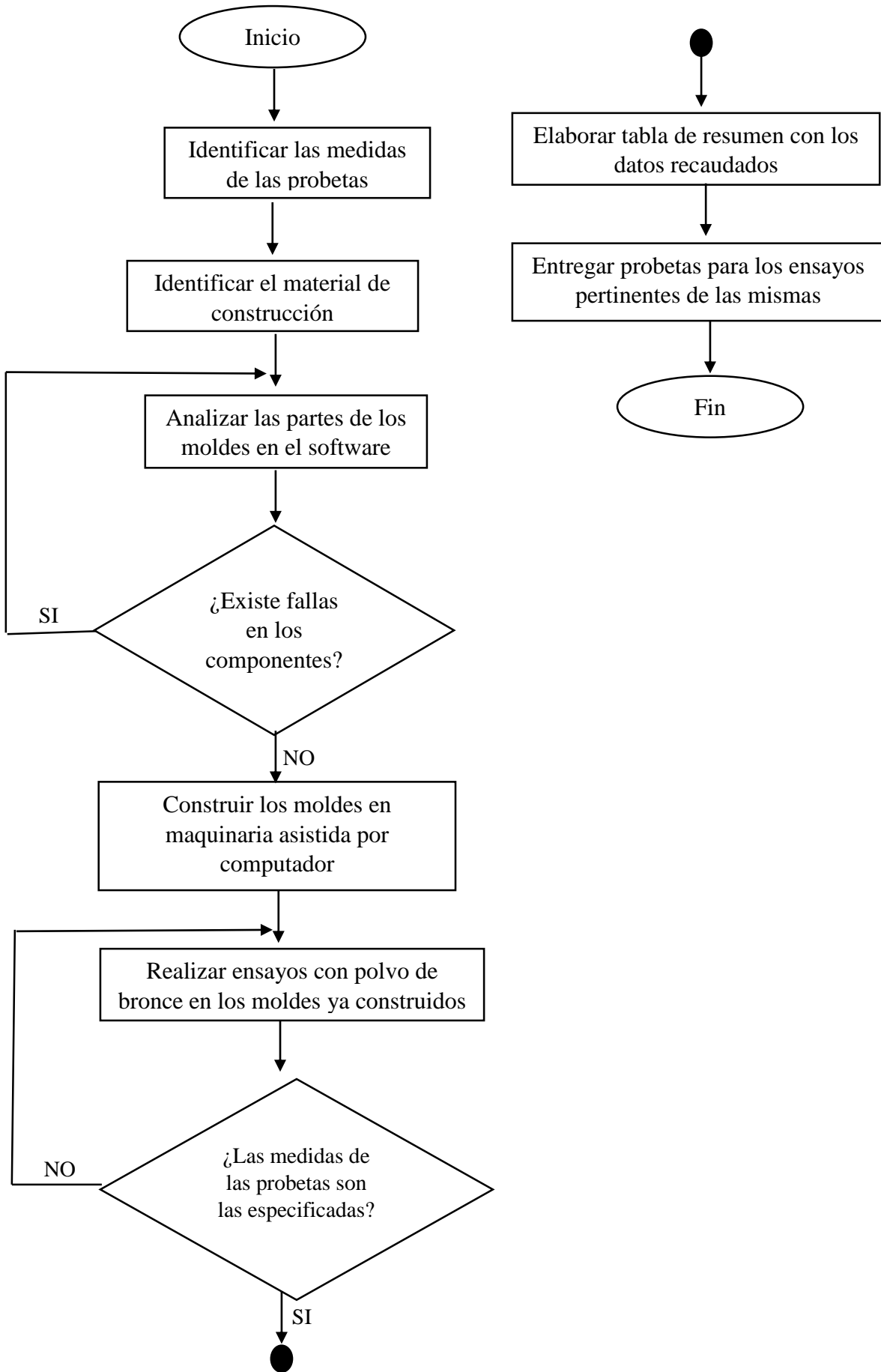
$$CT = C. molde 1 + C. molde 2 + C. polvos metálicos$$

$$CT = 535 + 535 + 120$$

$$CT = 1.190 USD$$

### 2.3 Organigrama





## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis de resistencia de los moldes y componentes

Para verificar la resistencia de los materiales se realizó un análisis estático del molde con todos sus componentes y considerando una presión máxima de 2000 PSI en caso que se llegase a usar la presión de compactación máxima de los polvos metálicos que es 700 Mpa.

##### 3.1.1 Molde para probetas de Ensayo a Tensión

Los resultados obtenidos en el análisis estático son los siguientes:

###### 3.1.1.1 Placa Superior junto con Punzón

- Tensiones (Von Mises)

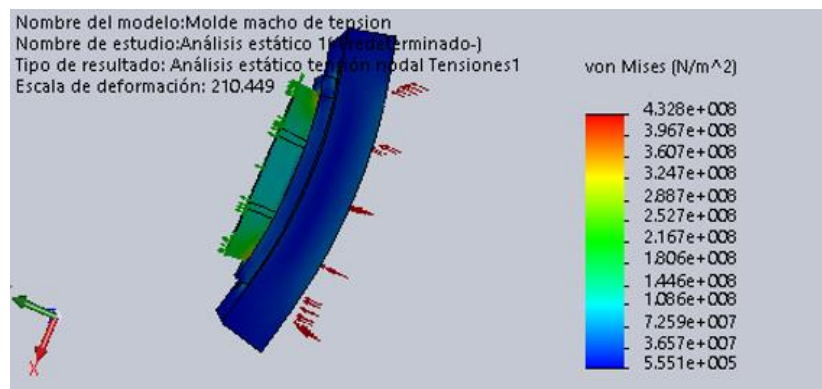


Figura 21. Esfuerzo de Von Mises del molde en el punzón  
Fuente: La autora

- Desplazamiento resultante

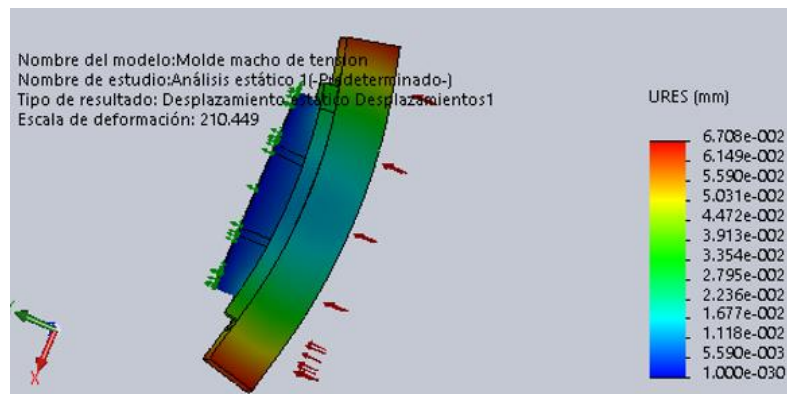


Figura 22. Desplazamiento del punzón trabajando en conjunto con la placa sufridera y placa superior.  
Fuente: La autora

- **Deformaciones unitarias**

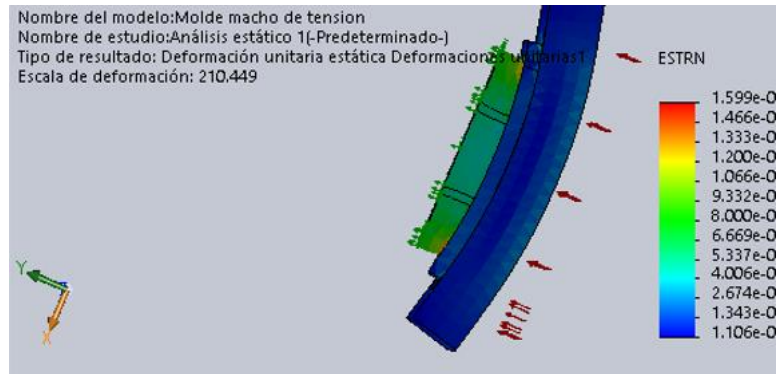


Figura 23. Deformación unitaria equivalente  
 Fuente: La autora

- **Factor de seguridad punzón**

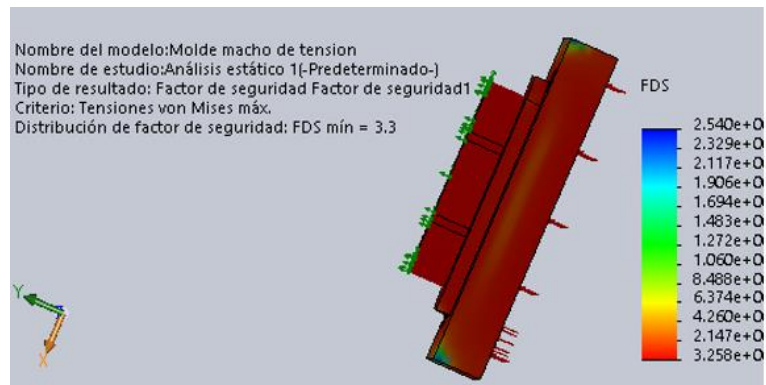


Figura 24. Factor de Seguridad en el Punzón  
 Fuente: La autora

### 3.1.1.2 Placa Base

- **Tensiones (Von Mises)**

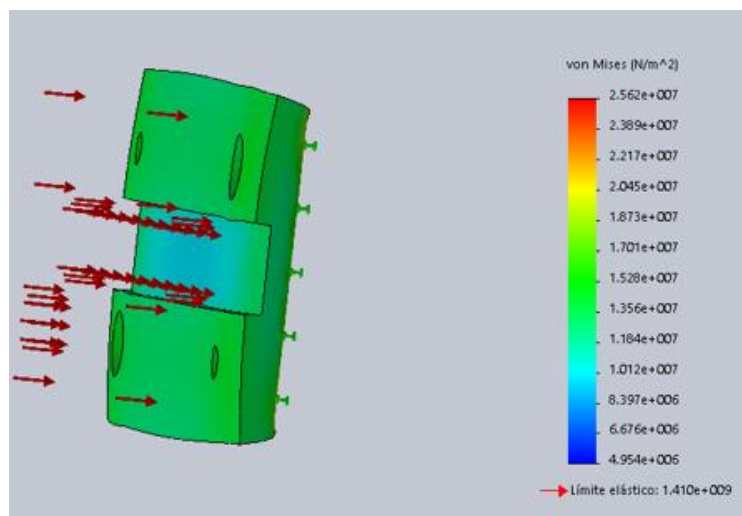


Figura 25. Esfuerzo de Von Mises de la placa base  
 Fuente: La autora

- **Desplazamiento resultante**

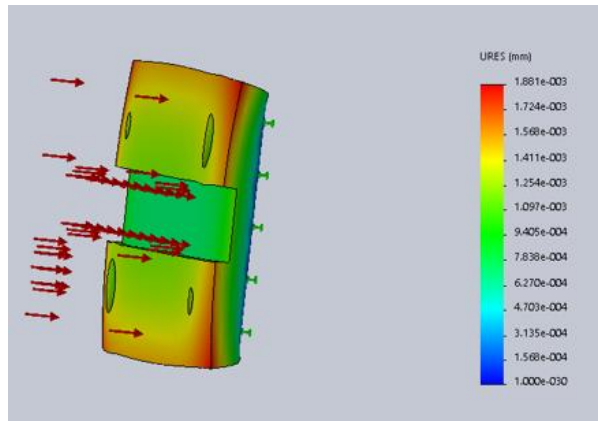


Figura 26. Desplazamiento resultante  
Fuente: La autora

- **Deformaciones unitarias**

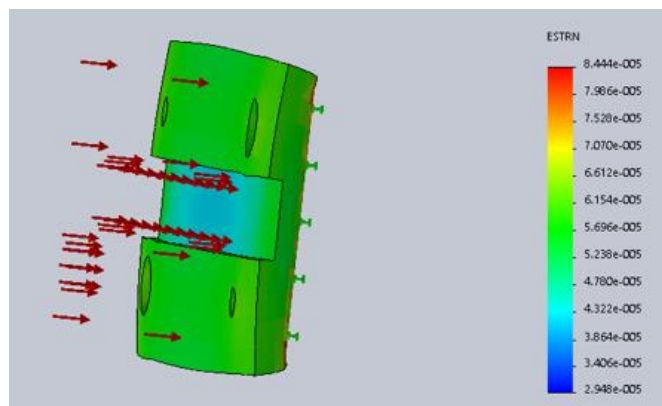


Figura 27. Deformación unitaria equivalente  
Fuente: La autora

- **Factor de seguridad**

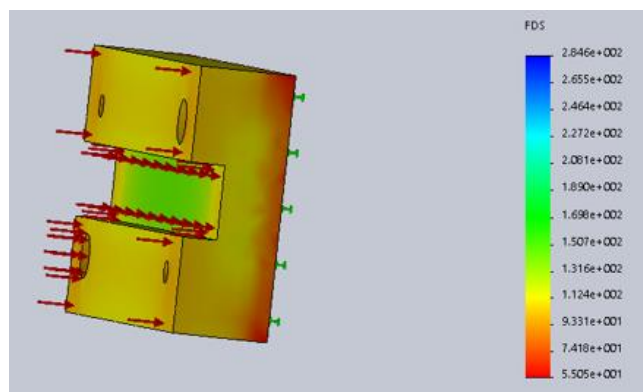


Figura 28. Factor de Seguridad de la placa base  
Fuente: La autora

### 3.1.1.3 Placa hembra

- **Tensiones (Von Mises)**

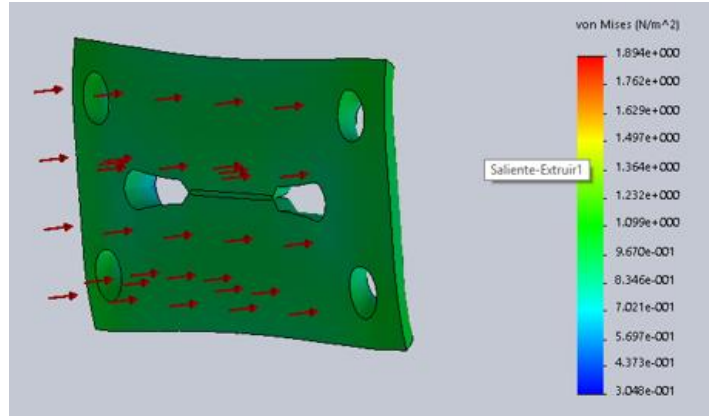


Figura 29. Esfuerzo de Von Mises de la placa hembra  
Fuente: La autora

- **Desplazamiento resultante**

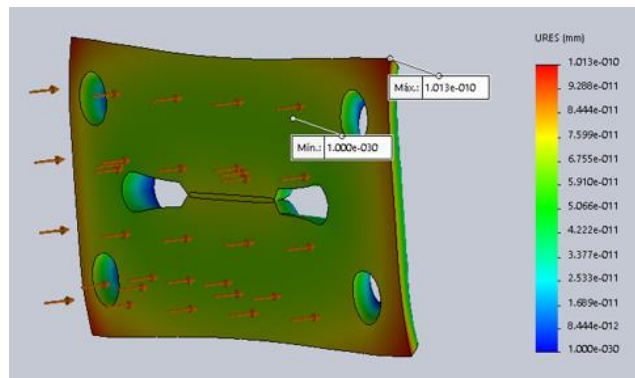


Figura 30. Desplazamiento resultante  
Fuente: La autora

- **Deformaciones unitarias**

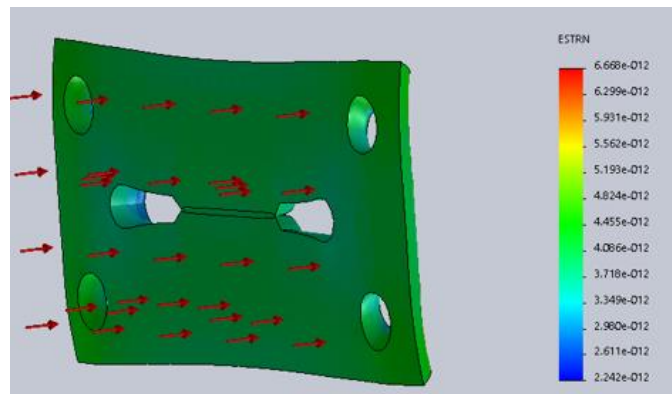


Figura 31. Deformación unitaria equivalente  
Fuente: La autora

- **Factor de seguridad**

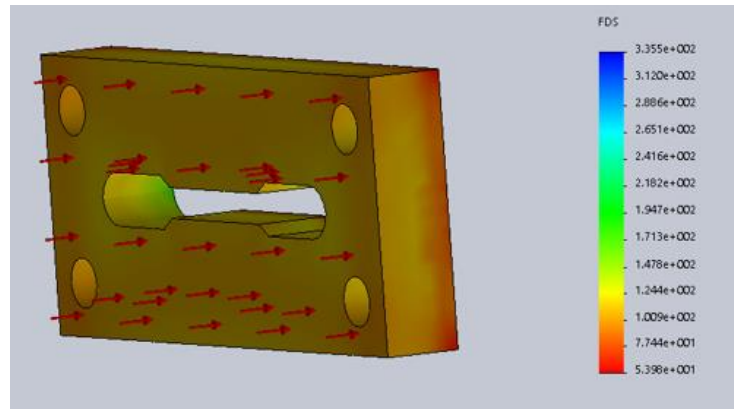


Figura 32. Factor de Seguridad de la placa hembra  
Fuente: La autora

### 3.1.1.4 Marco de placa hembra

- **Tensiones (Von Mises)**

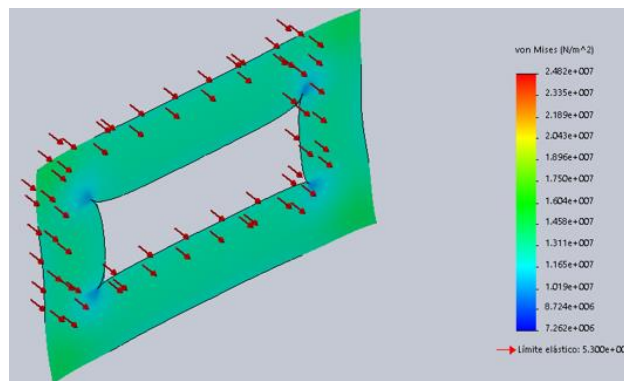


Figura 33. Esfuerzo de Von Mises del marco de la placa hembra  
Fuente: La autora

- **Desplazamiento resultante**

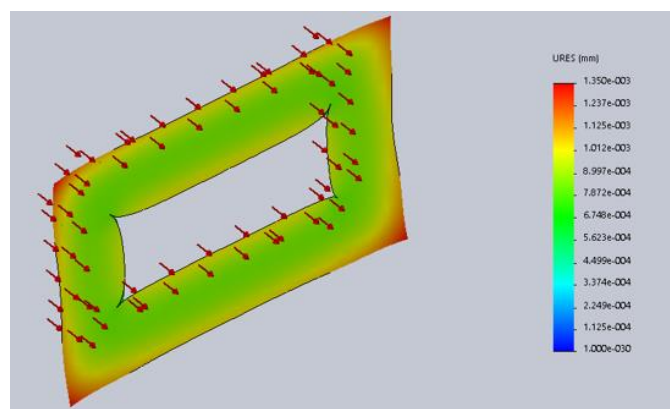


Figura 34. Desplazamiento resultante  
Fuente: La autora

- **Deformaciones unitarias**

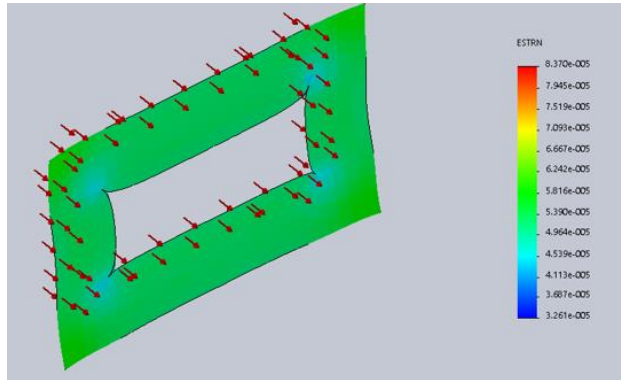


Figura 35. Deformación unitaria equivalente  
Fuente: La autora

- **Factor de seguridad**

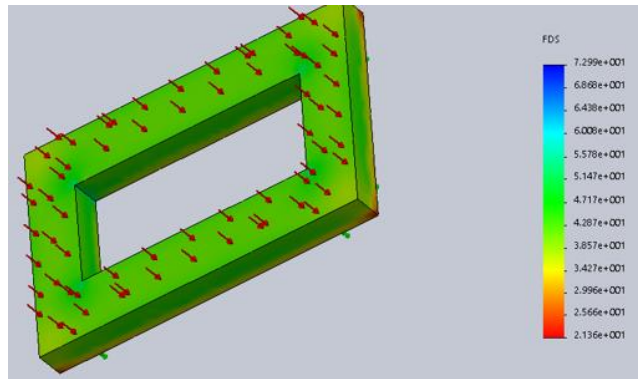


Figura 36. Factor de Seguridad del marco de la placa hembra  
Fuente: La autora

### 3.1.2 Molde para probetas de Ensayo de Impacto

Los resultados obtenidos en el análisis estático son los siguientes:

#### 3.1.2.1 Placa superior junto con punzón

- **Tensiones (Von Mises)**

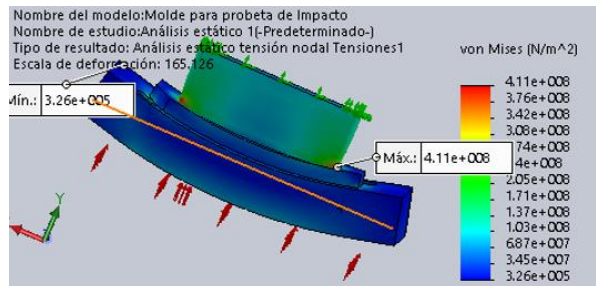


Figura 37. Esfuerzo de Von Mises del molde en el punzón  
Fuente: La autora



- **Desplazamiento resultante**

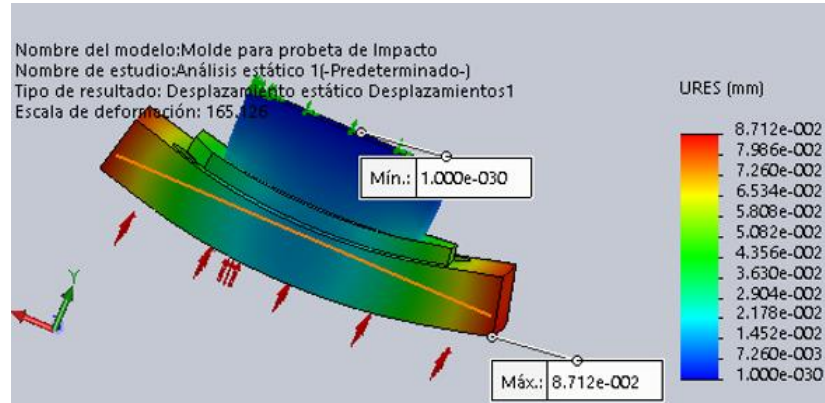


Figura 38. Desplazamiento del punzón trabajando en conjunto con la placa sufridera y placa superior.  
 Fuente: La autora

- **Deformaciones unitarias**

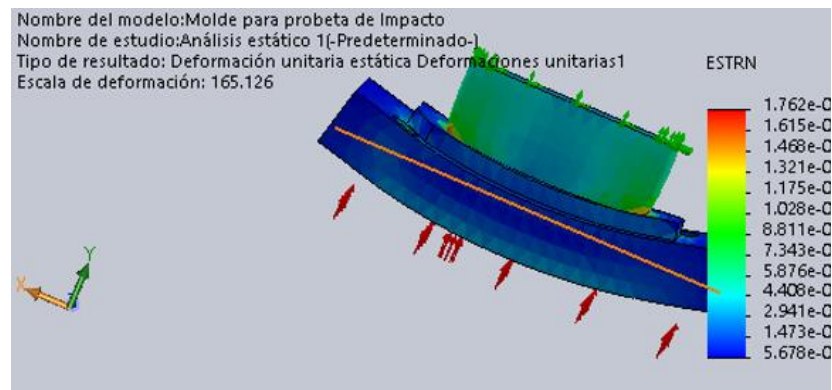


Figura 39. Deformación unitaria equivalente  
 Fuente: La autora

- **Factor de seguridad punzón**



Figura 40. Factor de Seguridad en el Punzón  
 Fuente: La autora



### 3.1.2.2 Placa Base

- Tensiones (Von Mises)

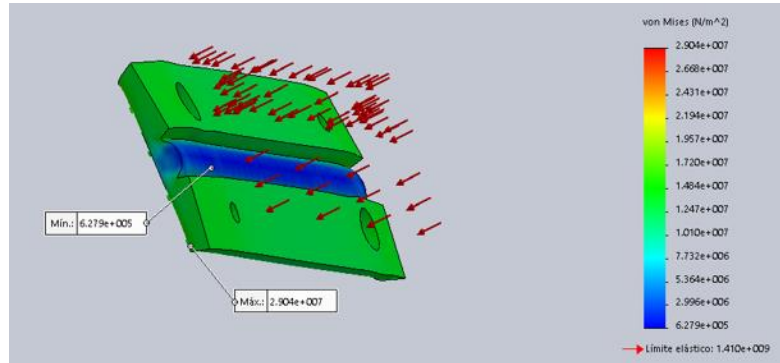


Figura 41. Esfuerzo de Von Mises de la placa base  
Fuente: La autora

- Desplazamiento resultante

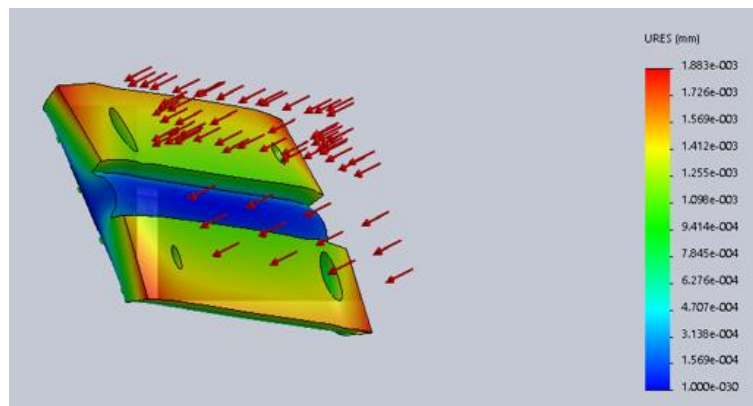


Figura 42. Desplazamiento resultante  
Fuente: La autora

- Deformaciones unitarias

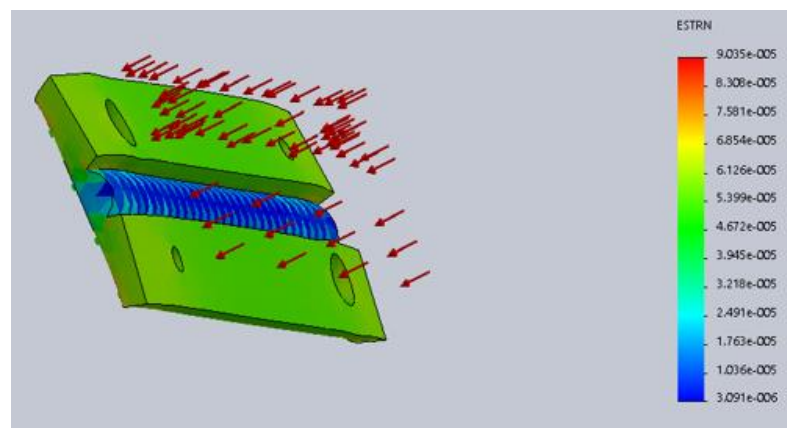


Figura 43. Deformación unitaria equivalente  
Fuente: La autora

- **Factor de seguridad**

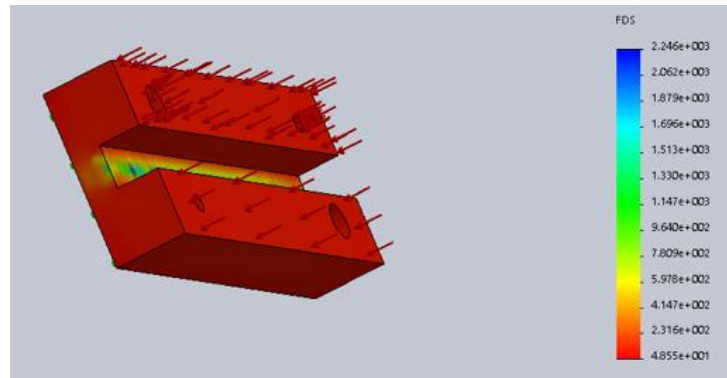


Figura 44. Factor de Seguridad de la placa base  
Fuente: La autora

### 3.1.2.3 Marco de Placa hembra

- **Tensiones (Von Mises)**

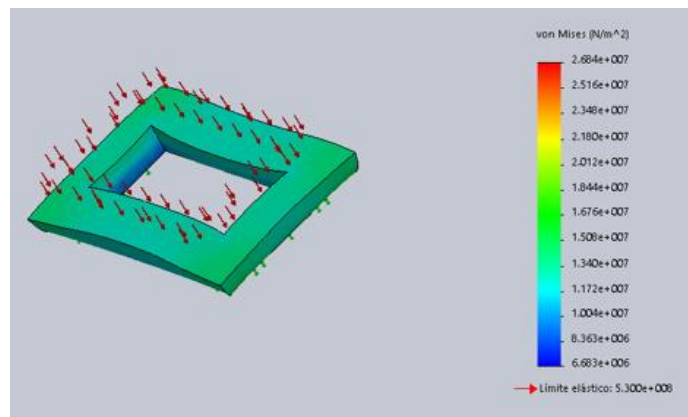


Figura 45. Esfuerzo de Von Mises del marco de la placa hembra  
Fuente: La autora

- **Desplazamiento resultante**

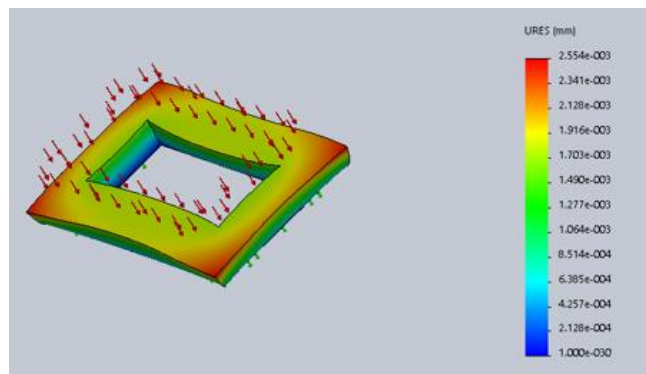


Figura 46. Desplazamiento resultante  
Fuente: La autora

- **Deformaciones unitarias**

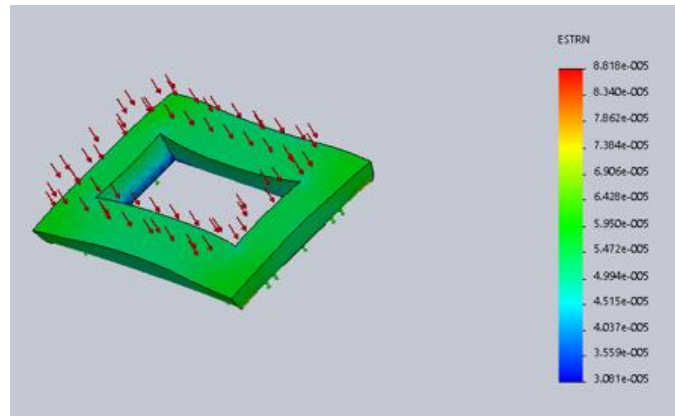


Figura 47. Deformación unitaria equivalente  
Fuente: La autora

- **Factor de seguridad**

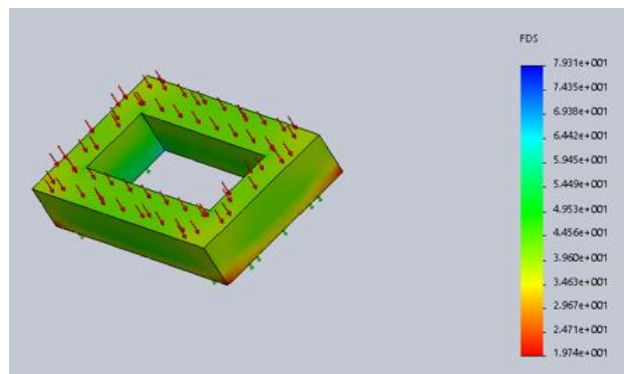


Figura 48. Factor de Seguridad del marco de la placa hembra  
Fuente: La autora

### 3.1.2.4 Placa hembra

- **Tensiones (Von Mises)**

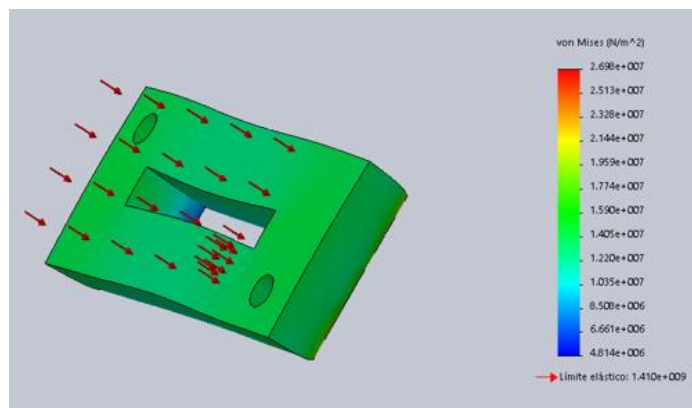


Figura 49. Esfuerzo de Von Mises de la placa hembra  
Fuente: La autora

- **Desplazamiento resultante**

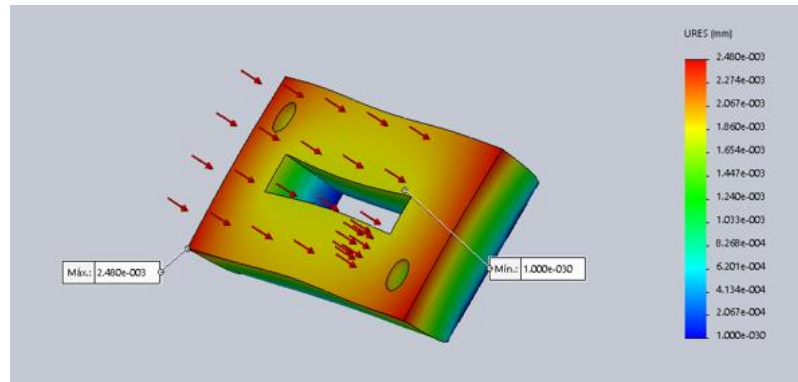


Figura 50. Desplazamiento resultante  
Fuente: La autora

- **Deformaciones unitarias**

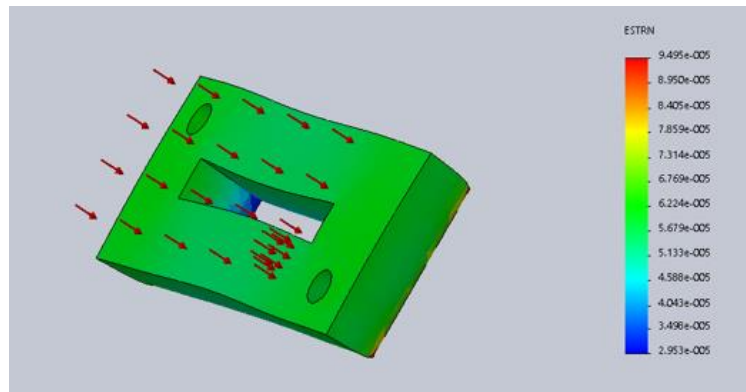


Figura 51. Deformación unitaria equivalente  
Fuente: La autora

- **Factor de seguridad**

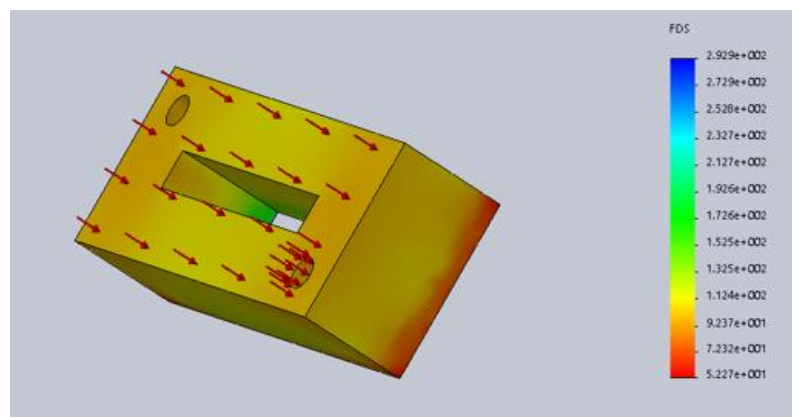


Figura 52. Factor de Seguridad de la placa hembra  
Fuente: La autora

### 3.2 Resultados de los análisis

Tabla 11. Resultados de análisis de los moldes

<b>Molde para probetas de Ensayo de Tensión</b>				
<b>Parte</b>	<b>Tensiones de Von Mises</b>	<b>Desplazamiento Resultante</b>	<b>Deformación Equivalente</b>	<b>Factor de Seguridad</b>
Punzón	$4.33 \times 10^8$	$6.7 \times 10^{-2}$	$1.59 \times 10^{-5}$	3.3
Marco placa Hembra	$2.48 \times 10^7$	$1.35 \times 10^{-3}$	$8.37 \times 10^{-5}$	2.13
Placa Hembra	$1.89 \times 10^7$	$1.01 \times 10^{-1}$	$6.69 \times 10^{-12}$	5.4
Placa Base	$2.56 \times 10^7$	$1.88 \times 10^{-3}$	$8.44 \times 10^{-5}$	5.5
<b>Molde para probetas de Ensayo de Impacto</b>				
Punzón	$4.11 \times 10^8$	$8.71 \times 10^{-2}$	$1.76 \times 10^{-5}$	3.43
Marco placa Hembra	$2.68 \times 10^7$	$2.55 \times 10^{-3}$	$8.81 \times 10^{-5}$	2.0
Placa Hembra	$2.69 \times 10^7$	$2.48 \times 10^{-3}$	$9.49 \times 10^{-12}$	5.2
Placa Base	$2.90 \times 10^7$	$1.88 \times 10^{-3}$	$9.035 \times 10^{-5}$	4.9

Fuente: La autora

### 3.3 Ensayos para la obtención de las probetas

#### 3.3.1 Obtención de Probetas

La máxima presión que se aplicó para obtener las probetas de los moldes fue de 1000 PSI. Los ensayos realizados obtuvieron los siguientes resultados que se muestran en la tabla 13.

Tabla 12. Resultado de obtención de probetas con polvo bueno

<b>Compactación de Probetas</b>						
<b>Probetas para Ensayo de Tensión (e=3.56 mm)</b>						
Material	Fuerza de Compactación	Tamaño del Polvo	N° de ensayos por golpes	Espesor	Longitud	Peso Final
Bronce	1000 PSI	800 um	1	3.64	89.64	17.4
	1000 PSI		2	3.60	89.64	17.4
	1000 PSI		3	3.43	89.63	17.1
	1000 PSI		4	3.57	89.64	17.5
				Promedio	89.64	17.4
<b>Probetas para Ensayo de Tensión (6.35 mm)</b>						
Bronce	1000 PSI	800 um	1	6.22	89.65	31.2

Tabla 12. Continuación

	1000 PSI		2	6.30	89.65	31.2
	1000 PSI		3	6.25	89.64	31.1
	1000 PSI		4	6.15	89.65	30.9
				Promedio	89.65	31.1
<b>Probetas para Ensayo de Impacto</b>						
Bronce	1000 PSI	800 um	1	10.12	75.30	53.6
	1000 PSI		2	10.12	75.30	53.6
	1000 PSI		3	10.12	75.30	53.6
	1000 PSI		4	10.12	75.30	53.6
				Promedio	75.30	53.6

Fuente: La Autora

Tabla 13. Resultado de obtención de probetas con polvo malo

<b>Compactación de Probetas</b>						
<b>Probetas para Ensayo de Tensión (e=3.56 mm)</b>						
Material	Fuerza de Compactación	Tamaño del Polvo	N° de ensayos por golpes	Espesor	Longitud	Peso Final
Bronce	1000 PSI	800 um	1	3.45	89.63	17.3
	1000 PSI		2	3.40	89.64	17.4
	1000 PSI		3	3.80	89.63	20.1
				Promedio	89.63	18.26
<b>Probetas para Ensayo de Tensión (6.35 mm)</b>						
Bronce	1000 PSI	800 um	1	6.41	89.65	31.1
	1000 PSI		2	6.43	89.65	31.2
	1000 PSI		3	6.45	89.66	31.1
	1000 PSI		4	6.40	89.64	31.1
				Promedio	89.65	31.1
<b>Probetas para Ensayo de Impacto</b>						
Bronce	1000 PSI	800 um	1	10.35	75.32	54.2
	1000 PSI		2	9.93	75.30	53.6
	1000 PSI		3	10.15	75.30	53.6
				Promedio	75.30	53.6

Fuente: La Autora

### 3.4 Dimensiones de las probetas obtenidas y modo de extracción

En el molde para probetas de ensayo a tensión las probetas obtenidas en promedio tienen las siguientes dimensiones:

Para las probetas de espesor de 3.56 se obtuvo una longitud de 89.64 mm y un espesor de 3.63 mm. Esto se logró con una compactación de 1000 PSI en la prensa hidráulica.

Para las probetas de espesor de 6.35 se obtuvo una longitud de 89.65 mm y un espesor de 6.27 mm. Esto se logró con una compactación de 1000 PSI en la prensa hidráulica

En el molde para probetas de ensayo de impacto las probetas obtenidas en promedio tienen las siguientes dimensiones:

Una longitud de 75.5 mm y un espesor de 10.15 mm, esto se logró con una compactación de 1000 PSI con ayuda de una prensa hidráulica (ver Anexo II).

### 3.5 Denominación de materiales de los moldes

#### 3.5.1 Molde para probetas de Ensayo a Tensión

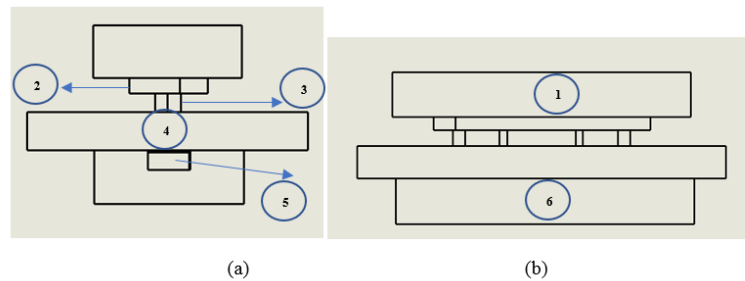


Figura 53. (a) Vista frontal del molde; (b) Vista Lateral del molde  
Fuente: La autora

Tabla 14. Partes del molde para probetas de Ensayo a Tensión

Elemento	Denominación	Material	T.T
1	Placa Superior	AISI SAE 1045	
2	Placa Sufridera	AISI D3 (K100)	Temple
3	Punzón	AISI D3 (K100)	Temple
4	Placa Hembra	AISI D3 (K100)- AISI SAE 1045	Temple
5	Placa para desmoldar	AISI D3 (K100)	Temple
6	Placa base	AISI SAE 1045	

Fuente: La autora

#### 3.5.2 Molde para probetas de Ensayo de Impacto

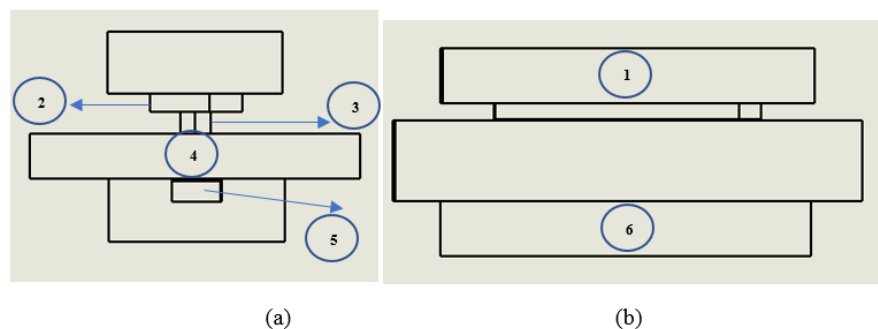


Figura 54. (a) Vista frontal del molde; (b) Vista Lateral del molde  
Fuente: La autora

Tabla 15. Partes del molde para probetas de Ensayo a Tensión

<b>Elemento</b>	<b>Denominación</b>	<b>Material</b>	<b>T.T</b>
1	Placa Superior	AISI SAE 1045	
2	Placa Sufridera	AISI D3 (K100)	Temple
3	Punzón	AISI D3 (K100)	Temple
4	Placa Hembra	AISI D3 (K100)- AISI SAE 1045	Temple
5	Placa para desmoldar	AISI D3 (K100)	Temple
6	Placa base	AISI SAE 1045	

Fuente: La autora

### 3.6 Presiones aplicadas en la compactación

Tabla 16. Presiones aplicadas en la compactación de polvo de bronce

<b>Molde para Ensayo de Tensión</b>	
Presión de compactación	1000 PSI
<b>Molde para Ensayo de Impacto</b>	
Presión de compactación	1000 PSI

Fuente: Aurora

### 3.7 Cantidad de Polvo para compactar en los moldes

Tabla 17. Cantidad de polvo para compactar polvo de bronce

<b>Molde para Ensayo de Tensión</b>	
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
<b>3.56 mm</b>	
Bronce	17.5 g
<b>6.35 mm</b>	
Bronce	31.5 g
<b>Molde para Ensayo de Impacto</b>	
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Bronce	54 g

Fuente: Aurora



## CAPÍTULO IV

### 4.1 Conclusiones

- Como parámetros fundamentales para el diseño se consideró la fácil extracción de la probeta y que su compactación sea la adecuada sin producir daños severos en los moldes, por lo que se fabricó dos tipos de moldes; uno para probetas de ensayo de tensión con una medida longitudinal de 89 mm entre dos espesores de 3.56 y 6.35 mm según la norma B925-03 y el otro molde para probetas de ensayo de impacto con medidas de 75 mm de longitud y 10 mm de espesor, bajo la misma norma.
- El material seleccionado para la elaboración de los moldes y de los punzones son de acero AISI D3 comercialmente conocido como acero K100 en el catálogo de Bohler que es un material para trabajos en frío, posee alta resistencia mecánica, también por la facilidad en el mecanizado y su alta dureza a realizar un tratamiento térmico en este caso de un temple enfriado en aceite.
- Las relaciones de compresión que se consideró para los ensayos de compactación fue de 2.2 para el bronce, mismo valor que está cercano a los valores que se indican en el libro Metal Handbook, la presión de compactación que se utilizó en las pruebas se puede encontrar en la tabla 3.
- El molde que menos dificultad de extracción tuvo fue las probetas para ensayo de extracción por lo que su geometría presenta varios radios, mismo que mejoran este parte del proceso. Por otro lado el molde de probetas de ensayo de impacto tuvo que ser modificado sus vértices ya que en un primer ensayo esto nos produjo problemas en la extracción de la probeta, se le añadió un radio de 2 mm en los vértices de la geometría de estas probetas ya que según la norma E925-03 al modificar estas partes no se perjudicaba el ensayo posterior a realizar.
- Las cantidades de polvo calculadas inicialmente pueden variar al momento de obtener las probetas, debido a la presión que se le aplique en la compactación de polvos metálicos ya que si mayor es la presión mayor cantidad de polvo se necesitará para obtener el espesor de las probetas y por lo contrario si menor es la presión se necesita menor cantidad de polvo para obtener el mismo espesor.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda aplicar uniformemente la carga sobre los punzones para evitar cargar de esfuerzos innecesarios en otras direcciones al molde y de ser posible realizar los ensayos en una prensa adecuada para este método de compactación de polvos. Con lo que se puede lograr mejor compactación de los mismos.
- Se recomienda ajustar completamente los tornillos de los moldes para evitar que se puedan cargar demasiado y su posterior rotura, además de evitar el pandeo de los punzones los cuales no se desplazarían uniformemente.
- Para la extracción de las probetas se recomienda tener mucho cuidado ya que las probetas obtenidas resultantes son muy frágiles, para facilitar también este parte del proceso se debe añadir un poco de lubricante natural como la vaselina o talco, para así no afectar las propiedades del material al ser compactado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Lucana, "Diseño de un molde para la fabricación de probetas de materiales compuestos de matriz plástica y refuerzos de fibras naturales mediante compresión térmica", Doctorado, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2008.
- [2] B. Gómez, "Molde permanente para probetas de aleaciones de aluminio aplicando la norma ASTM B-108", Universidad técnica del norte, 2018.
- [3] H. Castro, "Diseño y construcción de un molde para compactación de pulvimetalurgia para elaboración de probetas cilíndricas.", Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [4] R. Ramakrishnan, Indian Journal of History of Science, 18th ed. Bombay: Indian Institute of Technology, 1980, pp. 109-114.
- [5] (G. Schrader and a. Elshennawy, "Manufacturing Processes and Materiales", Society of Manufacturing Engineers Dearborn, Ed. Michigan: Prentice-Hall, Inc., 2010, pp. 200-210.)
- [6] A. Machado, Sinterización, un proceso de conformación de metales como alternativa económica con un bajo impacto ambiental, 44th ed. Madrid: Yaillet Albornas Carvajal, 2017, pp. 4-8.
- [7] M. Groover, Fundamentos de manufactura moderna, 3rd ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana, 2010, pp. 305-325.
- [8] M. Morillo, Fabricación y optimización de aleaciones de aluminio con Al 12Si como aditivo de sinterización, Proyecto fin de carrera, Departamento de Ingeniería Mecánica y de los Materiales, Universidad de Sevilla, 2004.
- [9] L. Angurel Lamben and R. Ríos Jordana, Problemas de tecnología de materiales, 1st ed. Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2013, pp. 49-67.
- [10] P. Molera Solá, Conformación metálica, 3rd ed. Barcelona: Marcombo, Boixareu Editores, 2010, pp. 122-135.
- [11] H. Kazanas, G. Baker and T. Gregor, Procesos básicos de manufactura, 1st ed. Mexico: McGRAW-Hill, 2010, pp. 3-6.

- [12] S. Kalpakjian y S. Schmid, «Procesamiento de los polvos metálicos,» de Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Quinta ed., México, Pearson, 2008, pp. 483-504.
- [13] A. Hanbook, Powder metal technologies and applications, Volumen 7, 1998.
- [14] J. Shigley, Standard handbook of machine design. Norwich, NY: Knovel, 2006.
- [15] Ashby, M. (2010). Materials selection in mechanical design. Amsterdam: Butterworth-Heinemann.
- [16] Pérez, D. Diseño y construcción de un troquel de corte y perforado de platina metálica de espesor 1/8 de pulgada. (2018). [On - line] Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/27918>
- [17] ASTM, American Society for Testing Materials. (2009). Método de prueba de ensayo y producción de probetas pulvimetalúrgicas. [On-line]. Disponible en: <https://www.astm.org/>
- [18] P, Osorio Valencia, "Obtención y caracterización por vía pulvimetalúrgica de la matriz de aluminio reforzada con partículas intermetálicas de  $\text{CuAl}_2$  y Cu.", Universidad del Valle: Colombia, 2011.
- [19] Norma ASTM B925-.03
- [19] Norma ASTM B925-.03
- [20] J. Miguel, Diseño de aleaciones de titanio pulvimetalúrgicas con adición de Fe, Cr y Ni, Lérganes: Universidad Carlos III de Madrid, Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química, 2013.

# **ANEXOS**

# ANEXO I:

## B 925 - 03

### TENSION TESTING

#### 6.4 Flat Unmachined Tension Test Specimen

6.4.1 *Description and Use*—The unmachined flat tension test specimen shown in Fig. 4 is commonly referred to in the industry as “the dogbone.” It is compacted directly to size and shape using tooling similar to that shown in Fig. A2.4 in the Annex. This test specimen has been designed to have a convenient 1.00 in.<sup>2</sup> (645.2 mm<sup>2</sup>) pressing area to simplify compacting calculations.

6.4.1.1 It is intended for determining the tensile properties and ductility of P/M materials that have not been heat treated (not quenched and tempered nor sinter-hardened). The testing procedures for this unmachined P/M test specimen can be found in Test Method E 8.

6.4.1.2 The flat tension test specimen is not normally used with heat treated P/M materials because it may produce unreliable test results and it has a tendency to slip in the grips. Slippage can be prevented by the use of hydraulic grips, but the square corner design of the flat specimen will give rise to stress concentrations that may result in scattered test values. The machined 190-Round tension test specimen, Fig. 5, is recommended for use with heat treated P/M materials.

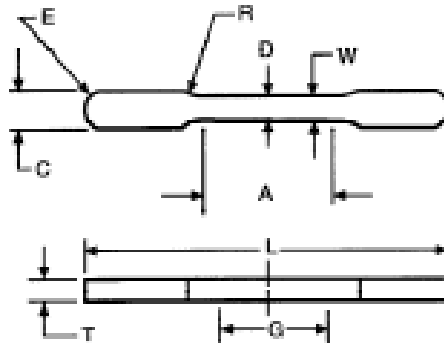
#### 6.4.2 Applicable ASTM Standards:

6.4.2.1 See Test Methods E 8.

6.4.2.2 See the following P/M Material Specifications: A 811, A 839/A 839M, A 904, B 715, B 783, B 823, and B 853.

#### 6.5 Machined 190-Round Tension Test Specimen

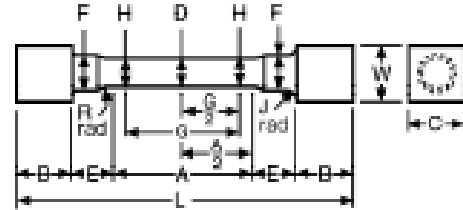
6.5.1 *Description and Use*—The 190-Round tension test specimen may be prepared by machining a sintered lead test



Dimensions	Dimensions	
	in.	mm
G—Gage length	1.000 ± 0.003	25.40 ± 0.08
L—Overall length	3.53	89.7
C—Width of grip section	0.34	8.6
E—End radius	0.02	0.5
W—Width of reduced section	0.256	6.50
D—Width at center	0.226	5.72
A—Length of reduced section	1.25	31.8
R—Radius of fillet	1.00	25.4
T—Thickness	0.140 to 0.250	3.55 to 6.35

Note.—Thickness shall be parallel within 0.005 in. (0.13 mm).

FIG. 4 P/M Flat Unmachined Tension Test Specimen



Dimensions	Dimensions	
	in.	mm
G—Gage length	1.000 ± 0.003	25.40 ± 0.08
D—Diameter at center of gage section	0.167 ± 0.001	4.25 ± 0.03
H—Diameter at ends of gage section	0.191 ± 0.001	4.86 ± 0.03
R—Radius of gage fillet	0.25	6.4
A—Length of reduced section	1.675 ± 0.003	42.63 ± 0.08
J—Radius of shoulder fillet	0.05	1.3
L—Compact length	1 nominal	25 nominal
B—Length of end section	0.210 ± 0.005	5.33 ± 0.13
W—Compact thickness	0.094 ± 0.005	2.40 ± 0.13
C—Compact width	0.39	9.9
E—Length of shoulder	0.250 ± 0.005	6.35 ± 0.13
F—Diameter of shoulder	0.210 ± 0.001	5.33 ± 0.03

Note: 1—Specimen diameters, 0.191 and 0.187 in. (4.85 and 4.75 mm), to be concentric within 0.001 in. (0.03 mm) T.I.R.

Note: 2—Test section shall be free of nicks, scratches, and toolmarks. Polish longitudinally with 00 emery paper and finish with crocus cloth.

FIG. 5 Machined 190-Round P/M Tension Test Specimen

specimen blank, to the shape and dimensions shown in Fig. 5. The gage section shall be free of nicks, scratches, tool marks or other conditions that can deleteriously affect the properties to be measured. It is primarily used to measure the tensile properties and ductility of heat treated (quenched and tempered or sinter-hardened) P/M materials because it gives more consistent test data than those obtained with the flat unmachined tension test specimen, Fig. 4. These tension properties are determined following the testing procedures detailed in Test Method E 8.

#### 6.5.2 Applicable ASTM Standards:

6.5.2.1 See Test Methods E 8.

6.5.2.2 See the following P/M Material Specifications: B 595, B 783, and B 817.

### COMPRESSION TESTING

#### 6.6 Machined Compression Test Specimen

6.6.1 *Description and Use*—This test specimen, shown in Fig. 6, is usually prepared by machining a sintered lead test specimen blank. It can also be prepared from large, 1.005 in. (26.7 mm) thick sintered blanks which are sawed vertically into smaller pieces for turning into test specimens that are to be tested in the compacting direction. This compression test cylinder is not pressed to size because of its excessive length to diameter ratio.

6.6.1.1 The compressive strength of P/M materials is measured by use of an extensometer clamped to the gage length during the test following the procedures in Test Method E 9. The stress at 0.1% or 0.2% permanent offset is usually reported. When reporting the results, it is important that the

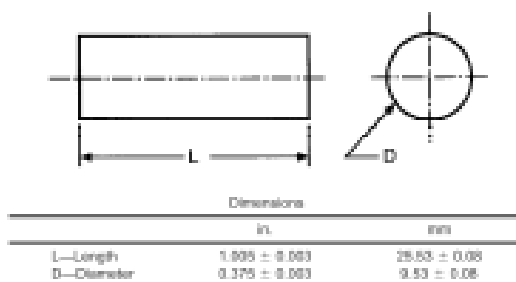


FIG. 6 Machined P/M Compressive Yield Strength Test Specimen

relationship between the original compacting direction and the testing direction be clearly noted.

6.6.2 *Applicable ASTM Standards:*

6.6.2.1 See Test Method E 9.

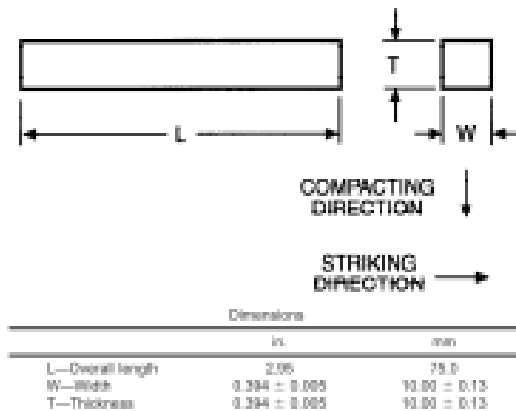
6.6.2.2 See the following P/M Material Specifications: B 783 and B 823.

### IMPACT ENERGY TESTING

6.7 *Izod Impact Test Specimen:*

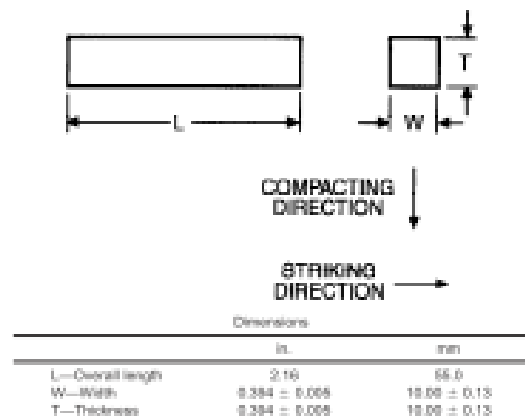
6.7.1 *Description and Use*—This P/M impact test specimen, shown in Fig. 7, is produced by compacting and sintering to the shape and dimensions of the standard Izod test bar. Typical tooling is shown in Fig. A2.5.

6.7.1.1 The standard industry practice for P/M material specifications is to report Izod impact energy as unnotched impact energy. It is determined in an Izod (cantilever-beam) impact test using a single-blow pendulum-type impact machine. The striking direction is 90 degrees to the original compacting direction. (If for other reasons, the Izod test specimen is to be tested in a notched condition, then refer to Test Method E 23 for specifications of notch types and testing procedures for notched bars.)



NOTE—Adjacent sides shall be 90° ± 10 min.

FIG. 7 P/M Izod (Cantilever-Beam) Impact Test Specimen



NOTE—Adjacent sides shall be 90° ± 10 min.

FIG. 8 P/M Unnotched Charpy (Simple-Beam) Impact Test Specimen

6.7.1.2 This sintered test specimen may also be used as a blank from which the 190-Round tension test specimen, the compression test cylinder, the fatigue test specimen, or the thermal expansion test piece, can be prepared by machining. It can also be shortened to prepare the Charpy test bar.

6.7.2 *Applicable ASTM Standards:*

6.7.2.1 See Test Methods E 23.

6.8 *Charpy Impact Test Specimen:*

6.8.1 *Description and Use*—This P/M test specimen, shown in Fig. 8, is produced by compacting and sintering to the shape and dimensions of the standard Charpy test bar. Typical tooling is shown in Fig. A2.6. It can also be prepared by shortening a sintered Izod test bar.

6.8.1.1 The standard industry practice for P/M material specifications is to report Charpy impact energy as unnotched impact energy. It is determined in a Charpy (simple-beam) impact test using a single-blow pendulum-type impact machine. The striking direction is 90 degrees to the original compacting direction. (If for other reasons, the Charpy bar is to be tested in a notched condition, then refer to Test Method E 23 for specifications of notch types and testing procedures for notched bars.)

6.8.2 *Applicable ASTM Standards:*

6.8.2.1 See Test Methods E 23.







6.8.2.2 See the following P/M Material Standards: B 783 and B 823.

### FATIGUE TESTING

6.9 *Machined Fatigue Test Specimen:*







6.9.1 *Description and Use*—The rotating beam fatigue test specimen may be prepared by machining a sintered Izod blank, to the shape and dimensions shown in Fig. 9. It is very important that the reduced section be free of nicks, scratches, tool marks or any other conditions that can deleteriously affect the properties to be measured. This test specimen is used to determine the fatigue limit (endurance limit) and the fatigue

## Anexo II. Elaboración de los moldes






 A photograph showing a large, flat metal plate being processed on a grinding or polishing machine. The plate is held in place by a fixture, and the machine's rotating surface is in contact with it.	 A photograph of a metal mold cover being worked on by a CNC machine. The machine's tool is positioned above the cover, which is mounted on a worktable.
<p>1. Rectificado de placas</p>	<p>2. Refrentado de caras de las tapas del molde</p>
 A photograph of a metal plate being cut by a wire-cutting machine. The plate is held in a fixture, and a thin wire is visible cutting through the metal.	 A close-up photograph of a drill bit being used to drill a hole into a metal plate. The drill is held by a machine, and the hole is being formed in the metal.
<p>3. Corte de la placa-hembra con cortadora de hilo</p>	<p>4. Taladrado de agujeros</p>
 A photograph showing a hand holding a metal part, likely a female plate, which has a rectangular hole and a small circular hole. The part is being held up to show its details.	 A photograph of the completed mold assembly. It consists of several metal plates stacked together, with a rectangular hole in the top plate and circular holes in the bottom plates.
<p>5. Ensamble de partes</p>	<p>6. Molde Terminado</p>




**Anexo III: Elementos del Molde para probetas de Ensayo a Tensión**

	
<p>1. Placa superior</p>	<p>2. Placa sufridera</p>
	
<p>3. Punzón</p>	<p>4. Placa- hembra</p>
	
<p>5. Placa movable para desmolde</p>	<p>6. Placa Base o Inferior</p>







**Anexo IV: Elementos del Molde para probetas de Ensayo a Impacto**

	
1. Placa superior	2. Placa sufridera
	
3. Punzón	4. Placa- hembra
	
5. Placa móvil para desmolde	6. Placa Base o Inferior





## Anexo V: Obtención de polvo metálico - Bronce

	
<p>1. Polvo de Bronce</p>	<p>2. Molienda del polvo</p>
	
<p>3. Tamizado de polvo</p>	<p>4. Envasado de polvo</p>

## Anexo VI: Obtención de Probetas

	
<p>1. Probeta para ensayo de Tensión</p>	<p>2. Atornillar la placa hembra a la placa base.</p>
	
<p>3. Rellenar con el polvo</p>	<p>4. Ubicar el punzón en su lugar</p>
	
<p>5. Compactar polvo</p>	<p>6. Extracción de probeta de molde</p>

**Anexo VII: Medición de probetas finales**

	
<p>1. Medición de la longitud de la probeta</p>	<p>2. Medición del espesor de la probeta</p>
	
<p>3. Masa del polvo antes de ser compactado</p>	<p>4. Masa de polvo después de ser compactado</p>

**Anexo VIII:** Torque de ajuste para tornillos de fijación de cabeza hexagonal hueca.

TORQUE DE AJUSTE				Unidad N-m (LB-in)			
Tamaño de tornillo x peso	Acero	Hierro fundido	Aluminio	Tamaño de tornillo x peso	Acero	Hierro fundido	Aluminio
M2x0.4	58.8 (5.2)	39.2 (3.5)	29.4 (2.6)	M10x1.5	6760 (599)	4510 (400)	3330 (295)
M2.3x0.4	78.4 (6.9)	53.9 (4.8)	39.2 (3.5)	M12x1.75	11800 (1045)	7840 (695)	5880 (521)
M2.6x0.45	118 (10.5)	78.4 (6.9)	58.8 (5.2)	M14x2	15700 (1391)	10500 (930)	7840 (695)
M3x0.5	196 (17.4)	127 (11.3)	98.0 (8.7)	M16x2	19600 (1736)	13100 (1161)	9800 (868)
M4x0.7	412 (36.5)	274 (24.3)	206 (18.3)	M20x2.5	38200 (3385)	25500 (2259)	19100 (1692)
M5x0.8	882 (78.1)	588 (52.1)	441 (39.1)	M22x2.5	51900 (4598)	34800 (3083)	26000 (2304)
M6x1	1370 (121)	921 (81.6)	686 (60.8)	M24x3	65700 (5821)	44100 (3907)	32800 (2906)
M8x1.25	3040 (269)	2010 (178)	1470 (130)	M30x3.5	130000 (11518)	87200 (7726)	65200 (5777)

Note: Los torques de ajuste arriba mencionados son para tornillos de fijación de cabeza hueca hexagonal solamente.

Fuente: Catalogo THK

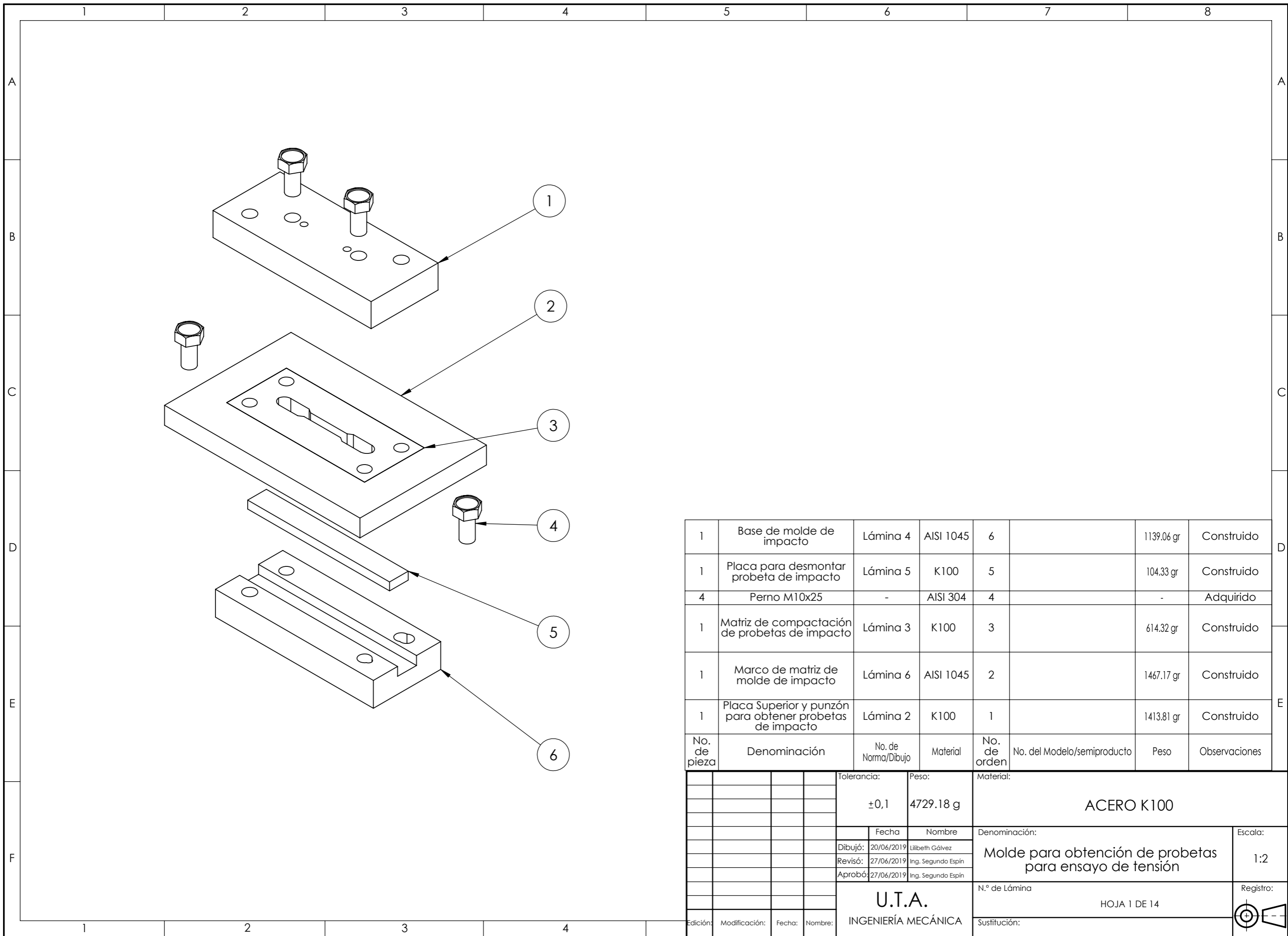
**Anexo IX:** Pobretas para ensayo a tensión



**Anexo X:** Probetas para ensayo de impacto

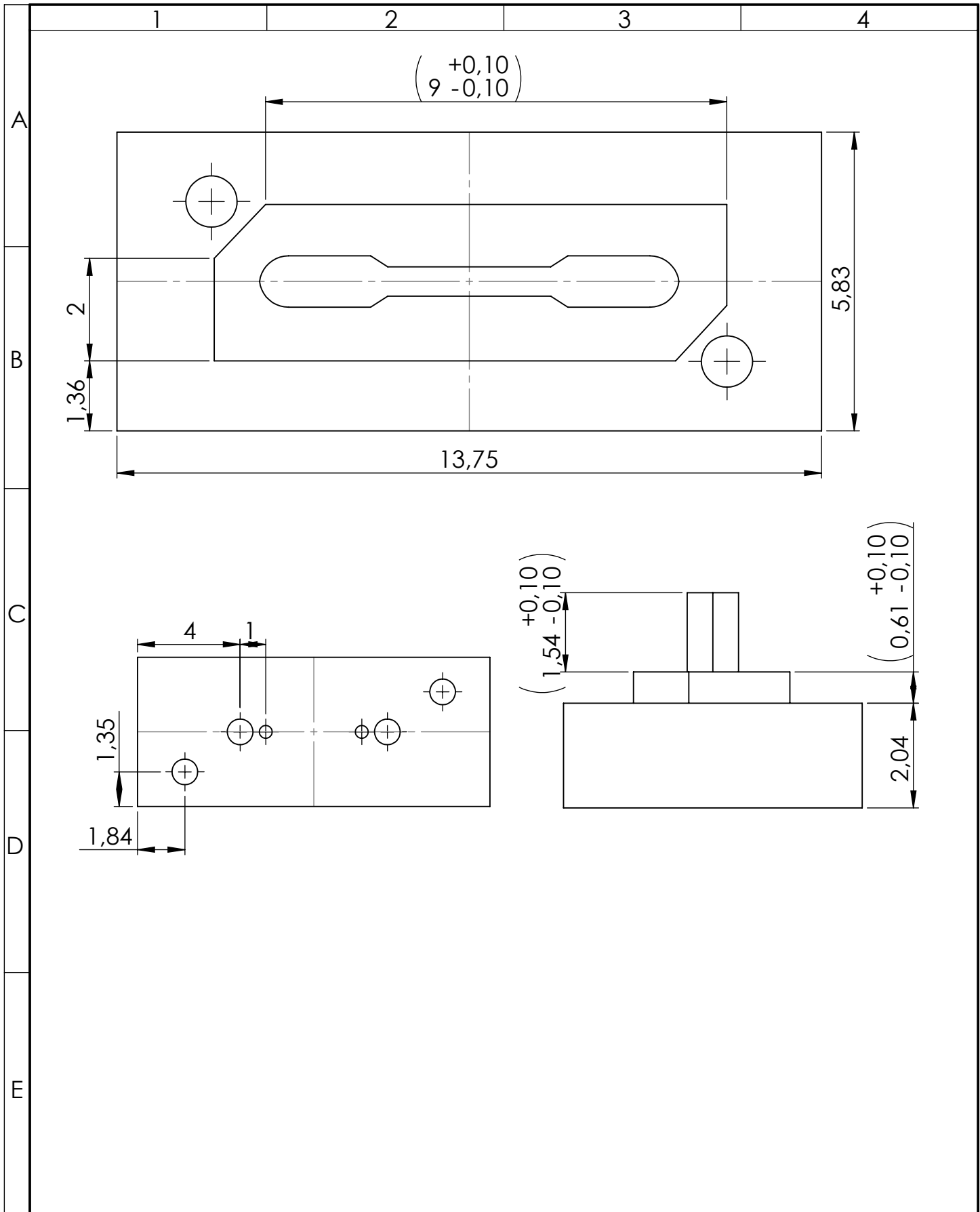






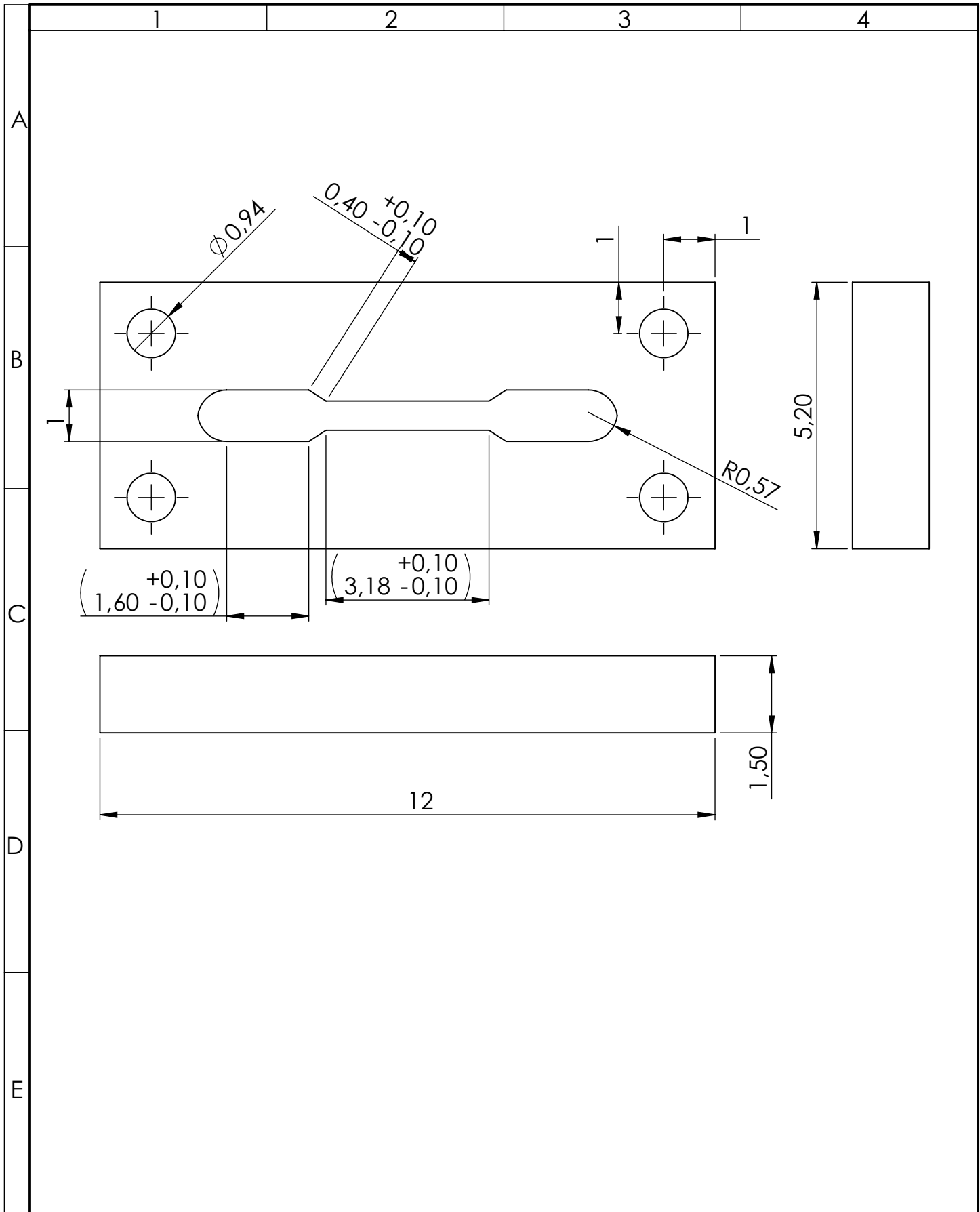
No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso	Observaciones
1	Base de molde de impacto	Lámina 4	AISI 1045	6		1139.06 gr	Construido
1	Placa para desmontar probeta de impacto	Lámina 5	K100	5		104.33 gr	Construido
4	Perno M10x25	-	AISI 304	4		-	Adquirido
1	Matriz de compactación de probetas de impacto	Lámina 3	K100	3		614.32 gr	Construido
1	Marco de matriz de molde de impacto	Lámina 6	AISI 1045	2		1467.17 gr	Construido
1	Placa Superior y punzón para obtener probetas de impacto	Lámina 2	K100	1		1413.81 gr	Construido

Tolerancia:		Peso:		Material:			
±0,1		4729.18 g		ACERO K100			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 20/06/2019		Lilibeth Gálvez		Molde para obtención de probetas para ensayo de tensión			1:2
Revisó: 27/06/2019		Ing. Segundo Espín		N.º de Lámina			Registro:
Aprobó: 27/06/2019		Ing. Segundo Espín		HOJA 1 DE 14			
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución:	

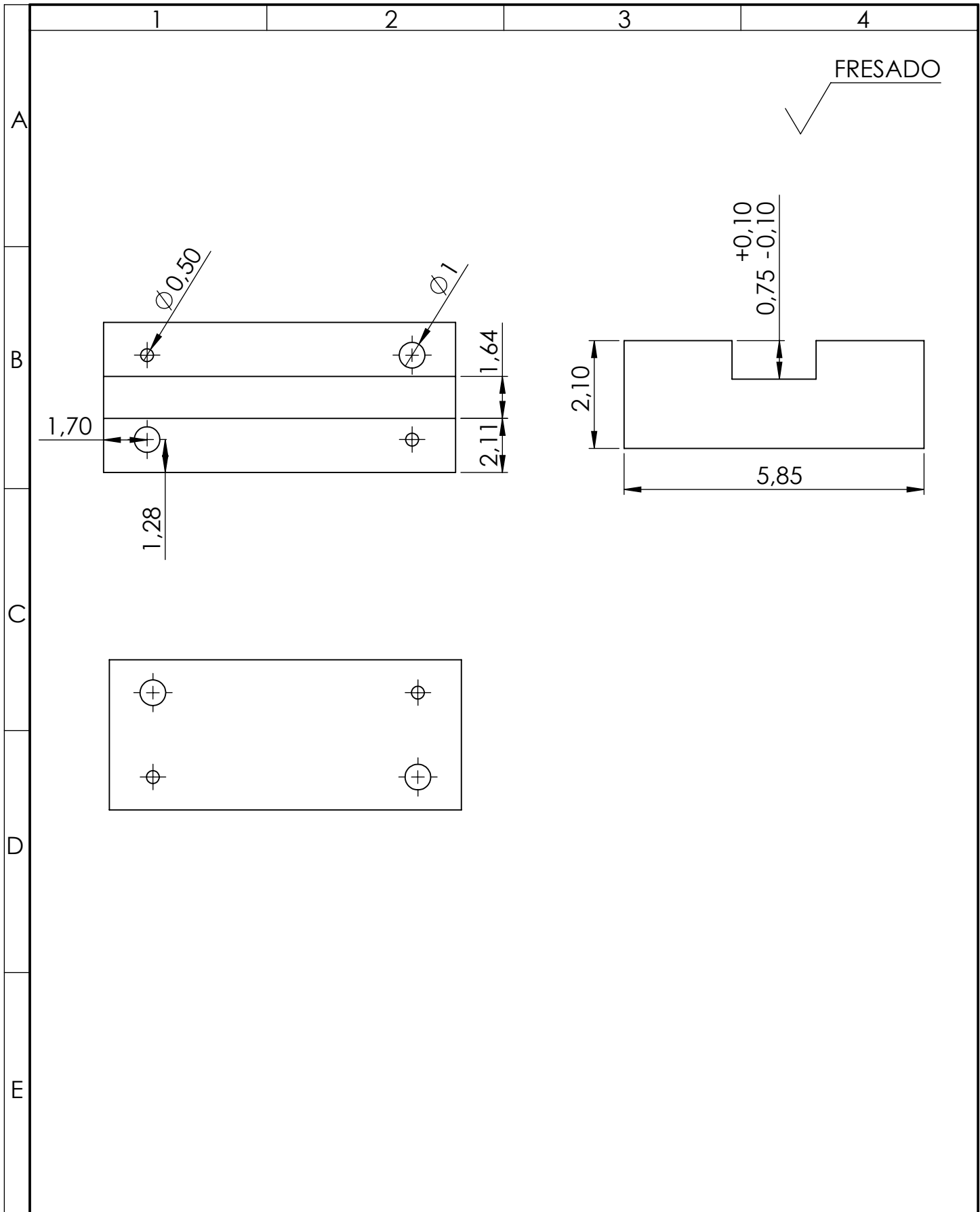


				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 1413.81g	Material: <b>Acero K100</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Gálvez	<b>Placa superior y punzón para probetas de tensión</b>	1:2
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				<b>U.T.A.</b>		N.º de lámina:	Registro:
				<b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>		Hoja 2 de 14	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

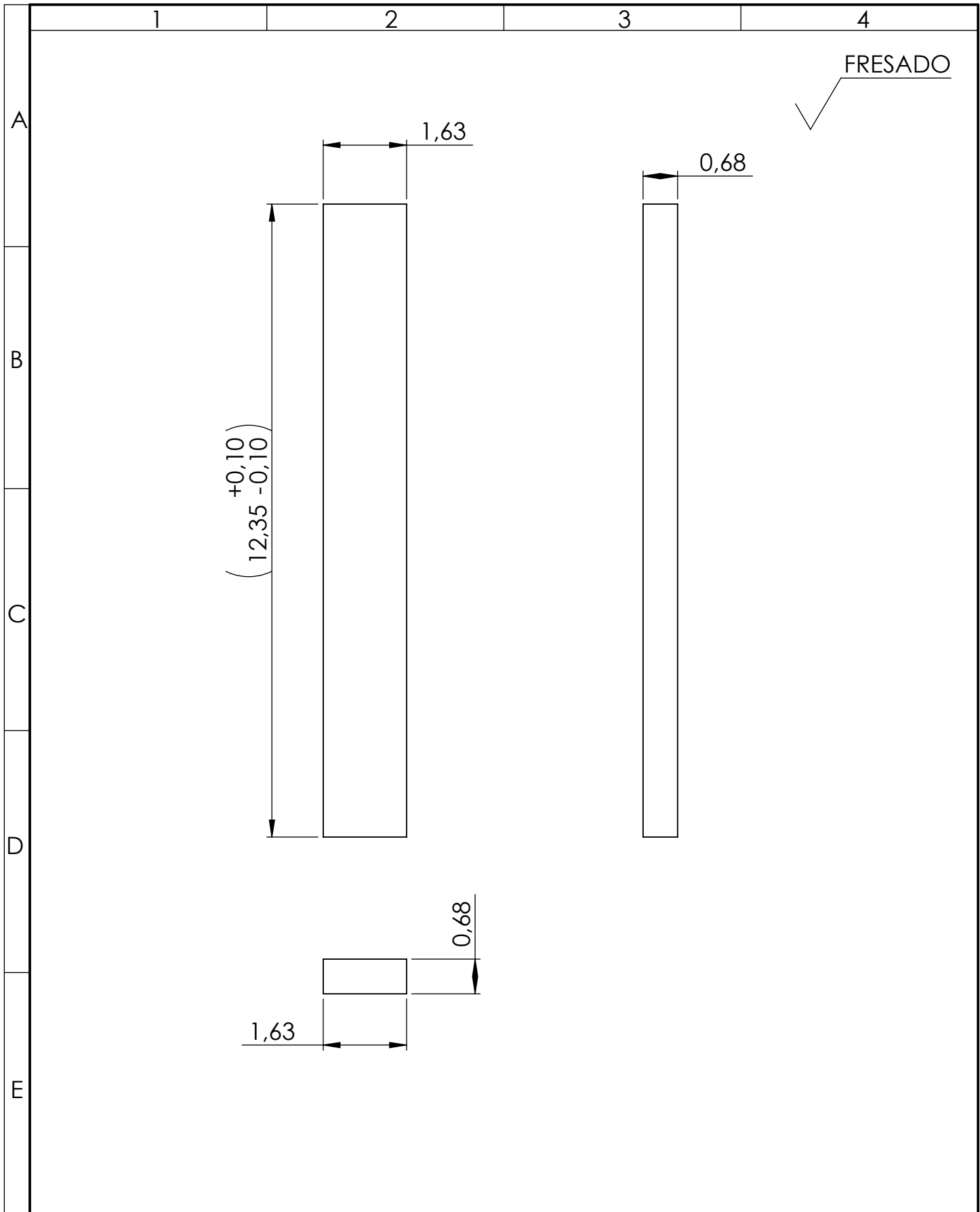




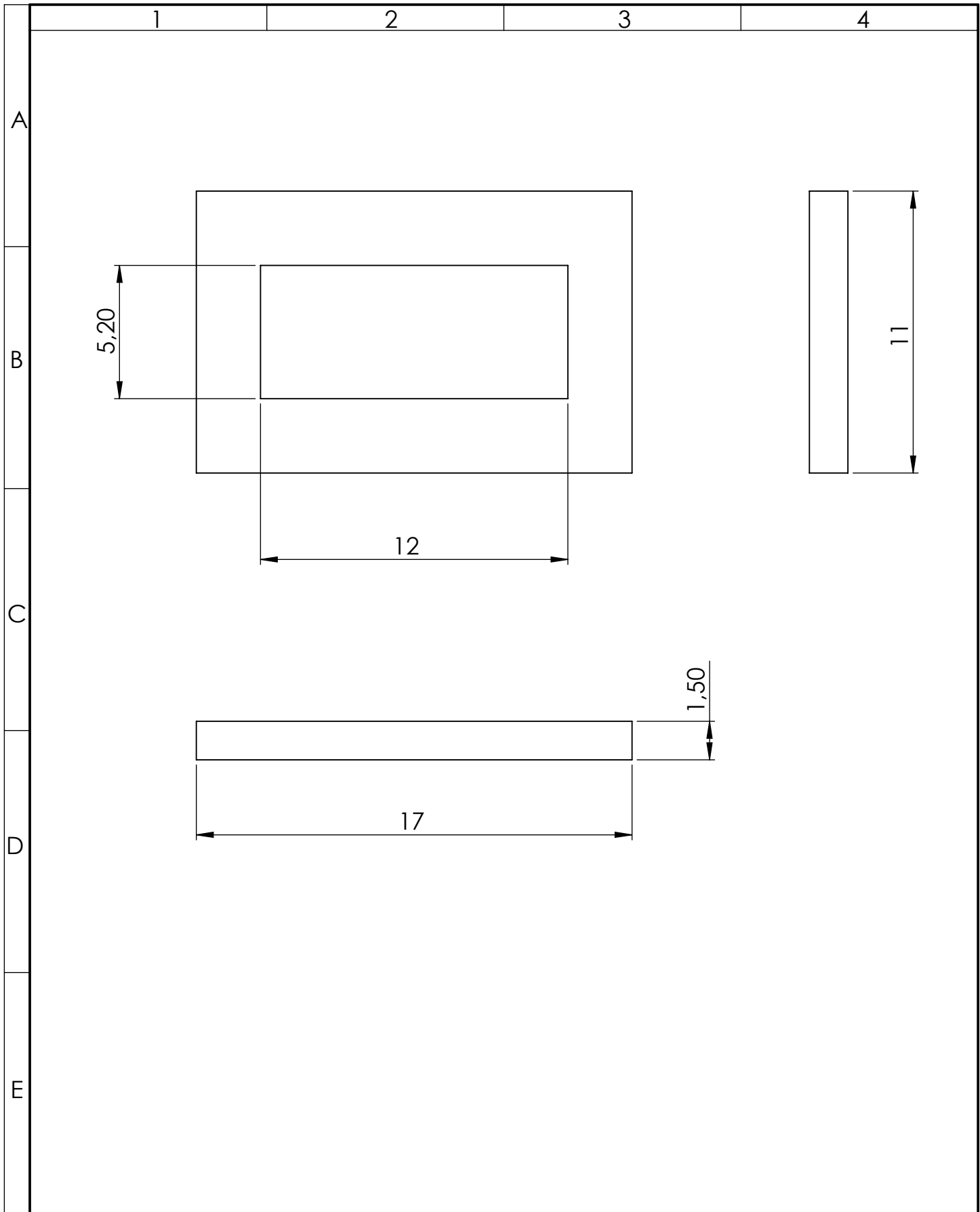
				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 614.32 g	Material: <b>Acero K100</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>Matriz de compactación de probetas de tensión</b>	Escala: 1:1
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Gálvez		
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin	N.º de lámina: Hoja 3 de 14	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	<b>U.T.A.</b> INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	



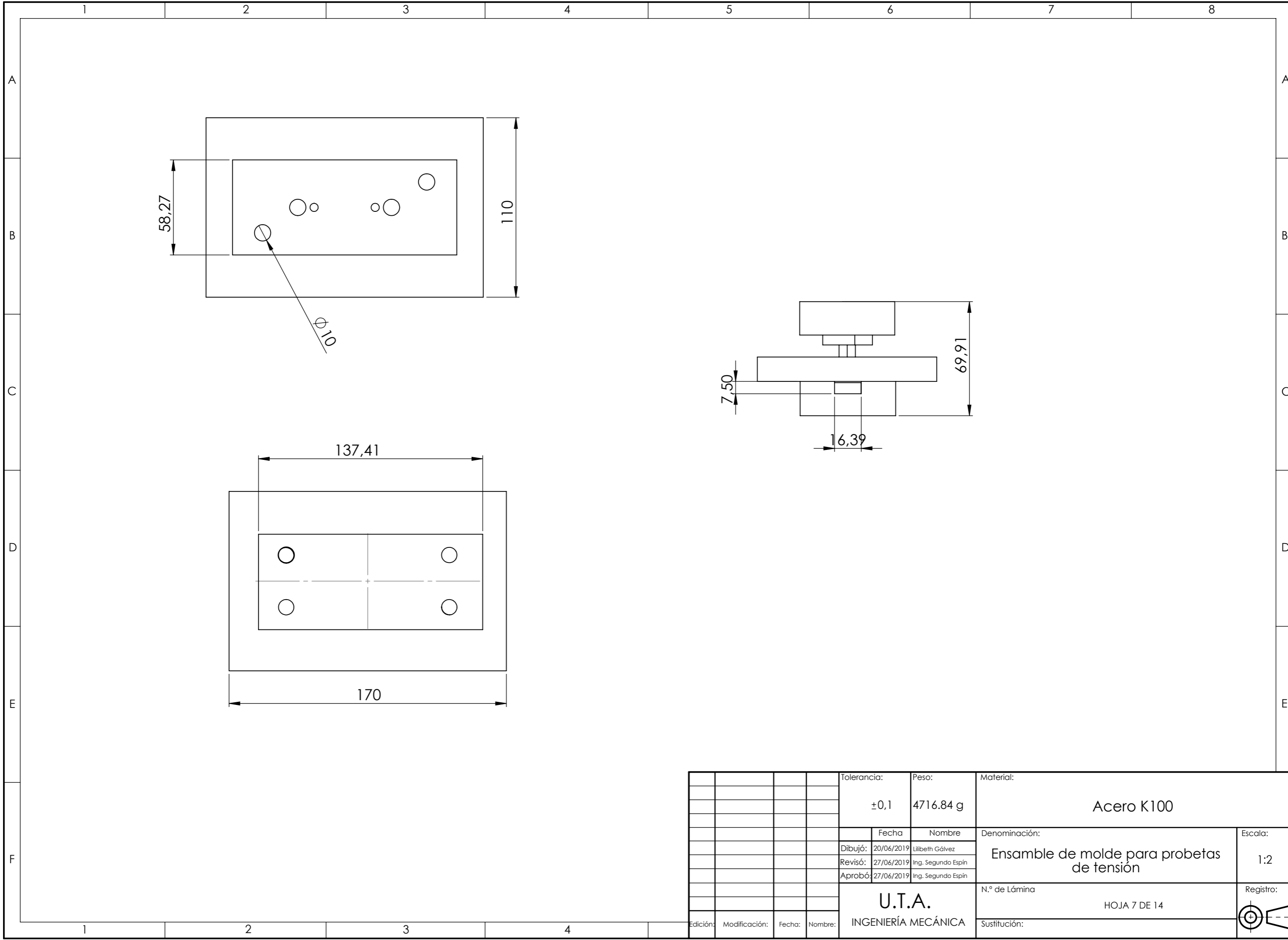
				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 1139.06 g	Material: <b>AISI 1045</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Gálvez	<b>Base de molde de tensión</b>	1:2
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				<b>U.T.A.</b>		N.º de lámina:	Registro:
				<b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>		Hoja 4 de 14	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



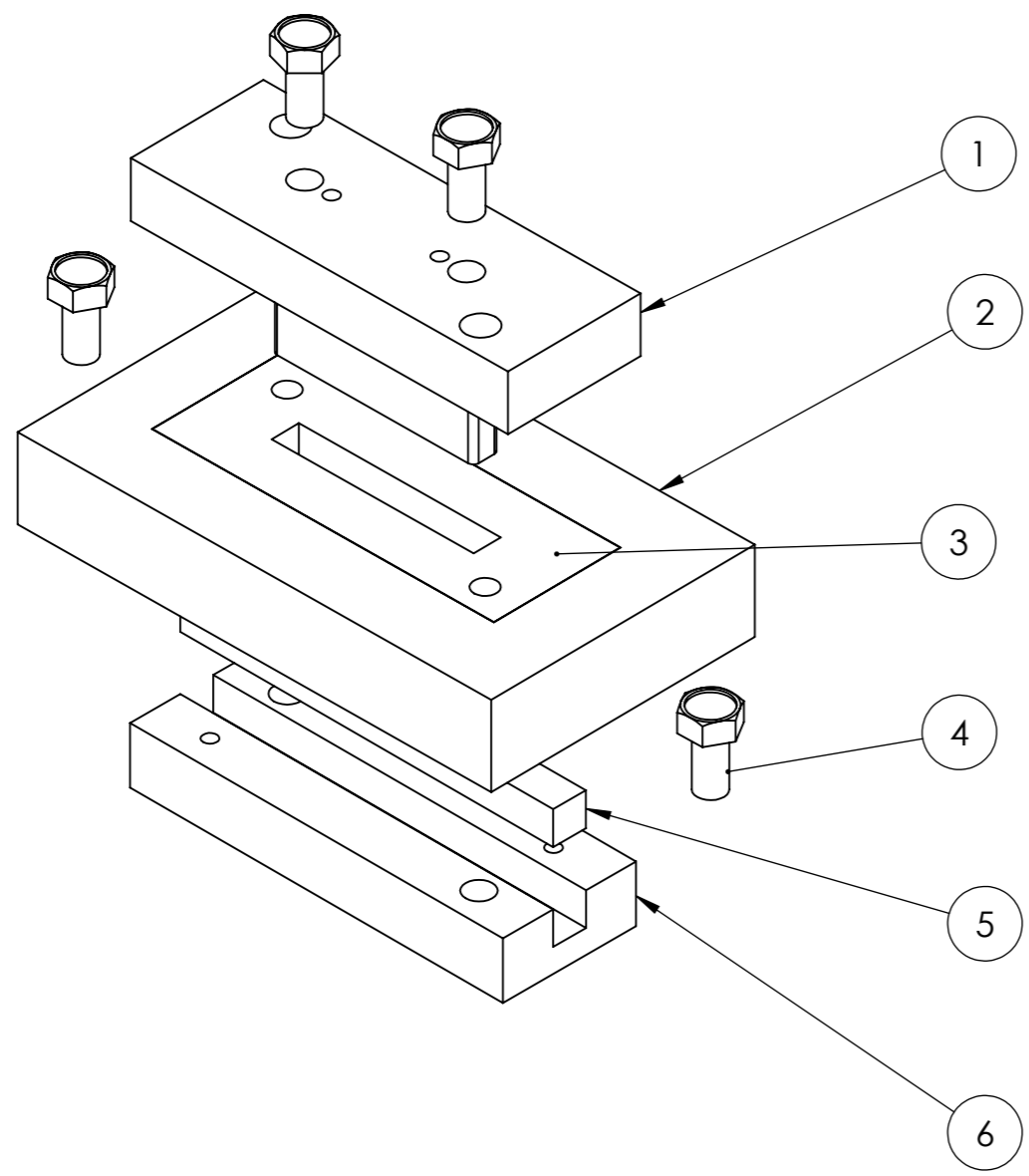
				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 104.33 g	Material: <b>Acero K100</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Gálvez	<b>Placa para desmontar probeta de tensión</b>	1:1
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				<b>U.T.A.</b>		N.º de lámina:	Registro:
				<b>INGENIERÍA MECÁNICA</b>		Hoja 5 de 14	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 1467.17 g	Material: <b>AISI 1045</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>Marco de matriz molde Tensión</b>	Escala: 1:2
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Galvez		
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin	N.º de lámina: Hoja 6 de 14	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	<b>U.T.A.</b> INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	

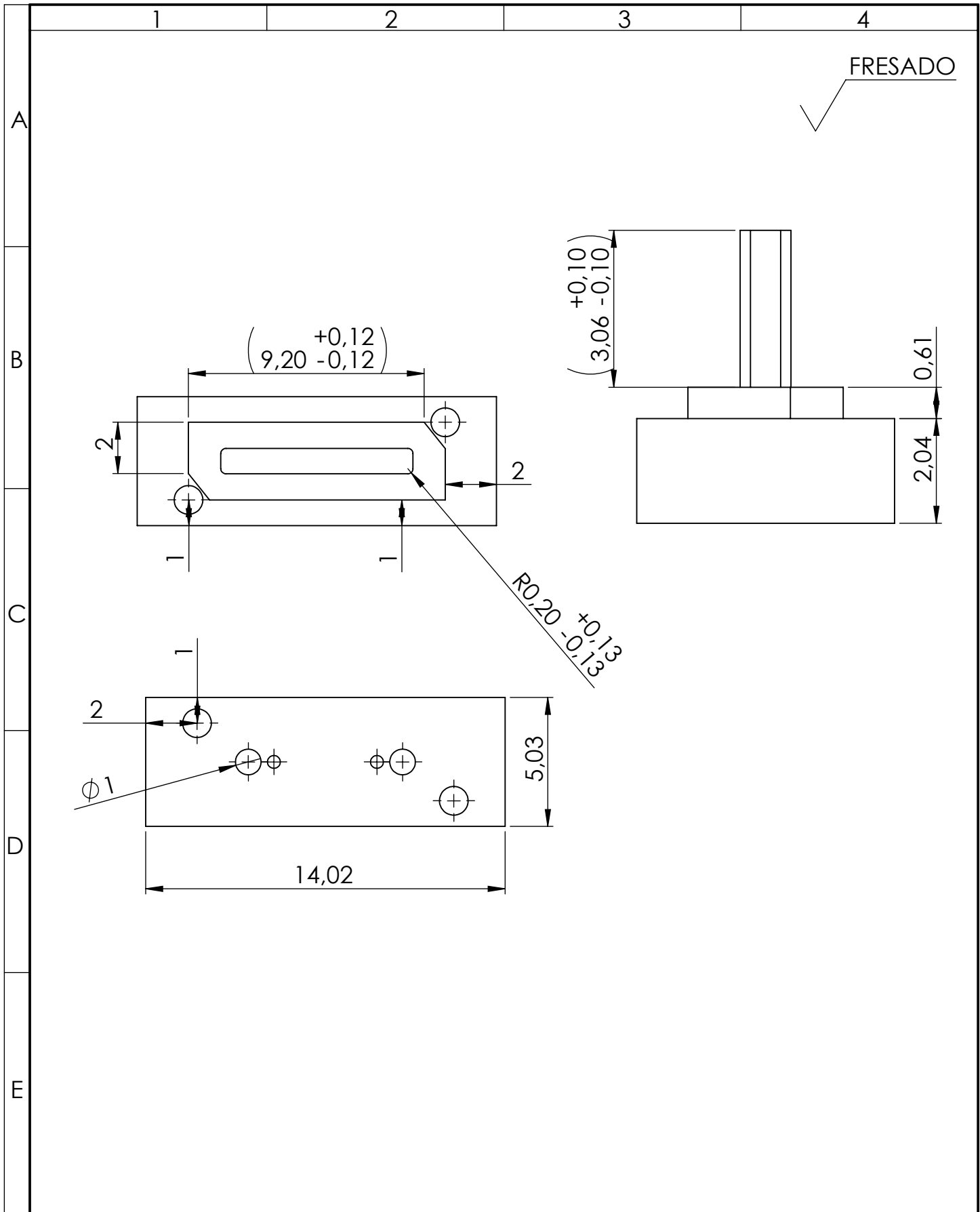


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0,1	4716.84 g	Acero K100	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	20/06/2019	Lilibeth Gálvez	Ensamble de molde para probetas de tensión
				Revisó:	27/06/2019	Ing. Segundo Espín	
				Aprobó:	27/06/2019	Ing. Segundo Espín	
				U.T.A.		N.º de Lámina	Registro:
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 7 DE 14	1:2
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:	

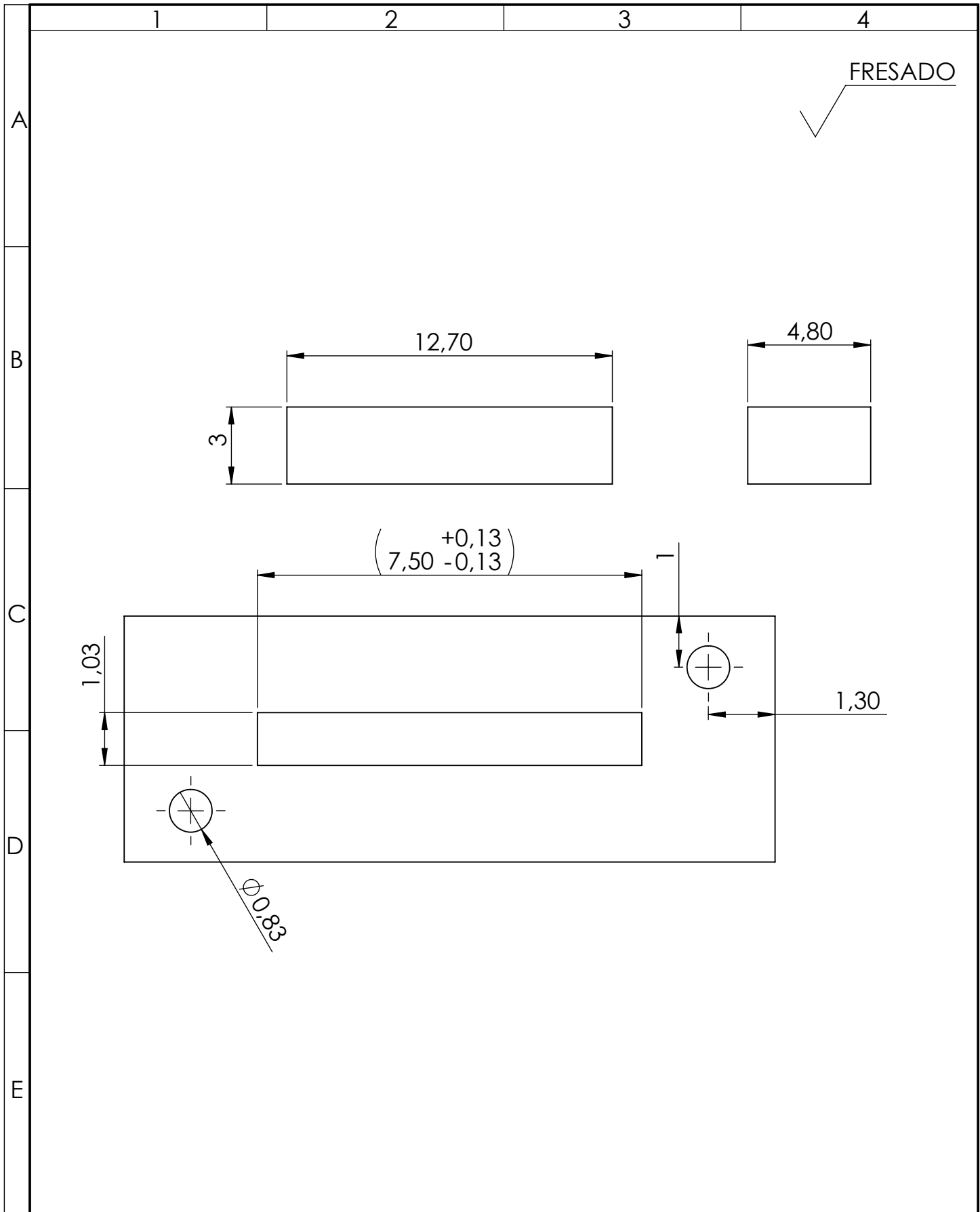


1	Base de molde de impacto	Lámina 11	AISI 1045	6	-	938.25gr	Construido
1	Placa para desmontar probeta de impacto	Lámina 12	K100	5	-	163.09gr	Construido
4	Perno M10x25	-	AISI 304	4	-	-	Adquirido
1	Matriz de compactación de probetas de impacto	Lámina 10	K100	3	-	1204.49gr	Construido
1	Marco de matriz de molde de impacto	Lámina 13	AISI 1045	2	-	2709.19gr	Construido
1	Placa Superior y punzón para probetas de impacto	Lámina 9	K100	1	-	1353.73gr	Construido
No. de pieza	Denominación	No. de Norma/Dibujo	Material	No. de orden	No. del Modelo/semiproducto	Peso	Observaciones

Tolerancia:		Peso:		Material:			
±0,1		6381.10 g		Acero K100			
Fecha		Nombre		Denominación:			Escala:
Dibujó: 20/06/2019		Lilibeth Gálvez		Molde para obtención de probetas para ensayo de impacto			1:2
Revisó: 27/06/2019		Ing. Segundo Espín		N.º de Lámina			Registro:
Aprobó: 27/06/2019		Ing. Segundo Espín		HOJA 8 DE 14			
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		Sustitución:	

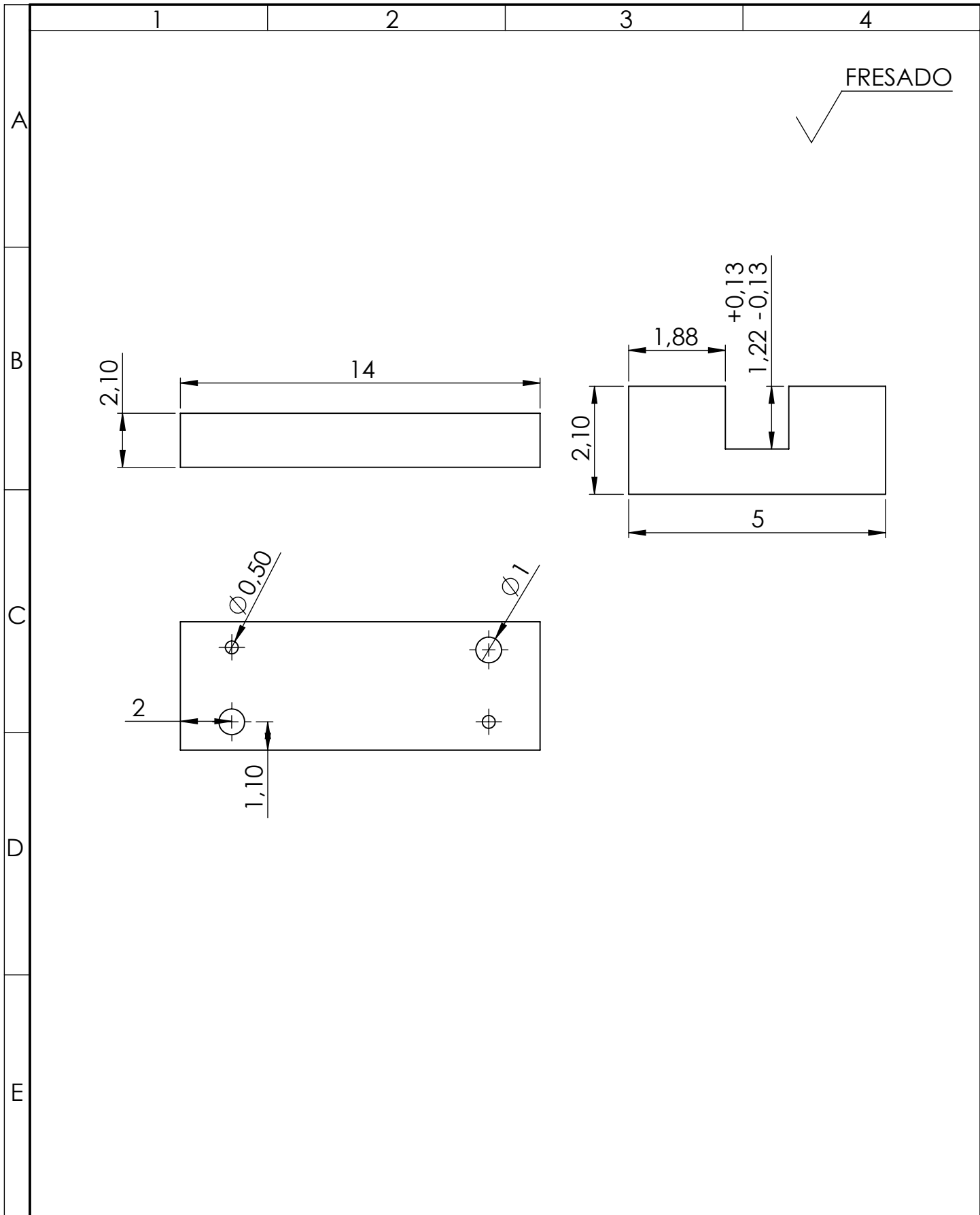


				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 1353.73 g	Material:  K100	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Gálvez	Placa superior y punzón para probetas de impacto	1:2
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				<b>U.T.A.</b>		N.º de lámina:	Registro:
				INGENIERÍA MECÁNICA		Hoja 9 de 14	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				
				(Sustitución)			

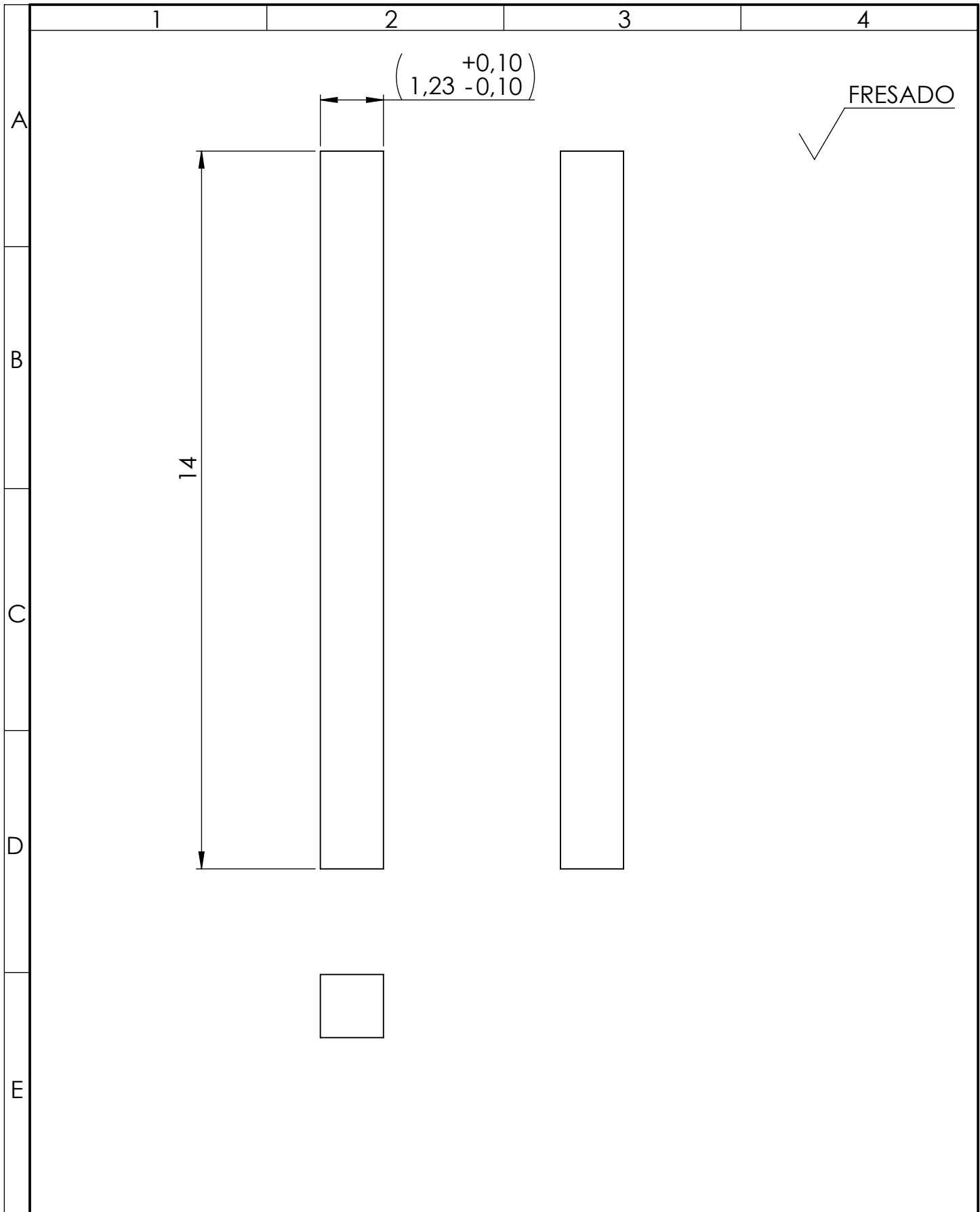


				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 1204.49 g	Material:  K100	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>Matriz de compactación de probetas de impacto</b>	Escala: 1:2
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Galvez		
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				<b>U.T.A.</b>		N.º de lámina: Hoja 10 de 14	Registro:
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(sustitución)	

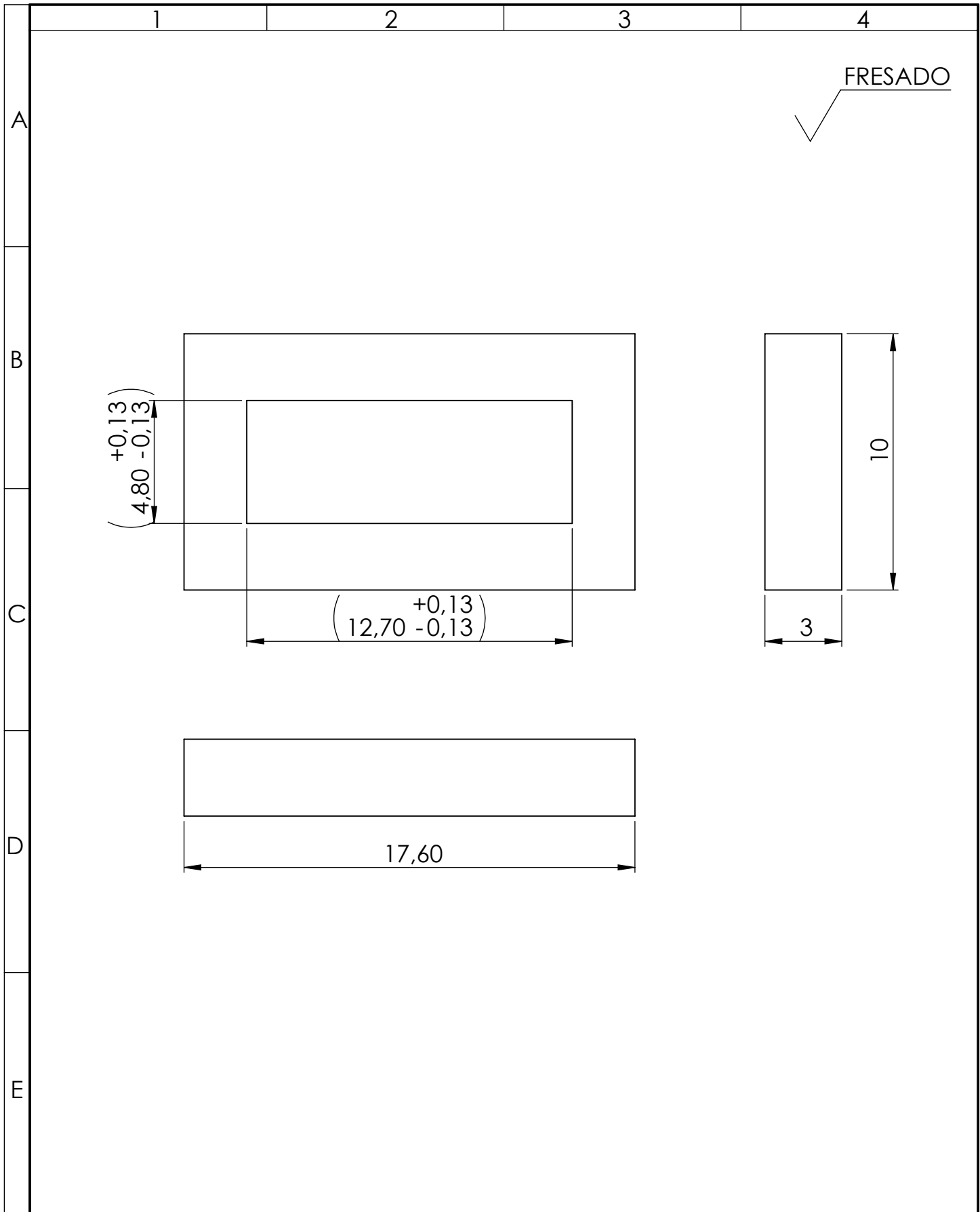




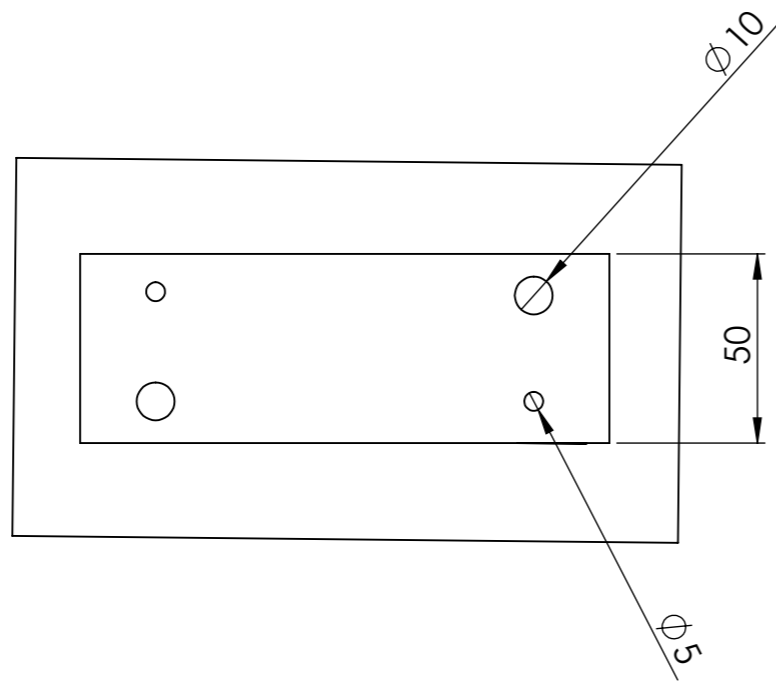
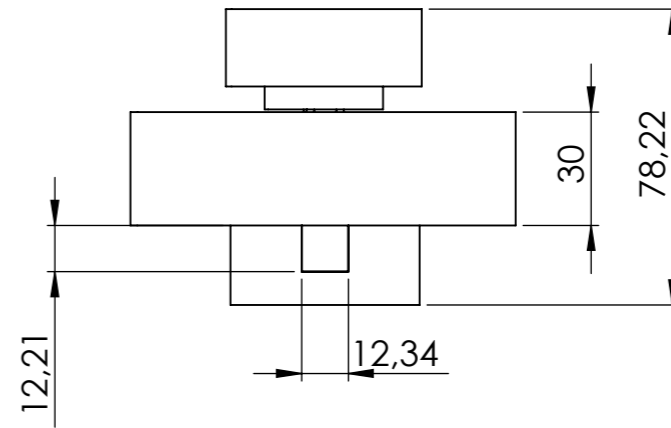
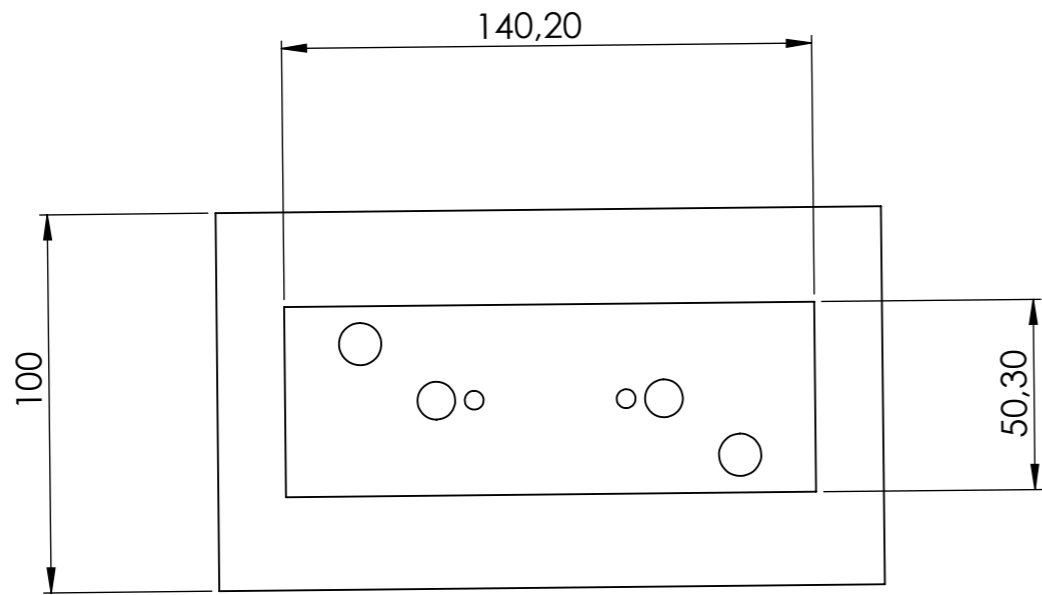
				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 938.25 g	Material:  K100	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>Base de molde de impacto</b>	Escala: 1:2
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Galvez		
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				<b>U.T.A.</b>		N.º de lámina: Hoja 11 de 14	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	



				Tolerancia: $\pm 0.1$	Peso: 163.09 g	Material: <b>Acero K100</b>	
				Fecha:	Nombre:	Denominación: <b>Placa para desmontar probeta de impacto</b>	Escala: 1:1
				Dibujó: 20/06/2019	Lilibeth Gálvez		
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				<b>U.T.A.</b>		N.º de lámina: Hoja 12 de 14	Registro: 
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	INGENIERÍA MECÁNICA		(Sustitución)	



				Tolerancia:		Material:	
				$\pm 0.1$	2709.19 g	AISI 1045	
				Fecha:	Nombre:	Denominación:	Escala:
				Dibujó: 20/06/2019	Lilbeth Galvez	Marco de matriz de molde de impacto	1:2
				Verificó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espin		
				<b>U.T.A.</b>		N.º de lámina:	Registro:
				INGENIERÍA MECÁNICA		Hoja 13 de 14	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	



				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				$\pm 0,1$	6368.76 g	Acero K100		
				Fecha	Nombre	Denominación:		Escala:
				Dibujó: 20/06/2019	Lilbeth Gálvez	Ensamble General de molde para probetas de impacto		1:2
				Revisó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espín			
				Aprobó: 27/06/2019	Ing. Segundo Espín			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º de Lámina	Registro:	
						HOJA 14 DE 14		
Edición:	Modificación:	Fecha:	Nombre:			Sustitución:		