

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

“Diseño de una Mesa de Senos para la
verificación metrológica de una
máquina de medición por
coordenadas”.

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero en Mecatrónica
Con la Especialidad
En Diseño para Manufactura

Presenta:

Oswaldo Aaron Flores Camacho
Matrícula 201920851

Asesor:

Mtro. Eduardo Orozco Magallón

Coacalco de Berriozábal, octubre 2024

Resumen

La ciencia de la metrología es parte de nuestra esencia humana. Nos da una tranquilidad de exactitud, reduciendo al mínimo los errores en las mediciones. Un instrumento clave dentro de este contexto es la mesa de senos. Este proyecto busca diseñar una mesa de senos que sea óptima para su uso dentro del laboratorio de metrología del Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo). La mesa de senos permitirá mantener la máquina de medición por coordenadas (MMC) dentro de los márgenes de error permisibles, conforme a la certificación otorgada por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

La metrología es de gran importancia en la industria manufacturera, donde se utilizan instrumentos de medición comunes para los especialistas, como el pie de rey y los micrómetros. La relación del Tecnológico con la industria manufacturera es económica. El acceso a una máquina de medición por coordenadas en las pequeñas y tal vez medianas empresas es limitado, y más aún, mantener las certificaciones correspondientes. Este proyecto también busca aportar al tecnológico de estudios superiores de Coacalco de un instrumento que permita llevar a cabo las verificaciones intermedias de la máquina de medición por coordenadas de una manera más rápida y eficiente lo que permitirá reducir el tiempo en el que se llevan a cabo dichas verificaciones e incrementar la eficacia de éstas.

Abstract

This abstract presents the design of an optimal sine table for the dimensional metrology laboratory of the Technological Institute of Higher Education of Coacalco, using a continuous proposal approach to guide the design process. The proposals considered include a semi-automated table, modular clamping table with custom tools, and a classic design with a screw-pressing system.

The final choice of a classic design is based on its compatibility with the laboratory's mode of operation, allowing for optimized work. It is recognized that the addition of electromagnetic elements such as magnets and mechanical and electronic components can impair the behavior of the coordinate measuring machine, thus justifying the choice of a conservative approach.

This design approach is expected to improve efficiency in the process of intermediate verifications of the coordinate measuring machine by providing a stable and reliable platform for measurements, while minimizing the challenges associated with calibration and maintenance.

Índice

Resumen	2
Abstract	3
<i>Objetivo General</i>	5
<i>Objetivos Específicos</i>	5
Alcances y Limitaciones	6
Justificación	7
Planteamiento del problema	8
CAPÍTULO 1: Marco Teórico	10
<i>HISTORIA: Origen de la Metrología</i>	10
<i>Patrón</i>	11
<i>Máquina de Medición por Coordenadas (MMC):</i>	12
<i>Sonda</i>	12
<i>Antecedentes del Laboratorio</i>	13
<i>Mediciones:</i>	13
<i>Posiciones de medida</i>	13
CAPITULO 2: Propuesta de Solución	17
<i>Mesa de Senos Automatizada</i>	17
<i>Mesa de Fijación Modular</i>	19
CAPITULO 3: Desarrollo del Proceso de Solución	22
<i>Posicionamiento</i>	22
<i>Fijación</i>	24
<i>Guía</i>	25
<i>Apoyo</i>	25
Resultados	28
Conclusiones	29
Bibliografía	30
Anexos	32

Objetivos

Objetivo General:

Diseño de un dispositivo especializado que permita manipular las posiciones de bloques patrón para llevar a cabo verificaciones intermedias de una máquina de medición por coordenadas.

Objetivos Específicos:

- Propuesta de diseño de una mesa de senos para sujetar bloques patrón.
- Las dimensiones y el diseño del artefacto permitirán medir los siguientes bloques patrón: 25 mm, 75 mm, 125 mm, 175 mm, 200 mm.
- El diseño permitirá 4 posiciones básicas para la máquina de coordenadas. Estar en posición "X", "Y", "XY" a 45° y debe permitir una elevación angular "XYZ".
- Debe haber algún método de sujeción que impida al bloque patrón desplazarse del punto cero de medición.
- Los materiales del dispositivo no deben de alterar el coeficiente de expansión térmica del material con el que están elaborados los bloques patrón.

Alcances y Limitaciones

Diseñar un mecanismo óptimo que pueda ser utilizado como herramienta para realizar los procedimientos y comprobaciones intermedias que requiera la Máquina de Medición por Coordenadas (MMC). El mecanismo debe permitir cumplir perfectamente con 5 posiciones básicas: “X”, “Y”, “XY” a 45° y una elevación angular “XYZ”. No debe haber fricción entre el palpador y el bloque patrón, entre la mesa de senos y la superficie de la MMC. No debe añadir propiedades al bloque patrón ni alterar las condiciones intrínsecas y extrínsecas del bloque patrón.

Los entregables del proyecto deberán contener archivos CAD del diseño de las piezas individualmente, su ensamblaje, los planos de las piezas y una simulación o video acerca del comportamiento de la mesa de senos.

Para el correcto desarrollo del proyecto son necesarios el recurso humano del profesor, su atención, guía, propuesta y aprobación en los cambios del diseño. Se necesitará a su vez, de una computadora que sea capaz de ejecutar sin problemas software específicos: SolidWorks y Word. También las licencias oficiales de ambos productos.

Finalmente, los criterios de evaluación que medirán el éxito de proyecto: debe estar bien dimensionado, que en la simulación se pueda observar la ejecución correcta de los patrones y que los archivos entregables puedan ser modificados para poder imprimir las piezas en máquina 3D.

Justificación

Todos los instrumentos de medición después de su calibración se deben verificar de manera periódica, se recomienda de 2 a 3 verificaciones intermedias entre intervalos de calibración esto con el fin de asegurar que el instrumento de medición trabaja dentro de los errores máximos permisible. En el Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco se cuenta con una Máquina de Medición por Coordenadas (MMC) y su método de medición está acreditado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

“Los laboratorios acreditados por la EMA son aquellos que han demostrado sus competencias y que disponen de un certificado oficial de acreditación a nivel nacional para desempeñarse en su rubro y ofrecer garantía de calidad a sus clientes”, [1].

La condición que se tiene actualmente en el laboratorio es que por cada intervalo de calibración se llevan a cabo de 2 a 3 verificaciones intermedias, sin embargo, el laboratorio no cuenta con un equipo que le permita posicionar los bloques patrón en las diferentes posiciones que establece el procedimiento de verificaciones intermedias del propio laboratorio, sobre todo en las diagonales y en las posiciones inclinadas. Si el laboratorio contará con un artefacto que le permitiera mejorar y eficientar las verificaciones intermedias que realiza, se tendría un parámetro que le permita a los meteorólogos conocer el comportamiento de la máquina en cuanto a los errores máximos permisibles y de esta manera decidir si la MMC debe ser calibrada en el tiempo estipulado por el laboratorio o antes de este.

Las Verificaciones intermedias pueden ser realizadas sobre medidas materializadas como lo son:

- Bloques patrón.
- Placa de barrenos BP1.
- Prototipo de medición Prot01.

El laboratorio toma el criterio de inspección visual como primer punto para la comprobación o verificación.

Consideraciones:

Equipos, accesorios y dispositivos necesarios

- MMC, arreglo de palpadores y master ball.
- Bloques patrón de longitudes fijas de 75 mm, 125 mm, 175 mm, 200 mm y 275 mm.
- Termómetro
- Mesa de Senos o Fixture

Planteamiento del problema

Para realizar las mediciones intermedias en la MMC, se utilizan 3 herramientas: una prensa, una escuadra de 45° y plastilina. La prensa es para evitar que el bloque patrón se desplace del punto de origen al contacto con el palpador. También la prensa se utiliza para posicionar correctamente el bloque patrón de acuerdo con los procedimientos internos. La escuadra funge como una extensión de la prensa, quien le da ese ángulo necesario. Finalmente, la plastilina es utilizada como un método de sujeción que busca evitar el desplazamiento, tanto para el bloque patrón como para la prensa, ésta se usa en ambos. Para poder moldear la plastilina hay que transmitirle energía térmica a través de las manos, de esta forma se calentará y permitirá transformar su forma hasta la deseada; dicha energía térmica se transmite al bloque patrón alterando el coeficiente de expansión térmica de este y agregando a la medición un error por alteración de dicho coeficiente de expansión térmica.

Una opción que se utilizaba antes era esperar el enfriamiento del bloque patrón, pero este proceso tarda aproximadamente 60 min, volviendo ineficiente la rentabilidad del uso de la plastilina. Darle agilidad y precisión al proceso permitirá tener mediciones más acertadas y rápidas de forma directa.

Otro problema que se presenta en la actividad de las verificaciones intermedias de la MMC es posicionar adecuadamente el bloque patrón de acuerdo con las posiciones recomendadas en la **tabla 1**, sobre todo en las posiciones diagonales a 45°

La prensa con la que cuenta actualmente el laboratorio es útil, pero su uso es limitado. La prensa no permite realizar mediciones con elevación angular debido a su diseño, esto complica el tema de las mediciones faltantes incluidas en la tabla 1.

El diseño del dispositivo especializado que se propone en este trabajo permite resolver los problemas antes mencionados, de tal manera que ya no se utilice la plastilina para fijar los bloques patrón, evitando la alteración del coeficiente de expansión térmica de éstos y hacer más rápido el proceso de verificaciones intermedias que actualmente se lleva a cabo en aproximadamente 16 horas para, también, permitir a los meteorólogos colocar los bloques patrón en diferentes posiciones diagonales e inclinadas los cuales les facilitará medir los bloques patrón tomando en cuenta diferentes posiciones en el volumen de la MMC.

CAPÍTULO 1: Marco Teórico

HISTORIA: Origen de la Metrología.

En [2], se define la palabra "metrología" la cual proviene del griego **metros** 'medida' y **logos** 'tratado'. Sin embargo, el término griego correcto es **metron** 'medida', lo que ajusta más adecuadamente la etimología de la palabra, de acuerdo con [3].

En la práctica, la metrología es parte de nuestra naturaleza humana al querer comprender, explicar y controlar nuestro entorno. Surge como una parte de nuestra esencia como especie y está presente desde los orígenes de la humanidad. Si nos damos cuenta la metrología estuvo, esta y estará presente en la economía, el sistema de pesaje, el consumo, el ganado, el intercambio, medición del terreno, la música, entre muchas otras cosas. Desde sus orígenes, la intención fue crear un sistema que diera certeza de la cantidad que se medía, se obtenía o que se quería intercambiar, dándole un valor numérico, preciso e incluso significativo a las cosas, [2] [4] [5].

En la **Figura 1** se observa la forma en que el ser humano tomaba algunas medidas antes de que existiera el sistema métrico decimal, echando mano de lo que llevaba encima, su propio cuerpo, para contabilizar e intercambiar productos [4].

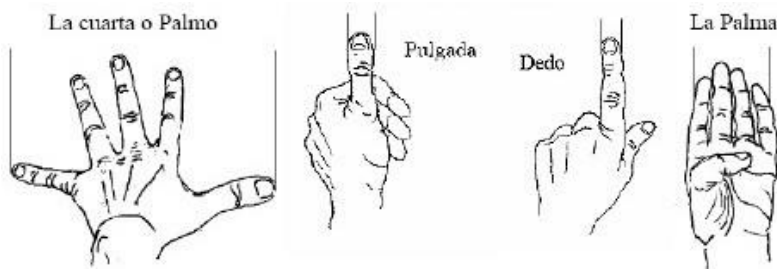


Figura 1: Palma, Cuarta, Dedo y Pulgada. Obtenido de: [5].

Como se puede apreciar, la metrología tiene un origen primitivo que nos acompañó desde el inicio de nuestro desarrollo como especie. La primera vez que se tiene registro de una estandarización global e internacional para la creación de un sistema de unidades fue en la época de la revolución francesa cuando los científicos de la Academia de Ciencias de París unificaron las numerosas unidades existentes. Denominaron "metro" a la longitud del cuadrante meridiano terrestre, este hito marco

un punto de inflexión porque la medida del cuerpo humano se dejaba de lado para dar una nueva medida por excelencia que consistía en el planeta tierra, dando origen al sistema métrico decimal en 1793 [6] [7].

Durante las décadas siguientes y después de la revolución francesa, la comunidad internacional fue adoptando el sistema hasta que, en París, el 20 de mayo de 1875, se reunieron embajadores de 17 naciones en la que se firmó el Tratado de la Convención del Metro. En este suceso no solo se comprometieron a utilizarlo, comenzando la estandarización, si no que se reconoce la utilización de los segundos como unidad de tiempo. El encuentro es conocido como Ministère des Affaires Étrangères (Conferencia General de Pesos y Medidas), en este mismo encuentro se comprometieron a reunirse constantemente para revisar y proponer posibles mejoras [6].

Dentro de la industria manufacturera, la metrología es crucial. Cuando se busca realizar una producción en masa o en serie, siempre debe haber una pieza o patrón maestros que tenga geometrías y dimensiones correctas y, que, además, también permita crear una homogeneidad en el proceso de fabricación. Estas características permitirán que, sin importar la empresa, el país o las maquinas puedan replicarse con las mismas características, esto brinda a la empresa ahorro de recursos humanos, tiempo y dinero al crear una estandarización internacional [8].

Esta introducción no pretende ser una recopilación exhaustiva en la historia de la metrología. Sin embargo, se centra en presentar conceptos históricos básicos que permitan explicar su relevancia en las aplicaciones expuestas en este trabajo, como el **patrón**.

Patrón:

De acuerdo a la definición proporcionada en [2], el **patrón** es una medida materializada, instrumento de medir, material de referencia o sistema de medición, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud, a fin de transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medir.

Por lo tanto, los **bloques patrón** son piezas maestras de precisión con dimensiones conocidas con gran exactitud. Ver **Figura 2**. Se utilizan para calibrar otros instrumentos y verificar su precisión de acuerdo con [9].



Figura 2: Juego de Bloques Patrón. Obtenido de: [10]

Máquina de Medición por Coordenadas (MMC):

Una máquina de medición por coordenadas utiliza una sonda electrónica que se desplaza en un plano de coordenadas XYZ para medir un objeto sólido. La sonda se posiciona en los puntos específicos del objeto y estas mediciones confirman las medidas de la pieza [11].

Sonda:

Las sondas que usan contacto físico, en lugar de luz óptica o láser, se basan en puntas esféricas hechas de rubí u otro material rígido y estable que no cambiará de tamaño debido a las fluctuaciones de temperatura [11].

La sonda y el palpador están conectados a dispositivos electrónicos muy sensibles que detectan incluso la más mínima desviación en la resistencia eléctrica proveniente de la sonda. Cada vez que la punta esférica entra en contacto con un objeto sólido y se ve obligada a desviarlo, genera una señal eléctrica que se registra

en el ordenador. Se puede medir cualquier número de puntos dependiendo de los requisitos de la pieza [11].

Mesa de Senos:

En [9], se describe la mesa de senos como una superficie extremadamente plana y dos proyecciones rectangulares, conocidas como "senos", que están dispuestas en ángulo recto entre sí. Estos senos se utilizan para sostener y posicionar tanto las piezas que se van a medir como los instrumentos de medición.

Antecedentes del Laboratorio:

Mediciones:

En el laboratorio de metrología, se utilizan bloques patrón de diferentes longitudes, como 25 mm, 75 mm, 125 mm, 175 mm y 200 mm, para la verificación de los ejes "X", "Y" y "Z". Estos bloques deben ser medidos en cuatro posiciones específicas, tal como se muestra en la Tabla 1. Además, el personal del laboratorio tiene la opción de realizar mediciones adicionales si lo considera necesario, pero estas no son obligatorias [12].

Como se muestra en la **Tabla 1**, el volumen de medición debe abarcar un 66% de los puntos paralelos a los ejes "X" y "Y", y un 60% de los puntos en las diagonales de la máquina de medición por coordenadas (MMC). Cada una de las longitudes seleccionadas se debe medir tres veces, manteniendo la misma alineación inicial sin desplazar el bloque patrón, y situando las mediciones a $Z = -10.00$ mm desde el punto de origen del patrón. En la **Figura 3** se ilustra la disposición de los bloques para asegurar que se logren al menos 60 mediciones [12].

Posiciones de medida:

La dinámica de trabajo en [12] indica que la medición consistirá en la determinación de longitudes desde un plano inicial a un punto central opuesto a ese plano inicial, los resultados que se obtengan serán comparados con los resultados emitidos en el informe o certificado de calibración de los Bloques Patrón o en su defecto se

compararán los resultados de cada verificación intermedia con los resultados de la medición de los Bloques Patrón realizada inmediatamente después de la calibración de la MMC utilizando los estadísticos y consideraciones pertinentes.

No. de Posición	Orientación en el volumen de medición	Requerida o por defecto
1	Paralelo a las escalas de la máquina del punto $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$ al $(1, \frac{1}{2}, 0)$	Requerida
2	Paralelo a las escalas de la máquina del punto $(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0)$ al $(\frac{1}{2}, 1, 0)$	Requerida
3	A lo largo de una diagonal en el punto $(0,0,0)$ al $(1,1,0)$	Requerida
4	A lo largo de una diagonal en el punto $(1,0,0)$ al $(0,1,0)$	Requerida
5	A lo largo de una diagonal en el espacio del punto $(1, 0, 0)$ al $(0, 1, 1)$	Opcional
6	A lo largo de una diagonal en el espacio del punto $(1, 1, 0)$ al $(0, 0, 1)$	Opcional
7	A lo largo de una diagonal en el espacio del punto $(0, 1, 0)$ al $(1, 0, 1)$	Opcional
8	A lo largo de una diagonal en el espacio del punto $(0, 0, 0)$ al $(1, 1, 1)$	Opcional
Nota: para las especificaciones en esta tabla, los vértices del volumen de medición se asumen ser en el origen $(0, 0, 0)$ y en su contraparte $(1, 1, 1)$ en coordenadas (X, Y, Z) .		

Tabla 1: Orientación en el Volumen de Medición. Obtenido de: [12].

Además de eso, [12] también indica que el alineamiento del artefacto se hará a partir del vértice más cercano a las coordenadas $(1, 1, 1)$ en “X”, “Y” y “Z”, se recomienda que el método de alineamiento sea usado consistentemente con los procedimientos usados para la calibración del artefacto.

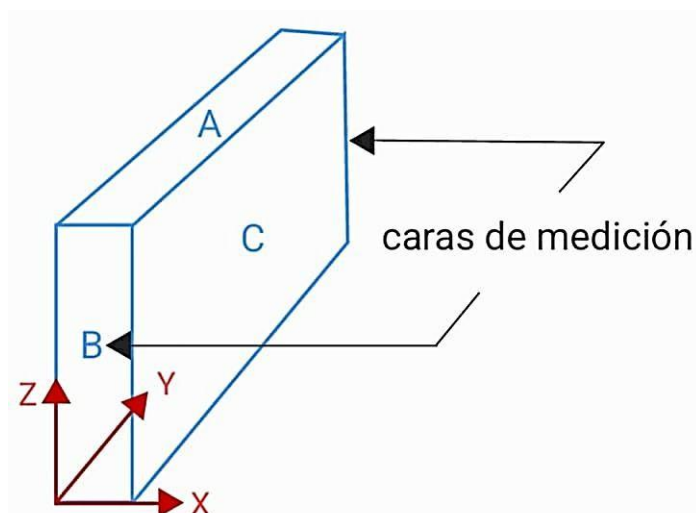


Figura 3: Alineación de los Bloques Patrón. Autoría propia.

El usuario puede especificar dos o todas las posiciones opcionales de ser consideradas en el espacio; usando una mesa de senos y los bloque patrón de 25 mm y 50 mm usados como cateto opuesto (según la ley de senos) y el bloque patrón de longitud de prueba de 200 mm, “**Figura 3. Medición en el espacio**”; medidas en dos o todas las posiciones opcionales (y sus inversos), **Tabla 1: “Orientación del Volumen de Medición”**, de forma que se abarque 60% de las máximas mediciones en las diagonales de medición “XY” de la MMC, cada longitud debe ser medidas tres veces, sin mover en absoluto la posición del bloque, a una distancia de $Z = -10.00$ mm a partir de la orientación general (Origen del patrón) en sus diferentes posiciones, entiéndase por esto que las tres repeticiones efectuadas compartirán en todo momento el alineamiento generado en la primera corrida. Tomar en cuenta las temperaturas correspondientes; para un total de 48 mediciones [12].

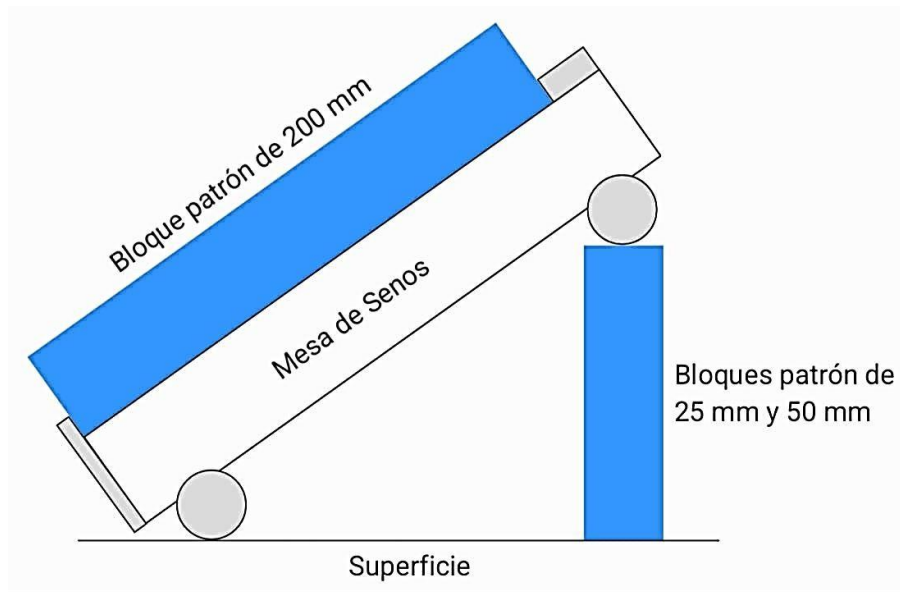


Figura 4: *Medición en el Espacio.* Autoría propia.

En esencia una mesa de senos es como la **Figura 5**. Utiliza el principio del teorema de Pitágoras para calcular el ángulo de inclinación. Para obtener mediciones correctas también es necesario tener ambientes controlados, es decir, debemos tener una superficie excelentemente plana, para evitar el mayor error posible, en el caso del laboratorio también es necesario tener una temperatura controlada $20^{\circ} \pm 1^{\circ}$.

CAPITULO 2: Propuesta de Solución

Mesa de Senos Automatizada:

Teniendo en cuenta las funciones que debe cumplir la mesa de senos de acuerdo con la **Tabla 1**, las primeras ideas se plantearon desde la base. El video [13] muestra un mecanismo automatizado que es capaz de levantar la placa superior de la mesa de senos. Este funcionamiento se ilustra en la **Figura 5**, donde se tienen una placa superior, un eslabón, una parte movable, un eje y una forma de transmisión, en este caso un tornillo sin fin. El video [13] sirvió como partida para automatizar al menos el ángulo de inclinación de la mesa de senos propuesta en este trabajo.

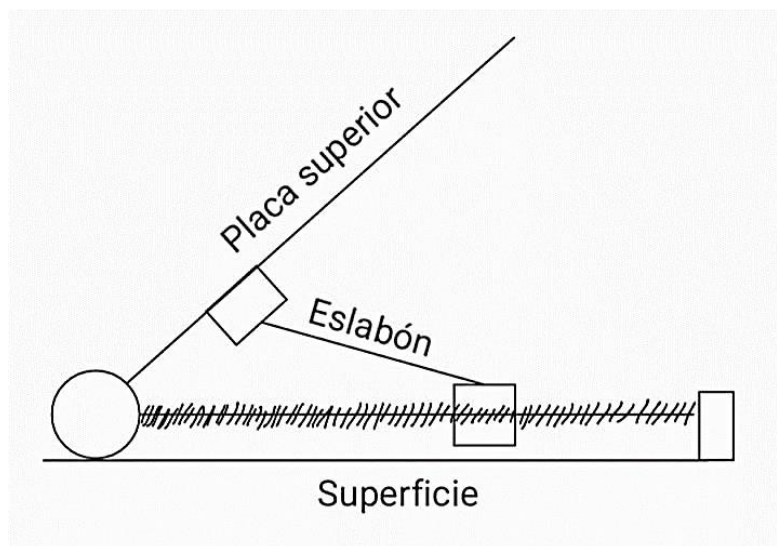


Figura 5: Idea General. Autoría propia.

La idea era realizar un mecanismo de levantamiento por medio de un servo motor, un tornillo sin fin y utilizando un giroscopio medir electrónicamente la altura a la que se elevaba la placa superior. Los componentes mecánicos como el motor, el tornillo, el eslabón y demás estarían ubicadas en la placa inferior.

En la placa superior se proponía poner una base giratoria graduada a 360° con escala en incrementos de 1°, la forma en que se podría desplazar sería por medio de un servo motor, un tornillo sin fin y un engrane helicoidal. Encima de esa base giratoria iría una prensa que podría sujetar el bloque patrón. Este diseño permitiría sujetar las piezas, girar a 360° y también la elevación angular.

La idea avanzo y se pudo realizar un modelado a modo de visualización (**Fig. 6 y 7**) el cual ilustrar su funcionamiento y componentes por medio de SolidWorks:

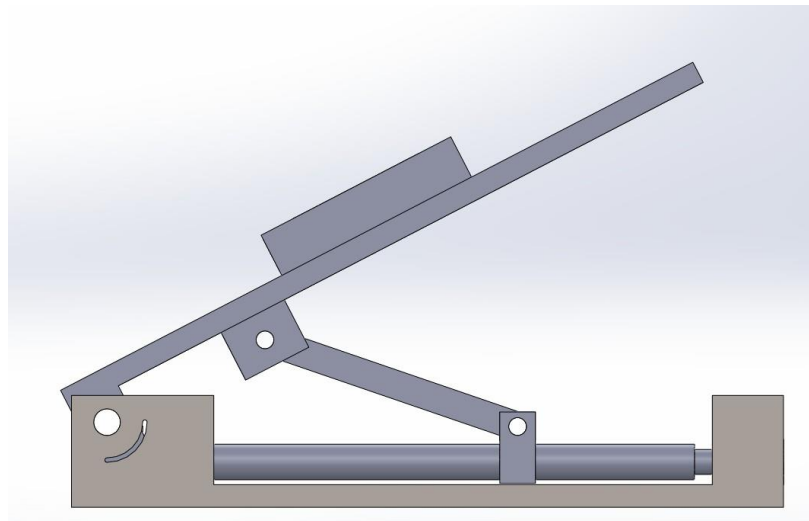


Figura 6: Concepto en SolidWorks: Vista 1. Autoría Propia.

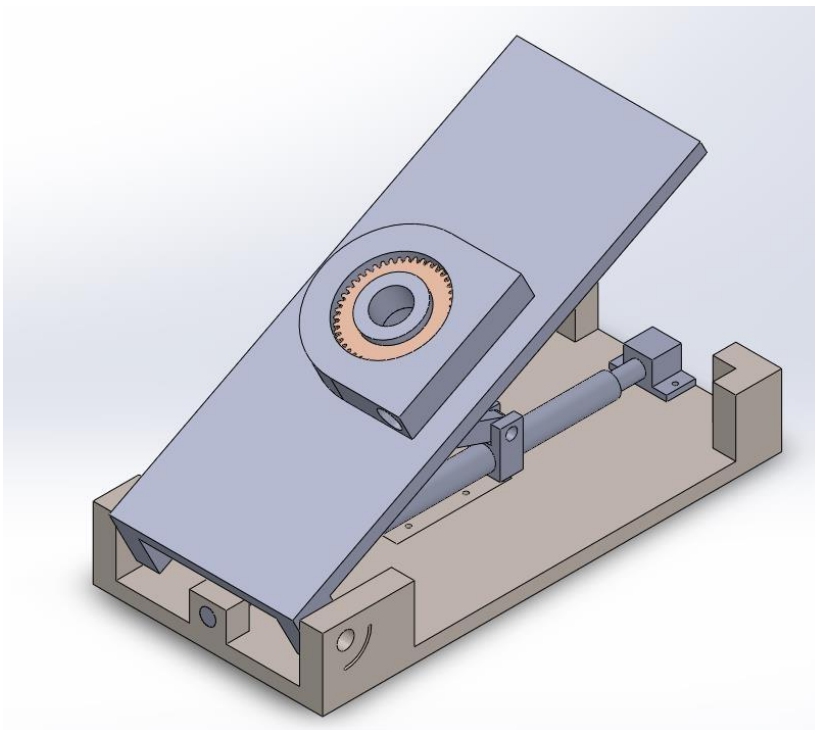


Figura 7: Concepto en SolidWorks: Vista 2. Autoría Propia.

En las **Figuras 6 y 7** se muestra la idea de automatización por medio de servo motores, dicha idea no es mala, sin embargo, no se podía llevar a cabo por limitaciones en el área de trabajo. Este diseño inicialmente no contemplaba las

limitaciones del espacio. Después de adicionar esta información se propuso regresar a un diseño más clásico de una mesa de senos, pero sin ningún componente mecánico complejo o electrónico para funcionar. Un diseño alternativo al que se expone en las **figuras 6 y 7** es que, en lugar de una prensa sencilla, se utilice un sistema de fijación modular que ofrezca mayor flexibilidad y adaptabilidad para los diferentes patrones facilitando las operaciones de la MMC. A continuación, se dio un paso más para una nueva propuesta al diseño.

Mesa de Fijación Modular:

Ahora se busca que la mesa de senos no sea automatizada si no que la placa superior tenga perforaciones o ranuras en forma de rejilla que permita el montaje de componentes de manera manual, con esto también se evita el uso de actuadores eléctricos los cuales en su funcionamiento generan calor que puede afectar el coeficiente de expansión térmica del material con el que están diseñados los bloques patrón y esto adicionar error en la medición. Esto permitirá que los distintos elementos de fijación (soportes, topes y abrazaderas) puedan colocarse en las posiciones de la **tabla 1** independiente del tamaño del bloque patrón.

Para el diseño de las piezas es necesario tener en cuenta el trabajo mostrado en [14], este nos explica que un accesorio como los que se plantean incorporar deben tener 5 funciones.

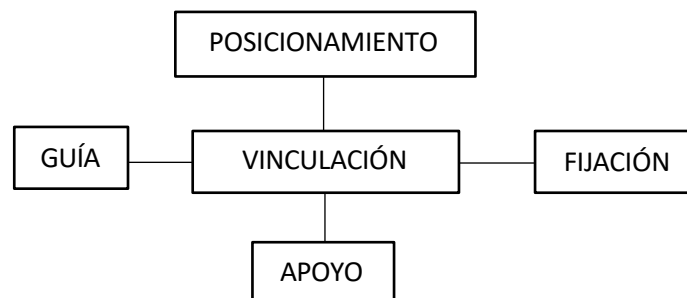


Figura 8: Cinco Funciones de un Accesorio. Recuperado de: [14].

Estas 5 funciones (**Fig. 8**) cumplen un trabajo individual, pero en conjunto aseguran la vinculación. El posicionamiento colocará el patrón en su posición correcta; la fijación asegura la pieza de trabajo contra su propio peso y la fuerza de corte; la

guía asegura una correcta trayectoria en la herramienta; finalmente, el apoyo soporta cualquier carga que pueda distorsionar la pieza, [14]

La mesa de senos debía tener estas características en sus propiedades para garantizar un correcto funcionamiento.

A continuación, en las **figuras 9 y 10**, se muestra la adaptación del diseño quitando todos los elementos mecánicos y electrónicos que se propusieron anteriormente. Esta mesa además no cuenta aún con los agujeros de posicionamiento debido a que se necesitaba más información acerca de su ubicación y debía de autorizarse la viabilidad de esta idea.

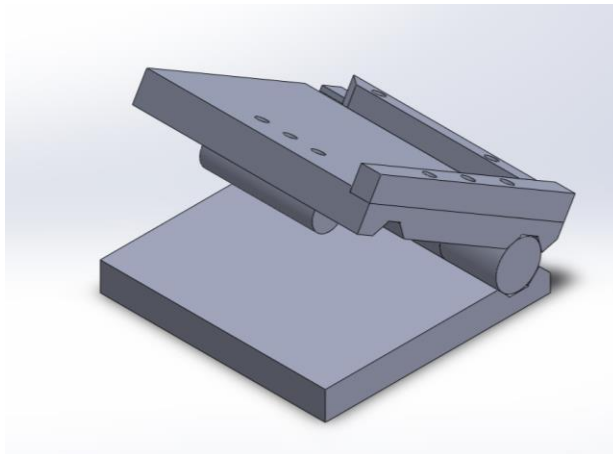


Figura 9: Mesa de Fijación Modular: Vista 1. Autoria Propia.

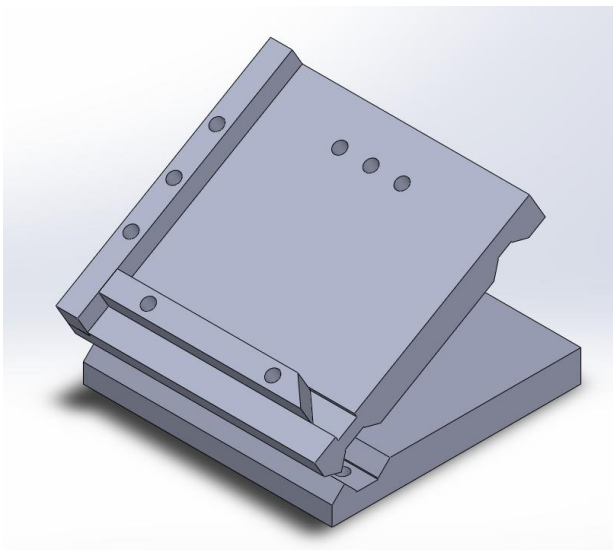


Figura 10: Mesa de Fijación Modular: Vista 2. Autoria Propia.

El rediseño contemplaba una placa base totalmente rectificada que pudiera colocarse en la superficie adecuada, un Bering o sistema de rodamiento que permitiera darle una elevación angular, una placa superior en la que hay paredes guía o fijas. Estas paredes que se observan en las **Figuras 9 y 10** iban a tener imanes en los costados para poder sujetar las piezas.

La idea anteriormente planteada se descartó debido, una vez más, a su elevado volumen, pero también al uso de imanes. El tamaño no permitiría ciertas mediciones en la MMC y los imanes podrían producir un error a la sonda generando su probable daño. Esto representa un problema en el diseño de la mesa de senos. Se debe replantear un rediseño que este dentro de las medidas máximas para que la MMC pueda efectuar sus actividades sin ningún problema.

El rediseño final propuso incorporar toda la información recaba hasta entonces, donde en el primer diseño teníamos el uso de elementos mecánicos y en el segundo la idea de utilizar accesorios para la fijación. Las limitaciones jugaron un papel importante debido al tamaño, peso y accesibilidad que debía contener el mecanismo, siendo este capaz de realizar las funciones de la **tabla 1**.

CAPITULO 3: Desarrollo del Proceso de Solución

En la **Figura 11** se observa el “Rediseño Final de la Mesa de Senos”, este diseño tiene en cuenta los puntos anteriores y evoluciona entendiendo las necesidades y limitaciones del laboratorio de metrología dimensional del tecnológico de estudios superiores de Coacalco (LMD TESCo).

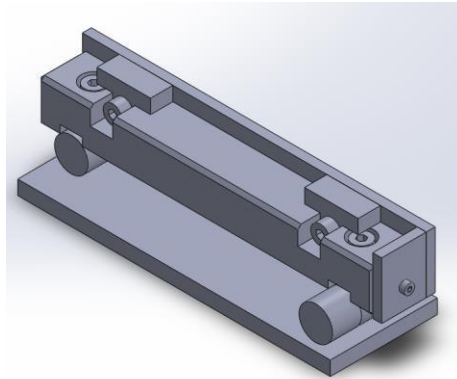


Figura 11: Rediseño Final de la Mesa de Senos. Autoria Propia.

Posicionamiento:

La decisión del sistema de fijación modular fue basado en las prensas del laboratorio Maquinas y Herramientas del TESCo y en las que el autor [14] describe en su trabajo.

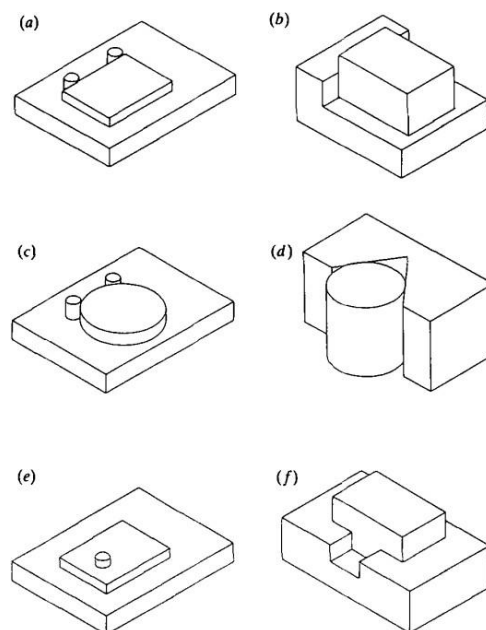


Figura 12: Ejemplos de Posicionamiento. Recuperado de: [14].

De acuerdo con la **Figura 8**, primero debe de escogerse un sistema de posicionamiento y como se observa en la **Figura 12**, sabemos que existen muchas variedades de formas físicas que se utilizan para el posicionamiento del dispositivo. En [14] se describe como:

- a) L1 (plano, 2 pines)
- b) L2 (Plano, Pared)
- c) L3 (Cilindro, 2 pines)
- d) L4 (Cilindro, Bloque en V)
- e) L5 (agujero, pin)
- f) L6 (Chaveta, Chavetero)

Por lo anterior es menester decidir un dispositivo que proporcione una geometría coincidente para restringir el movimiento de la pieza de trabajo. El posicionamiento elegido para el trabajo es la del inciso f). Este sistema de posicionamiento proporciona un riel en forma de chaveta en la cual evitara el desplazamiento de la prensa en T.

La **Figura 13** muestra la nueva propuesta de adicionar “clams” en forma de T, este diseño permite sujetar de forma eficaz cualquier tamaño de los bloques patrón.

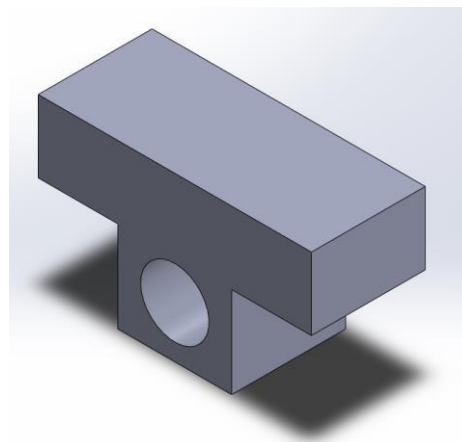


Figura 13: T-Slot Press. Autoria Propia.

El sujetar los bloques patrón es una acción importante debido a que impedirá mediciones con errores por movimiento de los bloques patrón. En el contexto del LMD TESCo, se utilizaba plastilina para evitar desplazamientos no deseados de

éstos, el problema con la plastilina es que transmitía la temperatura del bloque patrón y generaba un efecto de expansión térmica, dándole errores de medición al momento de la toma de datos. Este diseño de prensas no solo permitirá sujetar con firmeza cualquier bloque patrón, si no que evitara modificar el coeficiente de expansión térmica de éstos por la utilización de la plastilina como medio de sujeción, y esto disminuirá los errores significativamente.

Fijación:

En [14] se dice que la fijación es una acción que, por lo general, se lleva a cabo mediante un mecanismo. La **tabla 2** describe que, un mecanismo de sujeción incluye actuadores, mecanismos de transmisión de fuerza y herramientas de sujeción. Los actuadores o fuentes de energía que se utilizan habitualmente en los dispositivos de sujeción pueden ser transmisión manual, pistones neumáticos e hidráulicos, motores eléctricos, imanes de solenoide, etc.

Actuador	Mecanismo de Transmisión	Herramienta de Sujeción
Transmisión Manual	No tiene	Un punto
Pistón Neumático	Abrazadera de Correa	Dos puntos
Pistón Hidráulico	Enlace Mecánico	Multipunto
Motor Eléctrico	Cuña	Superficie Convexa
Imanes de solenoides	Leva Engranaje Tornillo	Superficie Cóncava Cubierta

Tabla 2: Posibles Combinaciones de un Sistema de Fijación. Recuperado de: [14].

Por lo tanto, es crucial determinar qué mecanismo de fijación se utilizará y cómo se transmitirá la fuerza. En este caso, se planea emplear un tornillo Allen M5-0.8x20 (**tabla 6**) para lograr la fijación. Esto implica que se realizará una transmisión manual del esfuerzo mediante la rotación del tornillo, que se apoyará en un punto fijo y actuará dentro de un canal previamente mecanizado para asegurar la correcta alineación de las piezas.

Guía:

En general, en [14] se dice que las herramientas deben guiarse o posicionarse de manera que se alcance el grado de precisión necesario, por lo que se requiere una función de guía en el dispositivo para garantizar las posiciones relativas de las herramientas y las piezas de trabajo. Un casquillo se utiliza comúnmente para guiar un taladro o un escariador para hacer un orificio en una pieza de trabajo. Sin embargo, un casquillo necesita una estructura que lo sostenga en su posición; colocado entre la pieza de trabajo y la herramienta de corte, puede convertirse en un obstáculo en la carga y descarga de la pieza de trabajo.

Actuador	Mecanismo de movimiento	Mecanismo de bloqueo
Fuerza manual	Cremallera y piñón	Pasador de bloqueo
Cilindro neumático	Cadena y piñón	Perno de sujeción
Cilindro hidráulico	Leva y rodillo	Cierre de leva
Tornillo manual	Tornillo y cuerda	Rosca bloqueada

Tabla 3: Posibles Combinaciones de la Función de Guiado en Perforación. Tabla adaptada, recuperada de: [14].

La **tabla 3** ordena estas ideas y las posiciona de modo que observen las posibles combinaciones que se pueden obtener para un sistema guiado en perforación. En este caso el actuador que se utilizará para el sistema de fijación (el tornillo) es por medio de su correspondiente cuerda.

Apoyo:

Los bloques patrón son piezas que, debido a sus caras planas, requieren puntos de apoyo igualmente planos para garantizar una sujeción adecuada. Sin embargo, algunas piezas presentan geometrías complejas que dificultan su fijación. La patente [15] propone un método de sujeción adaptable a estas formas irregulares. Este tipo de fijación sería un sistema que se ajusta a la geometría de un objeto, permitiendo una sujeción firme y evitando el movimiento.

En este caso y para crear el sistema de apoyo, hay que tener en cuenta lo que se dice en [14]: “un punto de apoyo ajustable puede sostener la pieza de trabajo pero no distorsionarla”. A partir de esta limitante, es que se decidió realizar los soportes de la **figura 14**.

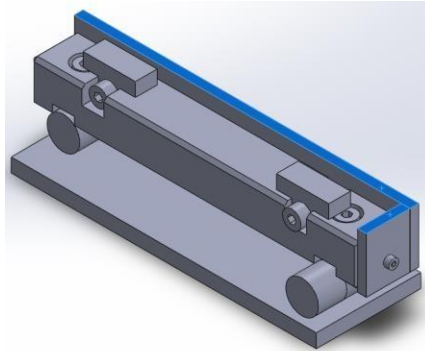


Figura 14: Puntos de Apoyo. Autoria Propia.

Las paredes que se muestran de azul en la **figura 14**, son elementos que dan una superficie plana que sirven como referencia y como mordazas fijas. Al tener contacto con la mordaza móvil (**figura 13**) generará una fuerza de presión e impedirá el movimiento.

Las vistas seccionadas (**fig. 15 y 16**) describen visualmente la forma de sujeción que se implementó, en este caso fue una transmisión manual por medio de un tornillo Allen M5-0.8x20 junto con las paredes de soporte que permitirán al bloque patrón posicionarse de forma correcta permitiendo y cumpliendo y completando el sistema de vinculación (**figura 8**).

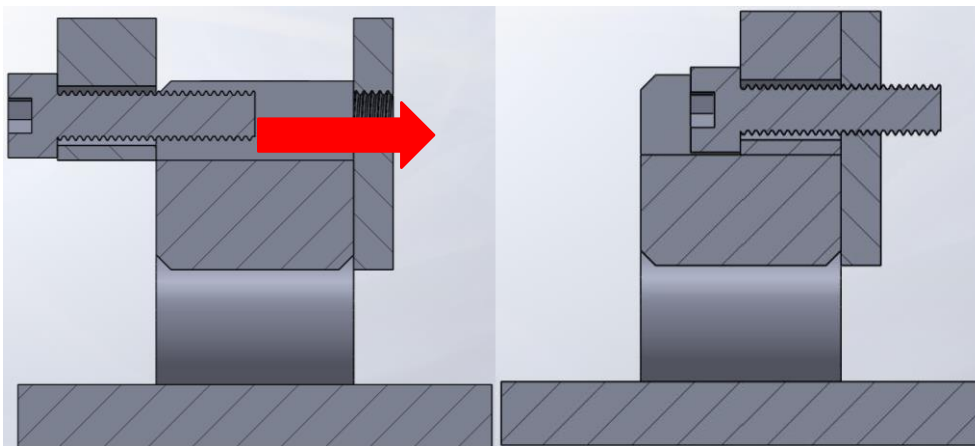


Figura 15 y 16: Funcionamiento Ejemplificando las CLAMS. Autoria Propia.

Como se observa en la **figura 15** y **16**, el rediseño final retoma un diseño conservador de una mesa de senos, en este caso, se adiciona elementos mecánicos como se tenían planeado en los primeros diseños, pero sin utilizar ningún elemento electrónico. Este diseño final sintetiza al máximo las propuestas y las limitaciones que se tienen, cumpliendo con las necesidades y además simplificando su uso.

Resultados

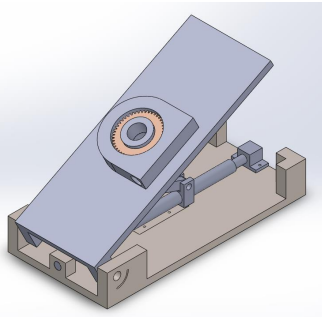
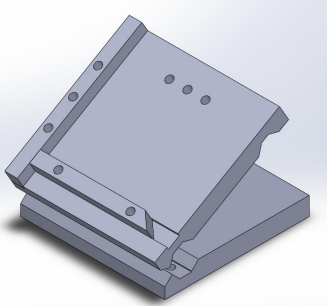
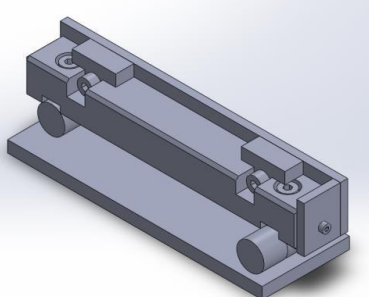
	Descripción	Ventajas	Desventajas
Mesa de senos Automatizada 	La mesa contaría con dispositivos electrónicos (servomotores, sensores) que permitieran desplazar la posición y transmitir las lecturas necesarias. Este diseño se inspiró en las mordazas que usan los fresadores para obtener ángulos específicos.	Todo parámetro podría ser visualizado a través de una pantalla como las alturas, ángulos de elevación y rotación. Capacidad para realizar el proceso en una posición.	Peso, costo y cantidad de materiales mecánicos que requiere para funcionar. Mantenimiento, lo podría volver ineficiente
Mesa de Fijación Modular 	Mesa de senos que se le quito cualquier aparato electrónico y se volvió a un diseño clásico. La idea detrás de este diseño era realizar una mesa de fijación modular con varios barrenos puestos estratégicamente para las mediciones requeridas.	Podría tener una sola posición en todo el proceso de medición.	Peso, costo y precisión que requiere la fabricación de este equipo. La cantidad de accesorios puede llegar a ser un problema para el operador si pierde uno o el accesorio proporcionado no es útil.
Mesa con Clams en T 	Diseño clásico de una mesa de senos a la que se le añadió prensas ("clams") en T, el diseño de estas prensas permite tener un amarre más amplio.	Es ligero y fácil de manipular. Puede ser maquinado o fabricado por impresión 3D. Llega a ser más barata su producción.	Tiene que ser manipulado manualmente para realizar los cambios de posición.

Tabla 4: Comparación de Resultados. Autoria propia.

Conclusiones

La mesa de senos es un instrumento demasiado importante, y no solo hablo en torno a los laboratorios de metrología, sino también en talleres mecánicos donde se utilicen máquinas herramientas. Antes del proyecto, yo ignoraba la existencia de este instrumento y su importancia en el área del diseño y la manufactura. También, no tenía conciencia de que el uso de ciertas herramientas como imanes o la plastilina llegan a alterar las propiedades físicas del material, este cambio en sus propiedades físicas nos genera un error que se vuelve incalculable a la hora de querer analizar el material o en este caso realizar una calibración a la MMC.

El diseño final cumple con los objetivos establecidos al inicio del proyecto:

Permite colocar dentro de la mesa bloques patrón con medidas superiores a 175 mm debido a sus dos mordazas y también un bloque de un tamaño de 25 mm gracias al diseño de la prensa en T, que permite agarrar gracias a sus extremos largos.

El diseño permite cumplir las 4 posiciones básicas para calibrar la MMC, gracias a su diseño con prensas permite sujetar y realizar calibraciones en posiciones “X”, “Y” y “XY” a 45°, cabe aclarar que se necesita un instrumento adicional como una escuadra, además de eso permite una libre elevación angular “XYZ”.

Además de los objetivos descritos al inicio del proyecto, la mesa de senos cuenta con una propiedad importante que es la ligereza debido a su tamaño, gracias a este tamaño puede ser fácilmente manipulable y permite movimientos rápidos y eficaces a la hora de posicionamiento en la MMC. Esta propiedad que no fue descrita al inicio del proyecto le dará versatilidad en su uso y además optimizará el trabajo de posicionamiento manual.

Bibliografía

- [1] Masstech. Importancia de la Acreditación EMA Bajo las NOM y NMX para Metrología Industrial [Internet]. Masstech. 2020 [citado 4 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://masstech.com.mx/importancia-de-la-acreditacion-ema-bajo-las-nom-y-nmx-para-metrologia-industrial/>
- [2] Marbán RM, Pellecer C. JA. Metrología para No-Metrólogos. 2a. ed. OEA; 2002. 129 p.
- [3] Grimshaw W. An Etymological Dictionary of the English Language, Containing the Radicals and Definitions of Words Derived from the Greek, Latin, and French Languages. Grigg, Elliot & Company; 1848. 326 p.
- [4] Gonzáles G. Lifeder. 2020. Historia de la Metrología Desde sus Orígenes. Disponible en: <https://www.lifeder.com/historia-metrologia/>
- [5] Centro Español de Metrología. Centro Español de Metrología. 2021 [citado 4 de septiembre de 2024]. Historia de la Metrología. Disponible en: <http://www.cem.es/es/cem/metrologia/historia>
- [6] Rosas E. Breve Historia.
- [7] Sainz Avia J. Del Cuerpo al Cosmos: Evolución de las Unidades de Medida en el Mundo Real. Inediciones [Internet]. junio de 1998;(2). Disponible en: <https://oa.upm.es/48991/>
- [8] Vazquez Ramirez VM. Metrología y Normalización. 13 de febrero de 2019; Disponible en: <https://rinacional.tecnm.mx/jspui/handle/TecNM/4867>
- [9] Márquez Albardías Ó. Fabricación de Piezas Mediante FDM para Prácticas de Metrología Dimensional. 2023;
- [10] R JL. BLOQUES PATRON | ¿Qué son, tipos, para qué sirven y como se usan? [Internet]. 2018. Disponible en: <https://como-funciona.co/bloques-patron/>
- [11] Máquinas de medición por coordenadas. ¿Qué es una Máquina de Medición de Coordenadas MMC? [Internet]. Máquinas de medición por coordenadas. 2020. Disponible en: <https://maquinasdemedicionporcoordenadas.com/2020/04/13/que-es-una-maquina-de-medicion-de-coordenadas-mmc/>
- [12] Navarro G, Dinorah Z. Procedimiento. Comprobaciones Intermedias de los Equipos de Medición. Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo); 2015.
- [13] Mesa de Seno Sem uso de Bloco Padrão - TCC TÉCNICO EM MECÂNICA - Metrologia Usinagem - YouTube [Internet]. 2019. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=qzYbHwvp75Y>

- [14] Liu C liang. A systematic conceptual design of modular fixtures. Int J Adv Manuf Technol. julio de 1994;9(4):217-24.
- [15] Kunze PK. Device for Obtaining Intimate Contact with, Engaging, or Clamping Bodies of Any Shape [Internet]. US1059545A, 1913 [citado 18 de septiembre de 2024]. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US1059545A/en>
- [16] RS Pro. Tornillo Allen de Cabeza Avellanada RS PRO, M3 x 12mm, Paso de Rosca 0.5mm, de Acero Inoxidable | RS [Internet]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/tornillos-allen/0171809>
- [17] RS Pro. Tornillo Allen de Cabeza Cilíndrica RS PRO, M2.5 x 12mm, Paso de Rosca 0.45mm, de Acero | RS [Internet]. Disponible en: <https://es.rs-online.com/web/p/tornillos-allen/4838130?gb=s>

Anexos

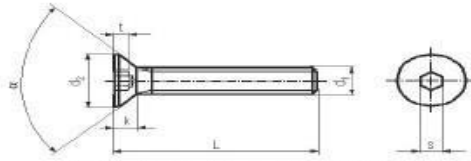
Tornillo Allen de cabeza avellanada, M3 x 12mm, paso de rosca 0.5mm, de Acero Inoxidable

Head Shape	Material	Thread Size	Length	RS Part No.
Countersunk Socket	Stainless Steel	M3	10 mm	171792
Countersunk Socket	Stainless Steel	M3	12 mm	171809

Tabla 5: Datasheet: A2, 304 Stainless Steel, Hexagon Countersunk Socket Screws: Metric Thread. Obtenido de: [\[16\]](#).

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

FLAT HEAD SOCKET CAP SCREWS DIN 7991 / ISO 10642 / ANSI B18.3.5M



*****Notice*****
Lindstrom Metric, LLC will supply all Flat Head Socket Cap Screws With Full Thread, not according to below formulas.

Thread Size d1		(M2)	(M2.5)	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	(M14)	M16	(M18)	M20	(M22)	M24
Thread Pitch		0.4	0.45	0.5	0.7	0.8	1	1.25	1.5	1.75	2	2	2.5	2.5	2.5	3
Head Angle a		90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	60°	60°
DIN 7991 Thread Length Formula	For Lengths ≤125mm	10	11	12	14	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54
	For Lengths >125mm≤200mm						24	28	32	36	40	44	48	52	56	60
	For Lengths >200 mm							45	49	53	57	61	65	69	73	
	ISO 10642 & ANSI B18.3.5M use a shank length / grip length formula to determine thread length. - Refer to full ISO or ANSI standard for more details.															
DIN 7991 Head Dia. d2	min.	3.7	4.7	5.7	7.4	9.4	11.57	15.57	19.48	23.48	26.48	29.48	32.38	35.38	38.38	38.38
	max. = nominal	4.0	5.0	6.0	8.00	10.00	12.00	16.00	20.00	24.00	27.00	30.00	33.00	36.00	39.00	39.00
ISO 10642 Head Dia. d2	min.			5.54	7.53	9.43	11.34	15.24	19.22	23.12	26.52	29.01		36.05		
	max. = theoretical			6.72	8.96	11.20	13.44	17.92	22.40	26.88	30.80	33.60		40.32		
ANSI B18.3.5M Head Dia. D2	min.			5.35	7.80	9.75	11.70	15.65	19.50	23.40	26.18	29.76		34.60		
	max. = theoretical			6.72	8.96	11.20	13.44	17.92	22.40	26.88	30.24	33.60		40.32		
ISO 10642 & ANSI B18.3.5M use a theoretical value for the max head diameter, which represents the exact diameter of a hole countersunk to exactly 90° in which a screw having the maximum head size will fit flush. - Refer to full ISO or ANSI standard for more details.																
DIN 7991 Head Height k	max.	1.2	1.5	1.7	2.3	2.8	3.3	4.4	5.5	6.5	7	7.5	8	8.5	13.1	14
ISO 10642 Head Height k	max. = reference			1.86	2.48	3.10	3.72	4.96	6.20	7.44	8.40	8.80		10.16		
ANSI B18.3.5M Head Height k	max. = reference			1.86	2.48	3.10	3.72	4.96	6.20	7.44	8.12	8.80		10.16		
ISO 10642 & ANSI B18.3.5M show Head Height k as a reference point only. - Refer to full ISO or ANSI standard for more details.																
For DIN 7991 / ISO 10642 / ANSI B18.3.5M, the overall length of the screw includes the head.																
DIN 7991 Key Size s	Nominal Size	1.3	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	10	12	12	14	14
	min.	1.275	1.545	2.02	2.52	3.02	4.02	5.02	6.02	8.025	10.025	10.025	12.032	12.032	14.032	14.032
	max.	1.300	1.520	2.10	2.60	3.10	4.12	5.14	6.14	8.175	10.175	10.175	12.212	12.212	14.212	14.212
ISO 10642 Key Size s	Nominal Size			2	2.5	3	4	5	6	8	10	10		12		
	min.			2.02	2.52	3.02	4.020	5.02	6.02	8.025	10.025	10.025		12.032		
	max.			2.06	2.58	3.08	4.095	5.14	6.14	8.175	10.175	10.175		12.212		
ANSI B18.3.5M Key Size s	Nominal Size			2	2.5	3	4	5	6	8	10	10		12		
	min.			2.020	2.52	3.020	4.020	5.020	6.020	8.025	10.025	10.025		12.032		
	max.			2.045	2.56	3.071	4.084	5.084	6.095	8.115	10.115	10.115		12.142		
DIN 7991 Key Engagement t	min.	0.75	0.8	0.950	1.55	2.05	2.25	3.2	4.1	4.3	4.5	5.0	5.2	5.6	8.44	9.87
ISO 10642 Key Engagement t	min.			1.100	1.50	1.90	2.20	3.0	3.6	4.3	4.5	4.8		5.6		
ANSI B18.3.5M Key Engagement t	min.			1.100	1.50	1.90	2.20	3.0	3.6	4.3	4.7	4.8		5.6		

Length Tolerance	DIN 7991 / ISO 10642		ANSI B18.3.5M		Length Tolerance	DIN 7991 / ISO 10642		ANSI B18.3.5M	
Nominal Length	min	max	min	max	Nominal Length	min	max	min	max
(4)	3.76	4.24	3.7	4.3	30	29.58	30.42	29.5	30.5
(5)	4.76	5.24	4.7	5.3	35	34.5	35.5	34.5	35.5
(6)	5.76	6.24	5.7	6.3	40	39.5	40.5	39.5	40.5
8	7.71	8.29	7.7	8.3	45	44.5	45.5	44.5	45.5
10	9.71	10.29	9.7	10.3	50	49.5	50.5	49.5	50.5
12	11.65	12.35	11.7	12.3	(55)	54.4	55.6	54.5	55.5
(14)	13.65	14.35	13.7	14.3	60	59.4	60.6	59.5	60.5
16	15.65	16.35	15.7	16.3	(65)	64.4	65.6	64.2	65.8
(18)	17.65	18.35	17.5	18.5	70	69.4	70.6	69.2	70.8
20	19.58	20.42	19.5	20.5	(75)	74.4	75.6	74.2	75.8
(22)	21.58	22.42	21.5	22.5	80	79.4	80.6	79.2	80.8
25	24.58	25.42	24.5	25.5	90	89.3	90.7	89.2	90.8
(26)	27.58	28.42	27.5	28.5	100	99.3	100.7	99.2	100.8

DIN 7991 / ISO 10642		ANSI B18.3.5M	
Material	Steel	Stainless Steel	Steel
Property Class	10.9	A2 & A4	12.9
Finish	Furnace Black	Plain	Furnace Black
Thread Tolerance	6g	6g	4g5g

*****Notice*****
Diameters and or Lengths shown with () are not shown in some standards are not recommended for use in new design.

*****Notice*****
DIN 7991, ISO 10642, and ANSI B18.3.5M are not intended for high strength applications. The only purpose of having them produced in property class 10.9 or 12.9 is to increase the wear resistance of the socket drive.

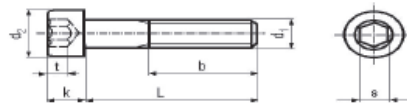
Tabla 6: Datasheet: A2, 304 Stainless Steel, Hexagon Countersunk Socket Screws: Metric Thread. Obtenido de: [16].

Tornillo Allen de cabeza cilíndrica RS PRO, M2.5 x 12mm, paso de rosca 0.45mm, de Acero y M5 x 20mm, paso de rosca 0.8mm de Acero.

Head Shape	Material	Thread Size	Length	RS Part No.
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M2.5	6 mm	4838124
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M2.5	12 mm	4838130
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M5	10 mm	4838269
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M5	12 mm	4915243
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M5	16 mm	4839981
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M5	20 mm	4838275
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M5	25 mm	4915259
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M5	30 mm	4839997
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M5	40 mm	4838281
Hex Socket Cap	Zinc Plated Steel	M5	50 mm	4838297

Tabla 7: Datasheet: Steel Bright Zinc Plated, Hexagon Cap Socket Screws: Metric Thread.
Obtenido de: [\[17\]](#).

SOCKET HEAD CAP SCREWS DIN 912/ ISO 4762 / ANSI B 18.3.1 M

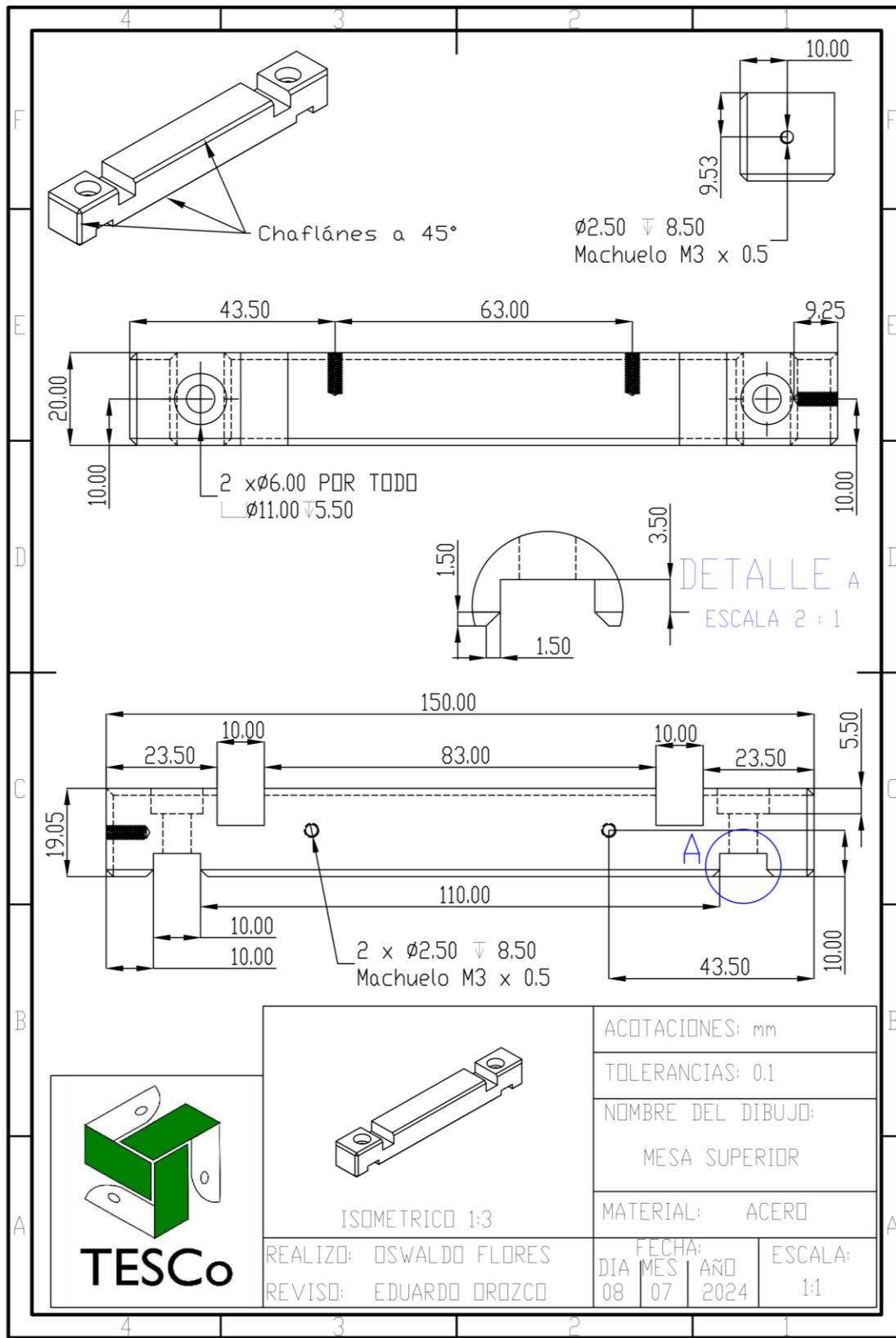


Head Diameter d2 max. allows for
Knurled Head

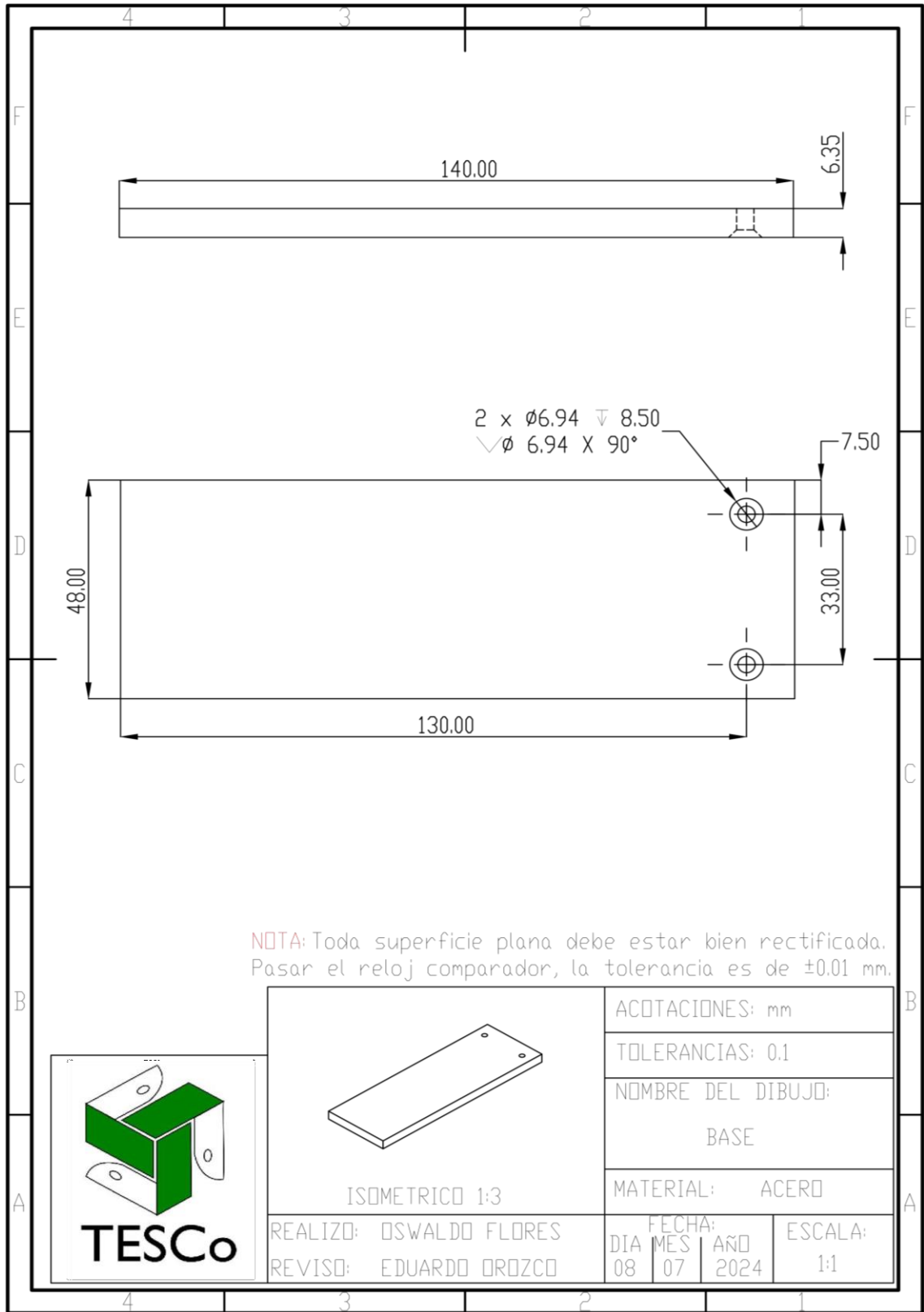
Thread Size d1	(M1.4)		M1.6		M2		M2.5		M2.6		M3		M4	
Thread Pitch	0.3		0.35		0.4		0.45		0.45		0.5		0.7	
Thread Length b	14		15		16		17		NA		18		20	
Head Dia. d2	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	2.46	2.74	2.86	3.14	3.62	3.98	4.32	4.68	4.82	5.18	5.32	5.68	6.78	7.22
ISO 4762 (1997)			2.86	3.14	3.62	3.98	4.32	4.68			5.32	5.68	6.78	7.22
ANSI B 18.3.1 M (1988)			2.87	3.14	3.65	3.98	4.33	4.68			5.32	5.68	6.80	7.22
Head Height k	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	1.26	1.40	1.46	1.60	1.86	2.00	2.36	2.50	2.48	2.60	2.88	3.00	3.82	4.00
ISO 4762 (1997)			1.46	1.60	1.86	2.00	2.36	2.50			2.88	3.00	3.82	4.00
ANSI B 18.3.1 M (1988)			1.52	1.60	1.91	2.00	2.40	2.50			2.89	3.00	3.88	4.00
Key Size nominal s	1.3		1.5		1.5		2		2		2.5		3	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	1.32	1.36	1.52	1.56	1.52	1.56	2.02	2.06	2.02	2.06	2.52	2.58	3.02	3.08
ISO 4762 (1997)			1.52	1.56	1.52	1.56	2.02	2.06			2.52	2.58	3.02	3.08
ANSI B 18.3.1 M (1988)			1.520	1.545	1.520	1.545	2.020	2.045			2.52	2.56	3.020	3.071
Key Engagement t	min.		min.		min.		min.		min.		min.		min.	
DIN 912 (1983)	0.6		0.7		1		1.10		1.2		1.3		2	
ISO 4762 (1997)			0.7		1		1.10				1.3		2	
ANSI B 18.3.1 M (1988)			0.8		1		1.25				1.5		2	
Thread Size d1	M5		M6		M8		M10		M12		(M14)		M16	
Thread Pitch	0.8		1		1.25		1.5		1.75		2		2	
Thread Length b	22		24		28		32		36		40		44	
Head Dia. d2	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	8.28	8.72	9.78	10.22	12.73	13.27	15.73	16.27	17.73	18.27	20.67	21.33	23.67	24.33
ISO 4762 (1997)	8.28	8.72	9.78	10.22	12.73	13.27	15.73	16.27	17.73	18.27	20.67	21.33	23.67	24.33
ANSI B 18.3.1 M (1988)	8.27	8.72	9.74	10.22	12.70	13.27	15.67	16.27	17.83	18.27	20.8	21.33	23.58	24.33
Head Height k	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	4.82	5.00	5.7	6.0	7.64	8.00	9.64	10.00	11.57	12.00	13.57	14.00	15.57	16.00
ISO 4762 (1997)	4.82	5.00	5.7	6.0	7.64	8.00	9.64	10.00	11.57	12.00	13.57	14.00	15.57	16.00
ANSI B 18.3.1 M (1988)	4.86	5.00	5.85	6.00	7.83	8.00	9.81	10.00	11.79	12.00	13.77	14.00	15.76	16.00
Key Size nominal s	4		5		6		8		10		12		14	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	4.020	4.095	5.02	5.14	6.02	6.14	8.025	8.175	10.025	10.175	12.032	12.212	14.032	14.212
ISO 4762 (1997)	4.020	4.095	5.02	5.14	6.02	6.14	8.025	8.175	10.025	10.175	12.032	12.212	14.032	14.212
ANSI B 18.3.1 M (1988)	4.020	4.084	5.020	5.084	6.020	6.095	8.025	8.115	10.025	10.127	12.032	12.146	14.032	14.159
Key Engagement t	min.		min.		min.		min.		min.		min.		min.	
DIN 912 (1983)	2.5		3		4		5		6		7		8	
ISO 4762 (1997)	2.5		3		4		5		6		7		8	
ANSI B 18.3.1 M (1988)	2.5		3		4		5		6		7		8	
Thread Size d1	(M18)		M20		(M22)		M24		(M27)		M30		M33	
Thread Pitch	2.5		2.5		2.5		3		3		3.5		3.5	
Thread Length b	48		52		56		60		66		72		78	
Head Dia. d2	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	26.67	27.33	29.67	30.33	32.61	33.39	35.61	36.39	39.61	40.39	44.61	45.39	49.61	50.39
ISO 4762 (1997)			29.67	30.33			35.61	36.39			44.61	45.39		
ANSI B 18.3.1 M (1988)			29.53	30.33			35.48	36.39			44.42	45.39		
Head Height k	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	17.57	18.00	19.48	20.00	21.48	22.00	23.48	24.00	26.48	27.00	29.48	30.00	32.38	33.00
ISO 4762 (1997)			19.48	20.00			23.48	24.00			29.48	30.00		
ANSI B 18.3.1 M (1988)			19.73	20.00			23.70	24.00			29.67	30.00		
Key Size nominal s	14		17		17		19		19		22		24	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
DIN 912 (1983)	14.032	14.212	17.05	17.23	17.05	17.23	19.065	19.275	19.065	19.275	22.065	22.275	24.065	24.275
ISO 4762 (1997)			17.05	17.23			19.065	19.275			22.065	22.275		
ANSI B 18.3.1 M (1988)			17.050	17.216			19.065	19.243			22.065	22.319		
Key Engagement t	min.		min.		min.		min.		min.		min.		min.	
DIN 912 (1983)	9		10		11		12		13.5		15.5		18	
ISO 4762 (1997)			10				12				15.5			
ANSI B 18.3.1 M (1988)			10				12				15.0			

For More Detailed Information, Please Refer To Complete DIN, ISO, or ANSI Standard, Which Are The Governing Standards.

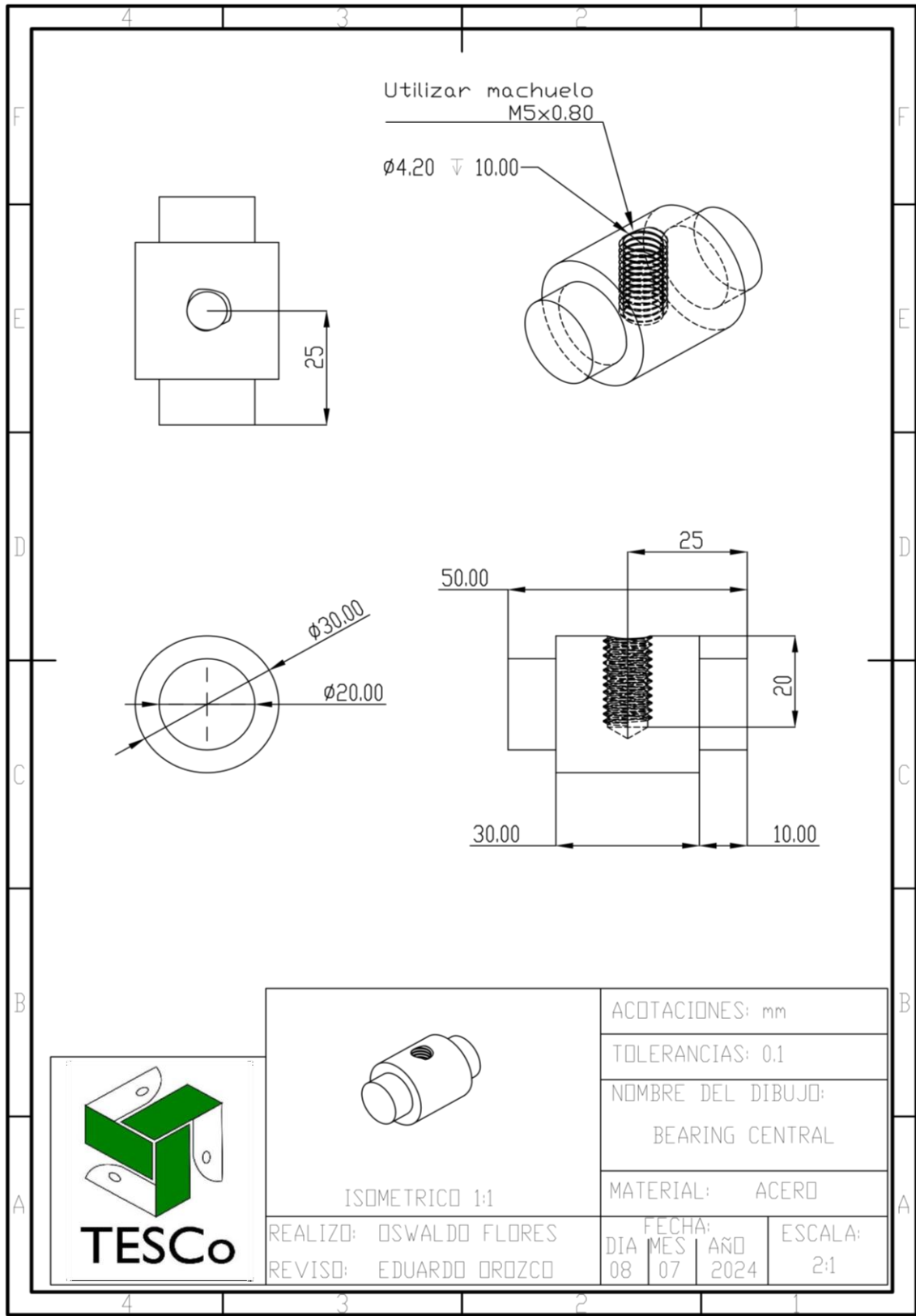
Tabla 8: Datasheet: Steel Bright Zinc Plated, Hexagon Cap Socket Screws: Metric Thread.
Obtenido de: [17].



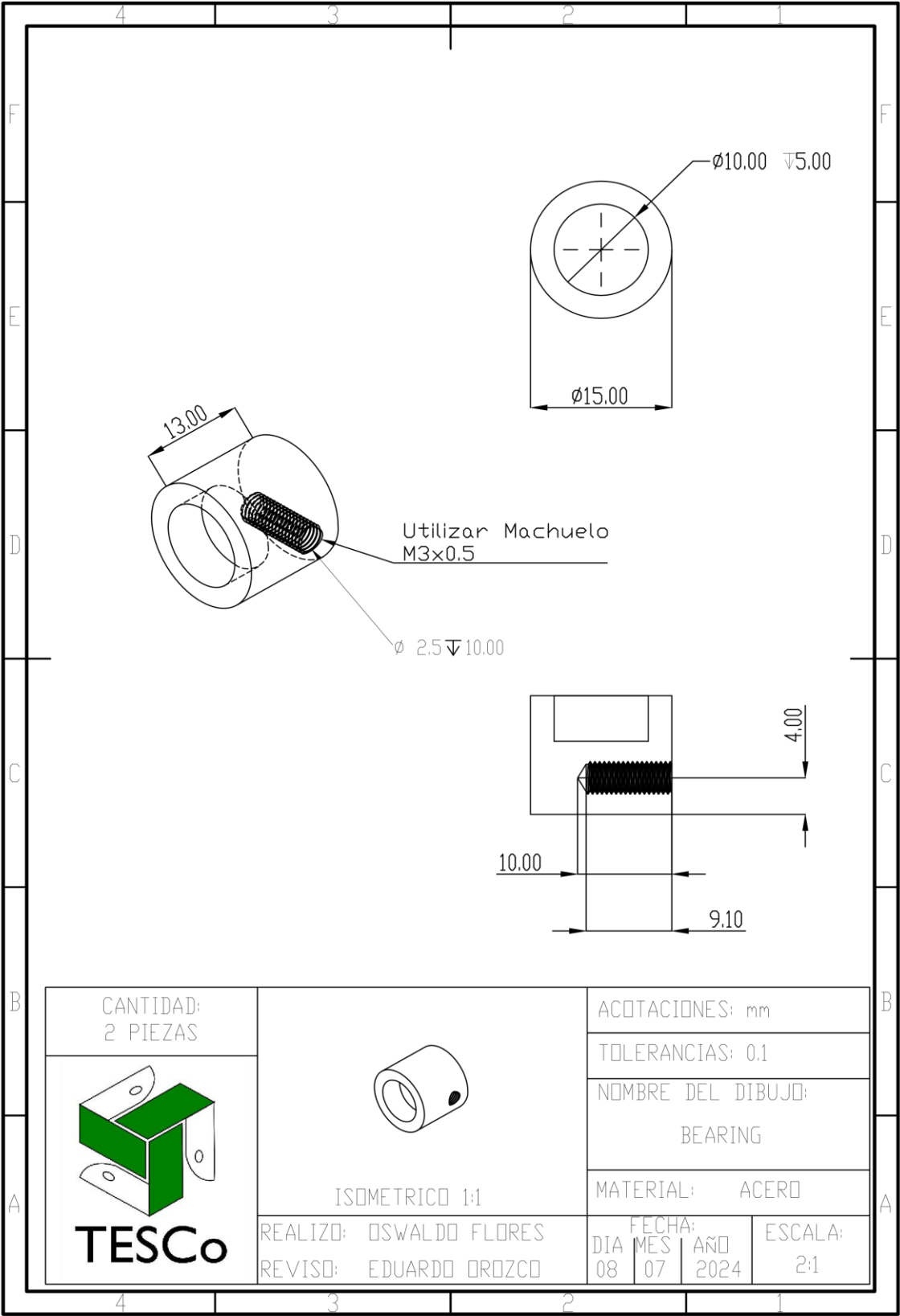
Plano 1: Mesa Superior. Autoría propia.



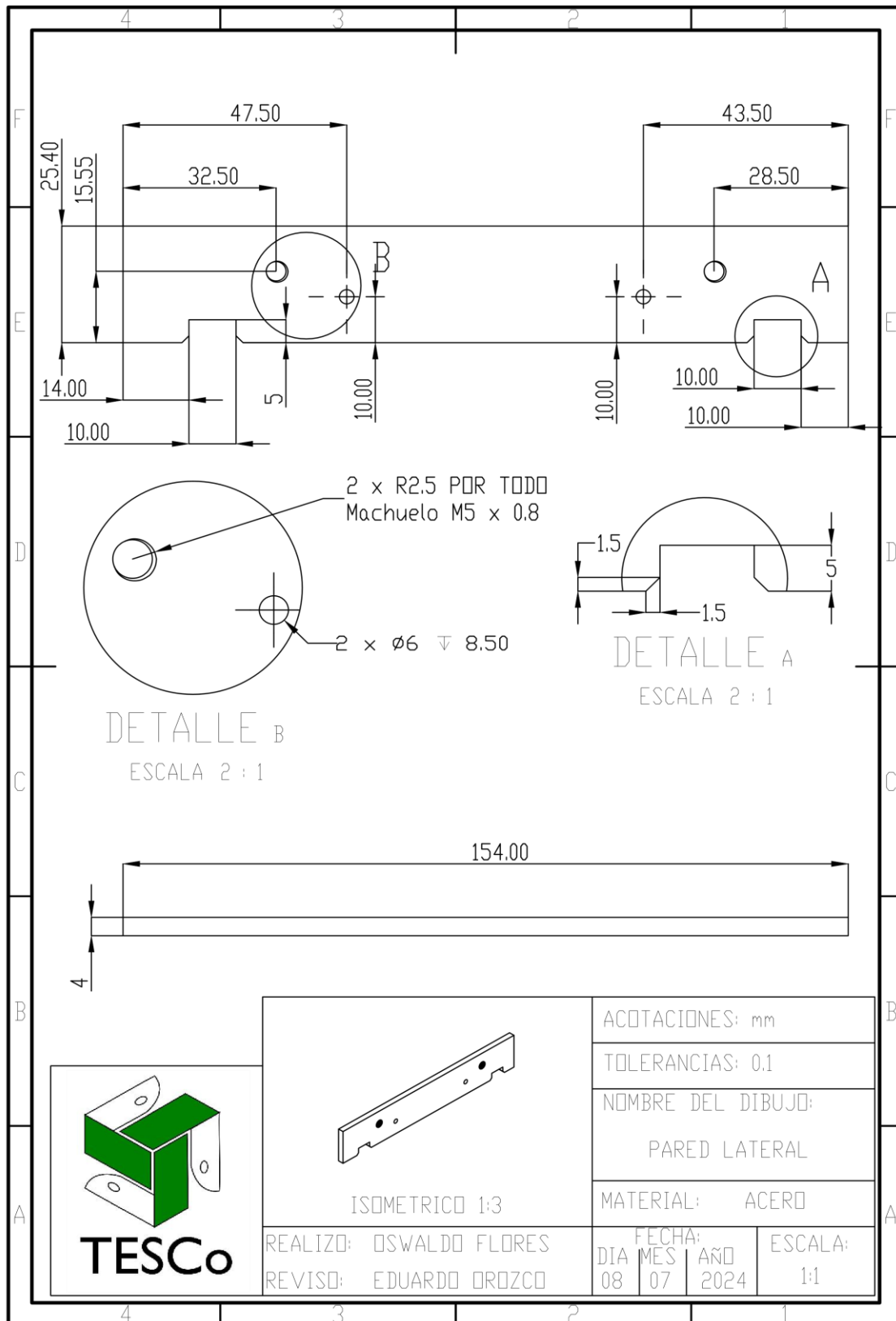
Plano 2: Base. Autoría Propia.



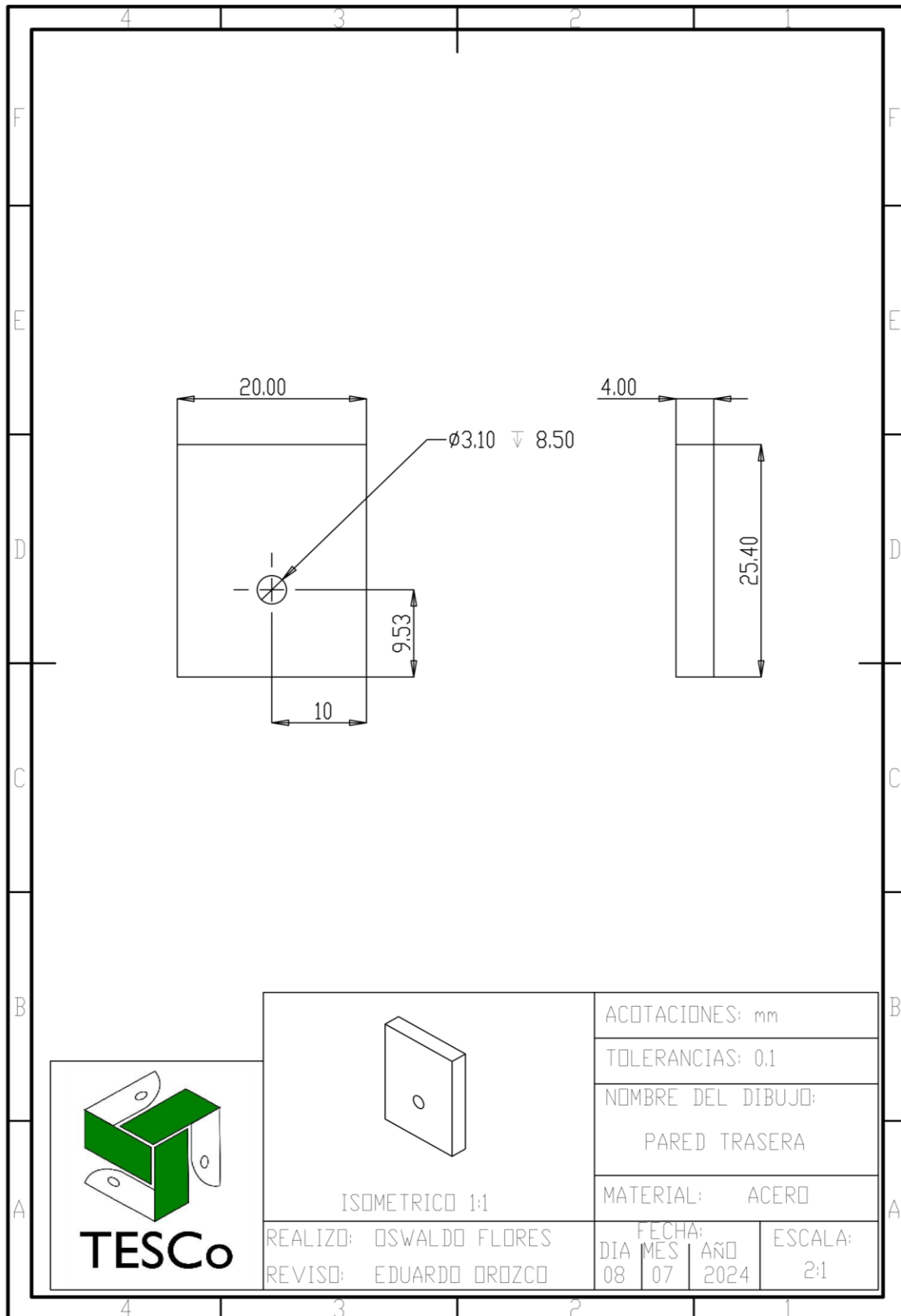
Plano 3: Bearing Central. Autoría Propia.



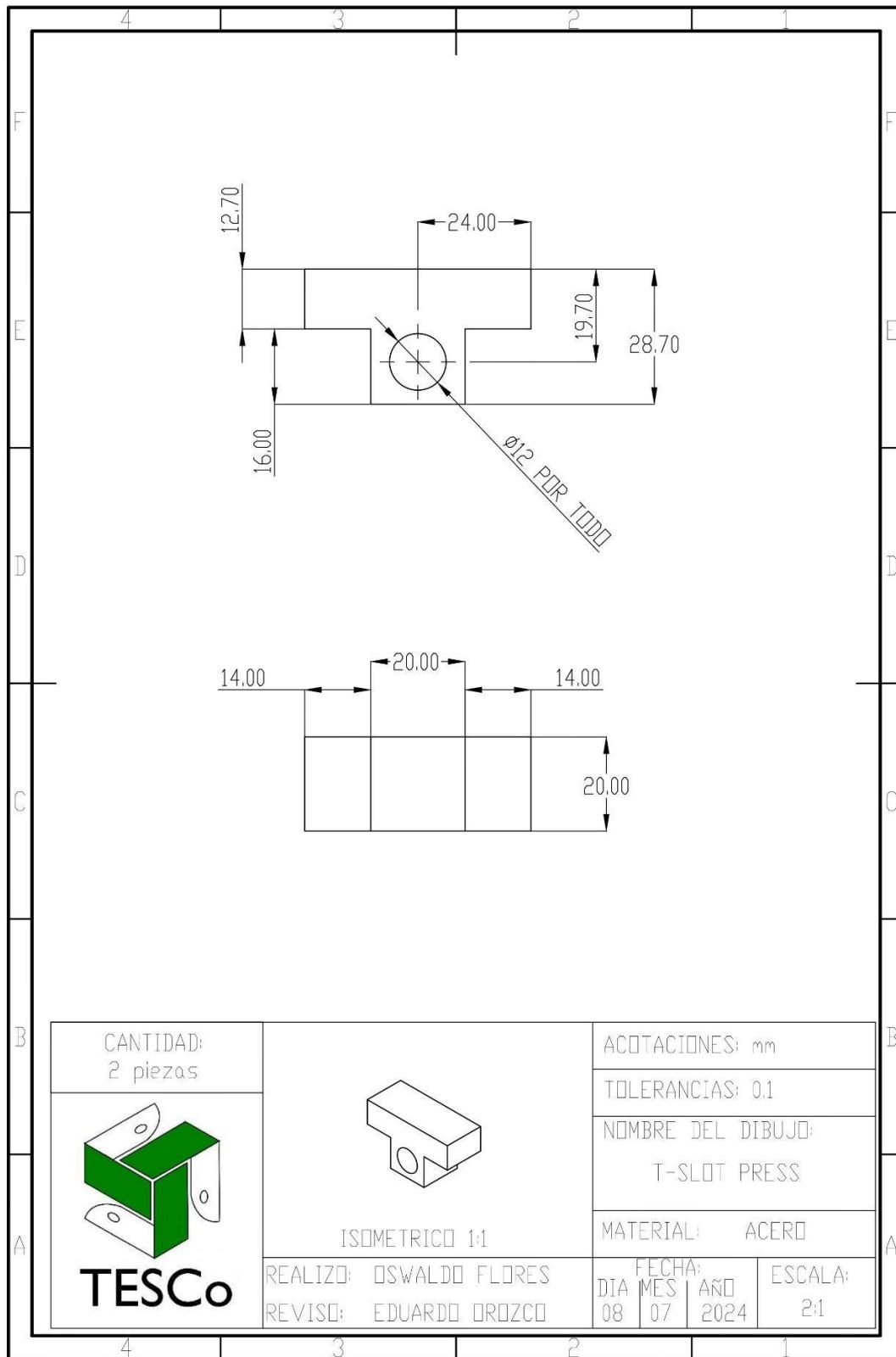
Plano 4: Bearing. Autoria Propia.



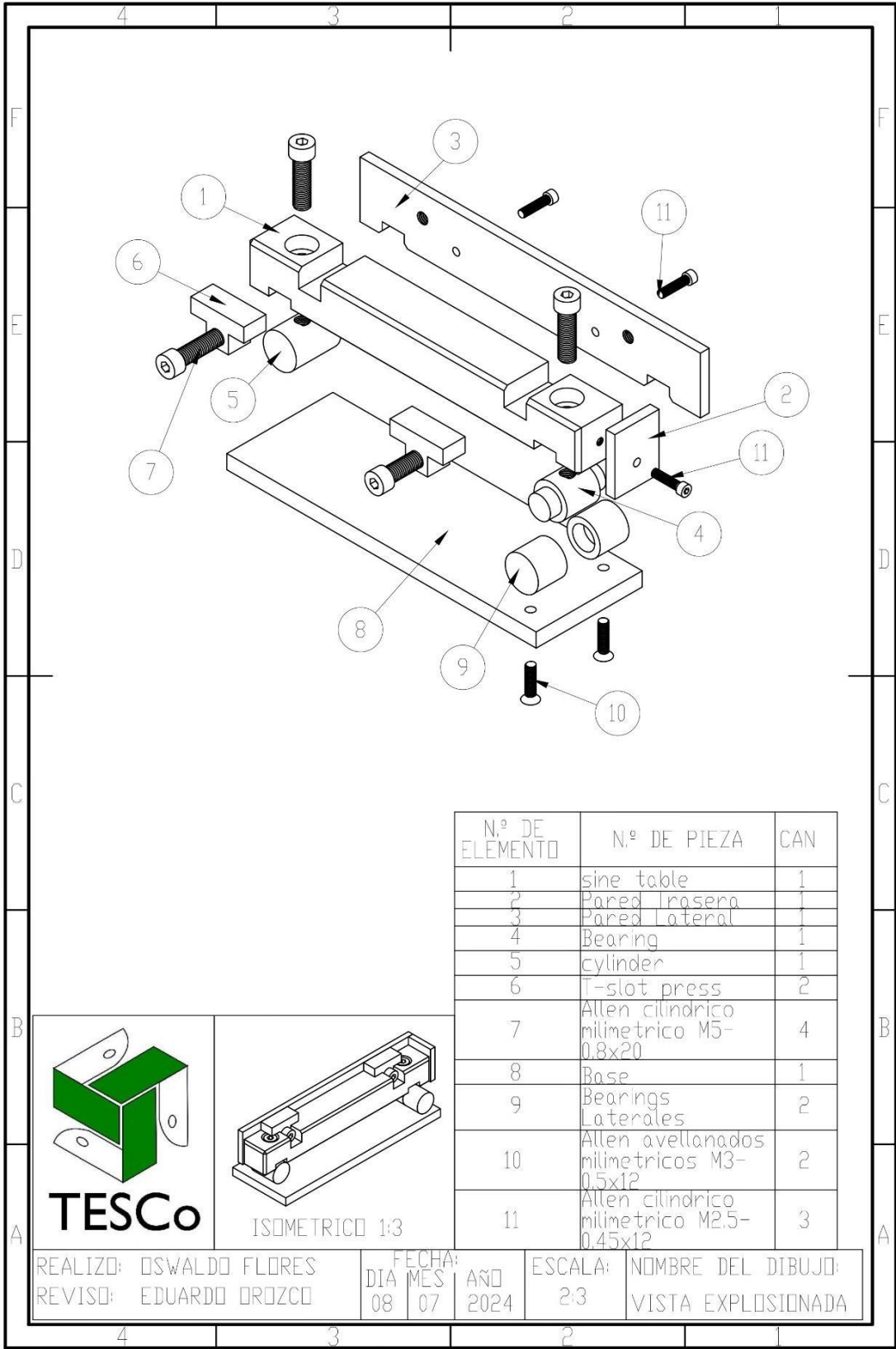
Plano 5: Pared Lateral. Autoria Propia.



Plano 6: Pared Trasera. Autoria Propia.



Plano 7: T-Slot Press. Autoria Propia.



Plano 8: Vista Explosionada: Sine Table. Autoria propia.