



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

INSTITUTO DE DISEÑO

**PROPUESTA DE MEJORA DE UN DISPOSITIVO PARA EVALUAR LA TENACIDAD
DE VAJILLAS CERÁMICAS A PARTIR DE LA NORMA ASTM C368-88: CASO DE
ESTUDIO LA EMPRESA DE CERÁMICA “LA CHICHARRA CERÁMICA”.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN DISEÑO

PRESENTA

JAIME DAVID RAMOS ESPINOSA

DIRECTOR DE TESIS

M. A. V. ALEJANDRO ALBERTO BRAVO

CO-DIRECTOR DE TESIS

M.C. VÍCTOR MANUEL CRUZ MARTÍNEZ

HEROICA CIUDAD DE HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA; SEPTIEMBRE DE 2025

DEDICATORIA

A mi padre y a mi hermano, pilares de mi familia, así como a todas aquellas personas que, de distintas formas, me brindaron su apoyo y contribuyeron a mi crecimiento personal y profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi padre, Javier R., por su confianza, su trabajo incansable y su esfuerzo para brindarme una educación de calidad y una buena vida, lo que hizo posible llegar hasta aquí.

A mi hermano, el Dr. Iván Ramos, quien, a pesar de ser el menor, me enseñó con su sabiduría y consejos a no rendirme, a avanzar con firmeza, a dedicar tiempo a lo que realmente vale la pena y a trabajar siempre por el bienestar de nuestra familia.

A la Ing. Jocelyn, por los momentos compartidos y la felicidad que formaron parte de nuestra historia juntos.

A Mariel, por su amistad incondicional, su apoyo y su tiempo, que han sido un recurso invaluable en mi desarrollo personal.

A Cristian, por su amistad y por compartir su fe, guiándome en mi crecimiento personal y espiritual, así como motivándome a vivir de manera sana y equilibrada.

A Luna, por marcar una etapa de mi vida que me permitió aprender, reflexionar y crecer en mi desarrollo personal.

A mis directores de tesis, M.A.V. Alejandro Bravo Guzmán y M.C. Víctor Manuel Cruz Martínez, por su paciencia, por compartir sus conocimientos y por dedicar su tiempo a guiarme en la realización de este trabajo.

A mis revisores de tesis, M.T.A.M. Dulce María Clemente, Lic. Alfonso Acosta Romero y M.P.I.I.O. Fernando Iturbide Jiménez, un gran equipo multidisciplinario que aportó valiosos conocimientos y dedicó su tiempo a esta tesis.

A mis amigas, Ing. Melissa y Stephanie, y a mis amigos Gerardo y Alex, por su amistad, apoyo y compañía.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. ASPECTOS PRELIMINARES.....	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	6
1.4 OBJETIVO GENERAL	7
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS Y METAS	7
1.6 METODOLOGÍA.....	8
CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA.....	11
2.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA CERAMICA.....	13
2.2 TENACIDAD.....	13
2.4 PRUEBAS DE IMPACTO.....	14
2.4.1 <i>Método ASTM C368</i>	14
2.5 MATERIALES.....	19
2.5.1 <i>Aceros</i>	19
2.5.2 <i>Fundición de hierro</i>	21
2.6 PROPIEDADES DE LOS METALES.....	22
2.7 PROCESO DE MANUFACTURA	23
2.8 MARCO NORMATIVO	25
2.8.1 <i>Normas ASTM</i>	25
2.8.2 <i>Norma NTC</i>	28
2.9 ESTADO DEL ARTE	29
2.9.1 <i>Patentes</i>	30
2.9.2 <i>Productos comerciales disponibles</i>	31
CAPÍTULO 3. ANÁLISIS CONCEPTUAL	37
3.1 BENCHMARKING.....	39
3.2 DESCRIPCIÓN DEL USUARIO.....	46
3.2.1 <i>Usuario primario</i>	46
3.3 TABLA DE NECESIDADES DE USUARIOS Y REQUERIMIENTOS DE DISEÑO	51
3.3.1 <i>Ánáisis de los requerimientos</i>	53
3.4 CROQUIS PRELIMINAR DEL DISPOSITIVO	54
3.5 MATRIZ DE SELECCIÓN	56
CAPÍTULO 4. DESARROLLO DE DISEÑO.....	61
4.1 MODELADO DIGITAL Y ANÁLISIS TÉCNICO DE MANUFACTURA	63

4.2 ARQUITECTURA DEL SISTEMA	65
4.2.1 <i>Análisis y evaluación del dispositivo</i>	67
4.2.2 <i>Análisis estructural</i>	77
4.3 DISEÑOS PRELIMINARES	80
4.3.1 <i>Mecanismo medidor de impacto</i>	81
4.3.2 <i>Mecanismo de movimiento vertical</i>	88
4.3.3 <i>Estructura de soporte</i>	90
4.3.4 <i>Mecanismo de movimiento horizontal</i>	93
4.3.5 <i>Mecanismo de soporte y sujeción</i>	97
4.4 VERSIÓN FINAL DEL SISTEMA.....	101
4.5 LISTA DE ESPECIFICACIONES.....	106
4.6 MODELO VIRTUAL	108
4.7 ANÁLISIS DE ELEMENTO FINITO.....	109
4.7.1 <i>Análisis Estático</i>	109
4.8 PLANOS CONSTRUCTIVOS	114
CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN	115
5.1 VALIDACIÓN PRELIMINAR DEL DISPOSITIVO.....	117
5.2 VISUALIZACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL Y DE SU ENSAMBLAJE	119
5.3 RESULTADOS DE PRUEBAS	120
CONCLUSIONES.....	121
REFERENCIAS.....	125
ANEXOS.....	131
ANEXO A	133
ANEXO B	137
ANEXO C	139
ANEXO D	141
ANEXO E	151
ANEXO F	152
ANEXO G	153
ANEXO H	155
ANEXO I.....	165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Fases de la metodología Ulrich y Eppinger</i>	8
Figura 2 <i>Adaptación de la metodología de Ulrich y Eppinger</i>	9
Figura 3 <i>Impact Test Apparatus</i>	15
Figura 4 <i>Sujeción de vajillas planas para impacto en el borde</i>	16
Figura 5 <i>Sujeción de vajillas planas para impacto en el centro</i>	16
Figura 6 <i>Sujeción de vajillas huecas para impacto en el borde</i>	17
Figura 7 <i>Sujeción de vajillas huecas para impacto en el centro</i>	17
Figura 8 <i>Ajuste del péndulo</i>	18
Figura 9 <i>Tipos de aceros</i>	19
Figura 10 <i>Dos maneras de definir manufactura</i>	23
Figura 11 <i>Clasificación de los procesos de manufactura</i>	24
Figura 12 <i>Maquina de prueba de impacto de péndulo cerámico</i>	30
Figura 13 <i>Dispositivo para evaluar el impacto en cerámica ASTM C368</i>	32
Figura 14 <i>Prueba de impacto ASTM para vajillas</i>	33
Figura 15 <i>Probador de impacto cerámico</i>	34
Figura 16 <i>Probador de impacto – Portátil</i>	35
Figura 17 <i>Vajilla de la línea curva</i>	47
Figura 18 <i>Vajilla de la línea trapezoidal</i>	48
Figura 19 <i>Línea de ensalada y pasta</i>	49
Figura 20 <i>Línea de café y té</i>	49
Figura 21 <i>Línea de mezcal</i>	50
Figura 22 <i>Croquis del aparato de prueba de impacto</i>	55
Figura 23 <i>Aparato de prueba de impacto</i>	58
Figura 24 <i>Dispositivos de comparación</i>	60
Figura 25 <i>Modelado CAD del dispositivo</i>	65
Figura 26 <i>Clasificación de partes fundamentales</i>	66
Figura 27 <i>Organización del dispositivo</i>	66
Figura 28 <i>Mecanismo medidor de impacto</i>	68
Figura 29 <i>Subclasificación – Mecanismo medidor de impacto</i>	68
Figura 30 <i>Explosivo del dispositivo del péndulo</i>	70
Figura 31 <i>Mecanismo de movimiento vertical</i>	71
Figura 32 <i>Tornillo del mecanismo de movimiento vertical</i>	72
Figura 33 <i>Estructura de soporte</i>	73
Figura 34 <i>Mecanismo de movimiento horizontal</i>	74
Figura 35 <i>Mecanismo de soporte y sujeción</i>	76
Figura 36 <i>Segmento marcado</i>	78

Figura 37 <i>Vista 2D del segmento marcado</i>	78
Figura 38 <i>Triángulo rectángulo formado por el péndulo</i>	79
Figura 39 <i>Ánálisis del segmento marcado</i>	81
Figura 40 <i>Diseño 1 - Mecanismo medidor de impacto</i>	85
Figura 41 <i>Diseño 2 - Mecanismo medidor de impacto</i>	87
Figura 42 <i>Ánálisis del movimiento vertical</i>	88
Figura 43 <i>Diseño 1 y 2 - Mecanismo de movimiento vertical</i>	89
Figura 44 <i>Ánálisis de la estructura de soporte</i>	90
Figura 45 <i>Diseño 1 - Estructura de soporte</i>	92
Figura 46 <i>Ánálisis del movimiento horizontal</i>	93
Figura 47 <i>Diseño 1 - Mecanismo de movimiento horizontal</i>	96
Figura 48 <i>Ánálisis del soporte y sujeción</i>	97
Figura 49 <i>Diseño 1 - Mecanismo de soporte y sujeción</i>	100
Figura 50 <i>Ensamble final</i>	101
Figura 51 <i>Vistas del ensamble final</i>	102
Figura 52 <i>Render de la propuesta en vista isométrica</i>	108
Figura 53 <i>Tensiones y deformaciones - Modelo anterior</i>	111
Figura 54 <i>Desplazamientos y FDS - Modelo anterior</i>	111
Figura 55 <i>Tensiones y deformaciones - Propuesta MMI</i>	112
Figura 56 <i>Desplazamientos y FDS - Propuesta MMI</i>	112
Figura 57 <i>Ánálisis estático del mecanismo de movimiento vertical propuesto</i>	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Porcentaje de carbono de los aceros simples</i>	20
Tabla 2 <i>Sistema de las especificaciones AISI y SAE para aceros</i>	21
Tabla 3 <i>Resistencia al impacto y al despostillamiento</i>	29
Tabla 4 <i>Recopilación integral del dispositivo Impact Test ASTM for Tablewares</i>	40
Tabla 5 <i>Criterios estructural y funcional del dispositivo ASTM C368-88 Ceramic Impact Tester</i>	41
Tabla 6 <i>Recopilación complementaria del dispositivo ASTM C368-88 Ceramic Impact</i>	42
Tabla 7 <i>Criterios funcionales y de uso del dispositivo EJP ASTM Type Impact Tester</i>	43
Tabla 8 <i>Recopilación complementaria del dispositivo EJP ASTM Type Impact Tester</i>	44
Tabla 9 <i>Características generales de los dispositivos comerciales de prueba de impacto</i>	44
Tabla 10 <i>Comparación funcional y técnica de los dispositivos comerciales</i>	45
Tabla 11 <i>Dimensiones y peso de la línea curva</i>	47
Tabla 12 <i>Especificaciones dimensionales de la línea trapezoidal</i>	48
Tabla 13 <i>Especificaciones de la línea de ensalada y pasta</i>	49
Tabla 14 <i>Especificaciones de la línea de café y té</i>	50
Tabla 15 <i>Especificaciones de la línea de mezcal</i>	50
Tabla 16 <i>Dimensiones mínimas y máximas del usuario</i>	51
Tabla 17 <i>Tabla de necesidades y requerimientos del usuario</i>	52
Tabla 18 <i>Tabla de necesidades y requerimientos correspondiente a la legislación</i>	52
Tabla 19 <i>Requerimientos propuestos con base en el análisis del modelo digital</i>	53
Tabla 20 <i>Porcentaje de similitud</i>	56
Tabla 21 <i>Nombre de los componentes del dispositivo</i>	57
Tabla 22 <i>Ánálisis de similitud</i>	59
Tabla 23 <i>Comparación de similitud</i>	60
Tabla 24 <i>Modelos digitales ADJC0368</i>	63
Tabla 25 <i>Detalles técnicos de componentes modelados</i>	64
Tabla 26 <i>Componentes del subensamble del medidor de impacto</i>	69
Tabla 27. <i>Clasificación - Mecanismo medidor de impacto</i>	70
Tabla 28 <i>Componentes del subensamble de movimiento vertical</i>	71
Tabla 29 <i>Clasificación - Mecanismo de movimiento vertical</i>	72
Tabla 30 <i>Componentes del subensamble de soporte</i>	73
Tabla 31 <i>Clasificación - Estructura de soporte</i>	74
Tabla 32 <i>Componentes del subensamble de movimiento horizontal</i>	75
Tabla 33 <i>Clasificación - Mecanismo de movimiento horizontal</i>	75
Tabla 34 <i>Componentes del subensamble de soporte y sujeción</i>	76
Tabla 35 <i>Mecanismo de soporte y sujeción</i>	77
Tabla 36 <i>Ánálisis comparativo del componente A</i>	82

Tabla 37 Análisis comparativo del Ajustador componente A	83
Tabla 38 Análisis comparativo del componente B	84
Tabla 39 Análisis comparativo del componente C	85
Tabla 40 Análisis comparativo del componente D	86
Tabla 41 Análisis comparativo del componente E	87
Tabla 42 Análisis comparativo del componente F.....	89
Tabla 43 Análisis comparativo del componente G	91
Tabla 44 Análisis comparativo del componente H	92
Tabla 45 Análisis comparativo del componente I.....	94
Tabla 46 Análisis comparativo del componente J	95
Tabla 47 Análisis comparativo del componente K	96
Tabla 48 Análisis comparativo del componente L	98
Tabla 49 Análisis comparativo del componente M.....	99
Tabla 50 Análisis comparativo del componente N	100
Tabla 51 Tabla comparativa M.M.I.....	103
Tabla 52 Tabla comparativa M.M.V.....	104
Tabla 53 Tabla comparativa E.S	105
Tabla 54 Tabla comparativa M.M.H	105
Tabla 55 Tabla comparativa M.S.S	106
Tabla 56 Lista de componentes por cada clasificación	107
Tabla 57 Tipo de piezas	108
Tabla 58 Tipo de estudio y simulación	109
Tabla 59 Tipos de estudio	110
Tabla 60 Análisis estático - Mecanismo medidor de impacto	113
Tabla 61 Análisis estático - Mecanismo de movimiento vertical	113
Tabla 62 Comparación de reducción y optimización del dispositivo	118
Tabla 63 Procesos de fabricación y maquinado de la propuesta de mejora	118

INTRODUCCIÓN

La cerámica es el arte de fabricar objetos elaborados con arcilla cocida. La arcilla es una roca sedimentaria, constituida por agregados de silicatos de aluminio hidratados, de color blanco cuando es pura y varía de color según las impurezas que contenga. La cerámica es una de las industrias más antiguas del planeta, su invención data del período neolítico (Edad de Piedra Pulida), 12.000 a. C. al 7.000 a. C.

La característica más importante en el ámbito de vajillas, es su propiedad mecánica con una dureza 5 a 8 en la escala de Mohs, debido a sus uniones iónico-covalentes tras la cocción, con el paso de los años el proceso se perfecciona desde la cerámica artesanal a la industrial. A pesar de la estandarización de la producción, hoy las empresas cerámicas pueden defender la singularidad de sus productos gracias a las formas únicas y sus colores.

Al ser un material cerámico, se considera duro, pero son frágiles y tienen una baja resistencia al impacto (tenacidad). En la actualidad, existen métodos para la realización de pruebas de resistencia al impacto, de acuerdo a la ASTM-C368, existen ciertos lineamientos que se deben seguir para la implementación de dichos instrumentos y de acuerdo al caso de estudio de la empresa la Chicharra Cerámica, se busca medir y comparar una magnitud: la fuerza de impacto, con la ayuda de instrumentos o dispositivos que permitan obtener con certeza y exactitud datos cuantitativos para recabar información y tomar decisiones importantes sobre su material, el proceso de elaboración de piezas, y el esmaltado.

La presente tesis se enfoca en resolver la problemática de las pruebas de resistencia en vajillas de cerámica, ya que su crecimiento empresarial es mayor, el alcance de ventas, (nacional e internacional), existen ciertos estándares y requerimientos que deben cumplir los productos de exportación e importación según las normas de cada país o región. Se estudió el tipo de piezas de diseño que, de acuerdo con el proceso de elaboración, debe cumplir con ciertas características. Por ello, se abordará el análisis de la tenacidad de sus vajillas. La importancia de medir esta propiedad radica en una mejora toma de decisiones, así como en el incremento de la competitividad, el prestigio de la marca y la posibilidad de brindar a los clientes un producto de buena calidad.

CAPITULO 1. ASPECTOS PRELIMINARES

1.2 Planteamiento del problema

La problemática detectada en esta investigación es la falta de medición de un dato cuantitativo para definir la resistencia de los bordes de los lotes de vajilla producidos en la Chicharra cerámica.

El problema surge en el momento que la empresa comenzó a crecer, de acuerdo a su proceso de control de calidad, solo se toma en cuenta el aspecto funcional y estético de las piezas cerámicas, a través de la experiencia personal del trabajador capacitado, sin realizar pruebas técnicas con maquinaria o equipo especializado, como datos cuantitativos sobre dureza, tenacidad, fragilidad, etc. Además, el personal en esta área realiza las pruebas de calidad mediante su conocimiento adquirido a través de los años, por lo que, al llegar algún nuevo colaborador no tendría un método exacto que seguir. Hace falta una prueba muy importante, que es la resistencia al impacto en los bordes, la cual mide la tenacidad del producto cerámico, en esta área de control y calidad, ya que es la última etapa del proceso de fabricación de las piezas. Por este motivo, es necesario contar con datos cuantitativos (fuerza medida en ft-lbf o joule) de diferentes resistencias de la vajilla para ofrecer una buena calidad en los productos y asegurar que los procesos sean adecuados para llevar a la empresa a un sistema semi industrial.

La mayoría de empresas de cerámica y porcelana, generan todas las pruebas correspondientes con el método de medición "Impact Hammer Test", el cual les ayuda a determinar la resistencia al impacto en los bordes de los platos y de esa manera, saber si se está cumpliendo o no con la resistencia necesaria para comercializar la vajilla. Además, existe una norma la ASTM C368-88, la cual se basa en el péndulo de Charpy y un cabezal con una dureza de Rockwell para estimar la resistencia al impacto. Es importante que las vajillas pasen ciertas pruebas de impacto para conocer la tenacidad de los bordes, en caso contrario no se podrá saber si el problema radica en el material o en el proceso de producción, lo que impediría garantizar una buena calidad en el producto, afectaría su reputación en el mercado y en el peor de los casos, podrían proceder legalmente contra la empresa.

Por lo tanto, se necesita diseñar un dispositivo para realizar las pruebas de impacto en el borde de las vajillas, registrar todos los datos de resistencia y compararlos con otras vajillas de la competencia, para garantizar la calidad del producto. Además, los dispositivos del mercado son maquinados con materiales de alta calidad, lo que aumenta su valor ya estan dirigidas a empresas de nivel internacional. Al ser productos de países extranjeros dificulta su accesibilidad y su costo. En caso de no cumplir con los parámetros mínimos de resistencia, se trabajará con un cambio de materia prima y sus procesos de prensado y secado hasta lograr la resistencia deseada, puesto que los beneficios se reflejan en las primeras etapas del proceso de fabricación (mezcla y prensado) lo que a su vez tambien beneficiará el resultado final. Se sugiere respetar la norma ASTM C368-88, en la obtención de datos para la medición de resistencia de impacto en los bordes y en el centro de los productos cerámicos.

1.3 Justificación

La propuesta para el desarrollo de esta investigación surgió a partir del análisis realizado durante las estancias profesionales en *La chicharra cerámica*; donde, de acuerdo con el encargado de desarrollo y la experiencia empírica de los trabajadores, se identificó una falta de equipamiento para una prueba específica en el departamento de control y calidad. En esta área se verifica que los productos cumplen con los requisitos mínimos de calidad, sin embargo, no se había contemplado la resistencia al impacto y el despostillamiento en los bordes de las vajillas cerámicas. Por este motivo se identificó la necesidad de realizar pruebas rápidas, sencillas y económicas de manera recurrente, en lugar de depender de controles más completos hechos de vez en cuando con un costo mayor.

La problemática radica en el proceso de fabricación de las piezas cerámicas ya que al principio el proceso era artesanal y al pasar el tiempo, el aprendizaje, la mejora y crecimiento continuo se fue transformando en un proceso semi industrial. Y como consecuencia, aumentan los requisitos de calidad y dado que la tenacidad del producto cerámico, según la norma facilitara la competitividad en el mercado, se prevé que los beneficios incluyan una mejor estrategia de venta, de embalaje y una mejor toma de decisiones para acciones correctivas y preventivas de sus procesos. De este modo, se tendrá una mejor optimización en cada parte del proceso.

El aporte de esta investigación consistirá en diseñar un prototipo para realizar pruebas de impacto que permita medir la tenacidad en los bordes en las vajillas, modificando el material y el peso del dispositivo, tomando en cuenta la norma ASTM C368-88 obteniendo un diseño diferente con una sujeción adaptable a las diferentes piezas de cerámica fabricadas por “La chicharra cerámica”. Mediante el desarrollo de la presente, potencialmente beneficia la empresa, además, se podría beneficiar algunas empresas de cerámica que van en crecimiento. Se plantea el uso de un material resistente que requiera menos procesos de maquinado, para reducir los costos de producción mediante el empleo de materiales estandarizados.

Los beneficios de este trabajo incluyen la reducción de costos en la fabricación del dispositivo, facilitando su reparación y mantenimiento al permitir el uso de refacciones compatibles disponibles en el mercado. Además, se optimizará la estructura del dispositivo para mejorar su funcionalidad, así como su sistema de sujeción, permitiendo la adaptación a distintos tipos de piezas como platos lisos, platos con borde, tazones, mezcaleros, vasos y tazas.

Además, esta investigación contribuirá al desarrollo y optimización de dispositivos funcionales. En este caso, se diseñará un equipo basado en la norma ASTM 368-88 para la realización de pruebas. Y se abordarán temas fundamentales dentro del perfil de un ingeniero en diseño, tales como: dibujo asistido por computadora, elementos de máquinas, resistencia de materiales, manufactura en metales, ergonomía, estática, dibujo técnico, dinámica, química de los materiales, CAE-CAM y manufactura en polímeros.

1.4 Objetivo general

Diseñar una propuesta de mejora de un dispositivo para realizar pruebas de impacto a productos cerámicos a partir de la norma ASTM C368-88, con el fin de facilitar la obtención de datos cuantitativos de tenacidad.

1.5 Objetivos específicos y metas

Objetivo Específico 1.

Elaborar el “Capítulo 2. Marco de referencia”; mediante una investigación documental, desarrollando los conceptos relacionados con el diseño del dispositivo para las pruebas de impacto, delimitando las características del objeto y analizando las propiedades de productos similares.

- Meta 1. Análisis conceptual
- Meta 2. Marco normativo
- Meta 3. Benchmarking
- Meta 4. Tabla de necesidades de usuarios y requerimientos de diseño
- Meta 5. Croquis del dispositivo
- Meta 6. Matriz de selección

Objetivo Específico 2.

Definir la arquitectura del sistema del dispositivo para pruebas de impactos; con el objetivo de identificar los elementos que lo conforman, desarrollar el prototipo digital y analizar su factibilidad técnica.

- Meta 7. Arquitectura del sistema
- Meta 8. Versión final del sistema
- Meta 9. Lista de especificaciones
- Meta 10. Modelo virtual
- Meta 11. Análisis de Elemento Finito estático con el software SolidWorks
- Meta 12. Planos constructivos (vistas principales, isométrico, explosivo y vistas de ensambles).

Objetivo Específico 3.

Evaluar el prototipo digital con base en la norma ASTM C368-88; con el fin de validar los resultados obtenidos durante el desarrollo de la investigación.

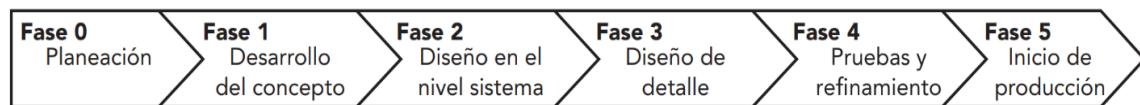
- Meta 13. Análisis estructural y de funcionamiento.

1.6 Metodología

Para el desarrollo de este proyecto se llevará a cabo utilizando la metodología propuesta por Ulrich y Eppinger (2013), la cual se compone originalmente de seis fases, como se muestra en la Figura 1. Sin embargo, debido a los alcances de esta investigación, se aplicarán únicamente las primeras cinco fases, hasta la fase 4. En la Figura 2 se muestran las etapas que serán abordadas para esta investigación.

Figura 1

Fases de la metodología Ulrich y Eppinger



Fuente: Ulrich y Eppinger (2013).

Las actividades a desarrollar en cada una de las etapas son las siguientes:

Fase 0

En esta fase se elaborarán los apartados del protocolo de tesis (Introducción, Planteamiento del Problema, Justificación, Objetivo general, Objetivos específicos y Metas, Índice Preliminar y Cronograma). Además, se abordarán los siguientes subpuntos del “Capítulo 2. Marco de referencia” de la tesis: Marco conceptual, Marco legal o normativo y Estado del Arte.

Fase 1

Análisis de productos de la competencia (Benchmarking), definición de requerimientos de diseño, conceptualización de propuestas de diseño, evaluación de los croquis de diseño y selección de la propuesta a detallar.

Fase 2

Descripción de la arquitectura del sistema (sistema y subsistemas), refinamiento de la propuesta seleccionada.

Fase 3

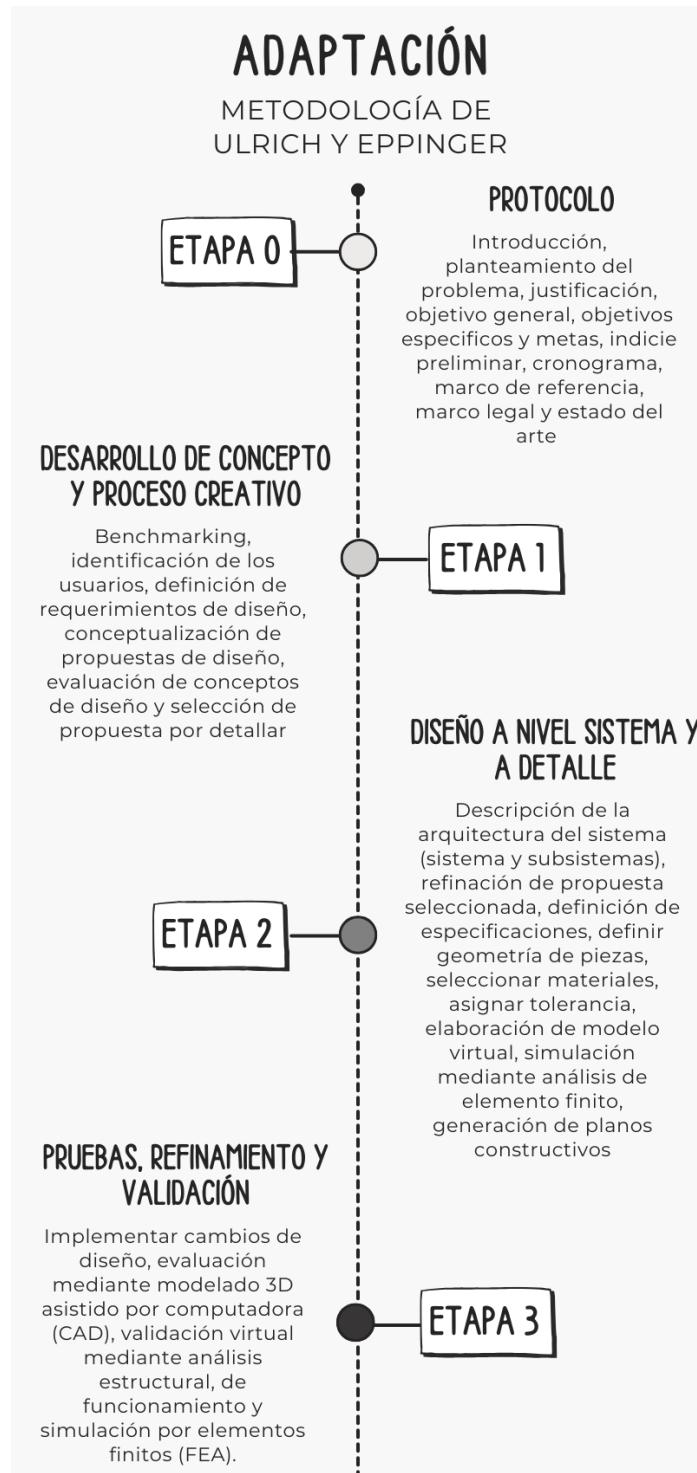
Definición de especificaciones, definir geometría de piezas, seleccionar materiales, asignar tolerancias, elaboración de modelo virtual, simulación mediante análisis de elemento finito y generación de planos constructivos.

Fase 4

Implementar cambios de diseño, evaluación mediante modelado 3D asistido por computadora (CAD) y validación virtual mediante análisis estructural de funcionamiento, simulación por elementos finitos (FEA) y estimación de costos

Figura 2

Adaptación de la metodología de Ulrich y Eppinger



CAPÍTULO 2. MARCO DE REFERENCIA

2.1 Propiedades mecánicas de la cerámica.

Las propiedades físicas y químicas de la cerámica le otorgan ventajas notables en diversas aplicaciones industriales, domésticas y artísticas. Algunas de sus características mecánicas más relevantes son las siguientes:

Resistencia a la oxidación y a la decoloración: Las mismas propiedades físicas de la cerámica le permiten ser un material que no se oxida con el paso del tiempo ni pierde su coloración original.

Es muy maleable y flexible en estado crudo: antes de la cocción, la pasta cerámica puede moldearse en casi cualquier forma imaginable para lograr piezas verdaderamente únicas y sobresalientes. Desde botellas hasta alcancías y esculturas, este material abre un mundo de posibilidades para diseñadores y creativos.

Impermeabilidad y resistencia a microorganismos: al ser vitrificada, no absorbe gérmenes ni humedad. Esta propiedad es ideal para quienes usan vajillas de cerámica en restaurantes, hoteles e incluso en hospitales. La cerámica vitrificada impide que se absorban microorganismos perjudiciales para la salud, así como sabores y humedad. Esto convierte a la cerámica en un material muy higiénico y seguro.

Aislamiento térmico y eléctrico: la composición de la cerámica la hace un muy buen aislante de temperatura (mantiene los líquidos fríos o calientes) y de electricidad, al grado de utilizarse para fabricar lámparas, sockets y como recubrimiento para componentes eléctricos. (Ánfora, 2017).

Alta resistencia a golpes y rayones: las piezas fabricadas de cerámica son muy resistentes, al ser de materiales provenientes de rocas y minerales, pueden resistir golpes y rayones. Dependiendo de la mezcla de arcillas y la calidad de fabricación.

2.2 Tenacidad

La tenacidad es la capacidad de un material para absorber energía y deformarse plásticamente antes de fracturarse. Es una medida de la cantidad de energía que un material puede soportar hasta el punto de ruptura y es especialmente importante en materiales que requieren alta resistencia al impacto y a la fractura.

La energía que absorbe un material antes de fracturarse se le conoce como tenacidad a la tensión y en algunas ocasiones se mide como el área bajo la curva de esfuerzo-deformación verdaderos (también llamada trabajo de fractura). (Askeland D. y Wright W., 2016).

La rapidez con la que se produce la deformación influye en el comportamiento del material. Si el golpe es intenso y rápido puede comportarse de una manera más quebradiza, por lo que se usa una prueba o ensayo de impacto para evaluar la fragilidad de un material, en contraste con la prueba de tensión.

La prueba de Charpy y la de Izod, son dos procedimientos para medir la tenacidad bajo un impacto. Existen dos tipos principales de ensayos mecánicos para evaluar las propiedades de los materiales:

1. Ensayos destructivos: Son aquellos en los que el material es sometido a condiciones que provocan su fractura o deformación permanente.
2. Ensayos no destructivos: Estos ensayos no alteran la estructura ni las propiedades del material, permitiendo su reutilización después de la prueba

2.4 Pruebas de impacto

El ensayo de impacto es una de las pruebas mecánicas fundamentales para evaluar las propiedades de los materiales, en particular su tenacidad. Su objetivo principal es determinar la capacidad del material para absorber energía antes de fracturarse, especialmente cuando se encuentra sometido a esfuerzos de choque o golpes. La tenacidad se define como la propiedad que posee un material para resistir la propagación de una fractura, absorbiendo energía hasta el punto de ruptura.

Existen dos métodos estandarizados para realizar este ensayo, que varían en función de la configuración de la probeta: el ensayo Charpy y el ensayo Izod. La geometría de ambas probetas es similar, diferenciándose principalmente en la orientación y ubicación de la muesca. Generalmente, el ensayo Izod es empleado para la evaluación de materiales no metálicos. (Figueroa, 2016).

No obstante, para este proyecto se toma como referencia el método ASTM C368, al ser el más adecuado según el tipo de material y la aplicación específica del dispositivo.

2.4.1 Método ASTM C368

A diferencia de Charpy e Izod, que evalúan la resistencia al impacto en muestras preparadas, este ensayo se realiza con la pieza completa, siendo especialmente adecuado para materiales cerámicos, ya sean esmaltados o sin esmaltar. Su propósito es predecir y evaluar la resistencia de la cerámica a fracturas o astillamientos en condiciones más cercanas al uso real, proporcionando una visión más precisa de su comportamiento bajo impacto.

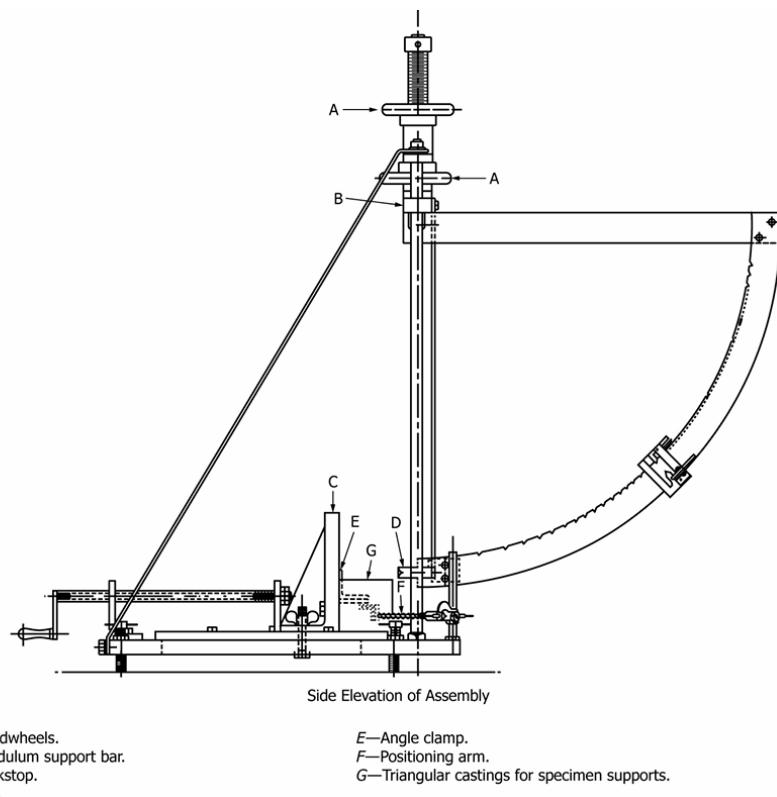
Los ensayos de impacto se aplican tanto en el centro como en el borde de piezas como vajillas planas, hondas, vasos y tazas

Este equipo cuenta con múltiples componentes como se muestra en una vista lateral del dispositivo en la Figura 3, que garantizan tanto la estabilidad del sistema como la sujeción segura de las piezas durante el ensayo. Entre sus principales elementos se encuentran los siguientes (identificados con las letras A a G en la figura, originalmente en inglés):

- A. Manivela
- B. Soporte para el péndulo
- C. Soporte trasero
- D. Tup
- E. Abrazadera en ángulo
- F. Brazo de posicionamiento
- G. Soportes triangulares fundidos para la pieza de ensayo

Su característica principal es el péndulo, que incluye un Tup suspendido mediante una configuración en "V", una escala de fuerza que mide con precisión la energía aplicada durante el impacto, y un mecanismo de liberación que asegura la consistencia y reproducibilidad de la fuerza en múltiples pruebas.

Figura 3
Impact Test Apparatus



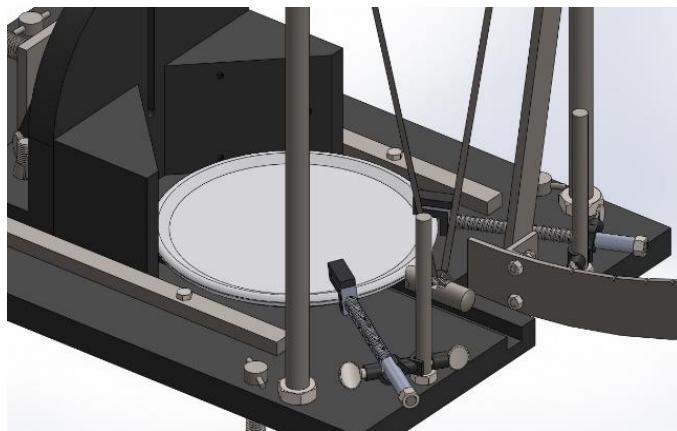
Fuente: Norma ASTM C368-88 (2024).

Sujeción de vajillas planas

El plato se coloca de manera horizontal sobre una base rígida y se asegura firmemente utilizando abrazaderas con resorte, las cuales presionan el borde del plato contra soportes metálicos rígidos en forma de prisma triangular, como se muestra en la Figura 4. Esta configuración permite realizar ensayos de impacto dirigidos hacia el borde de la pieza.

Figura 4

Sujeción de vajillas planas para impacto en el borde

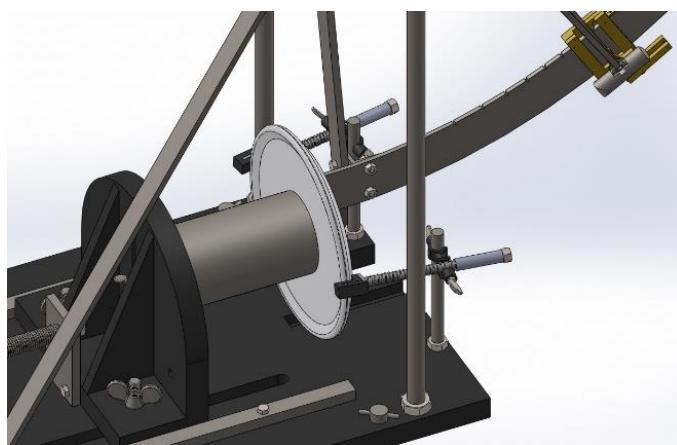


Fuente: Elaboración propia (2025).

Para ensayos en el centro, el plato puede posicionarse de forma vertical como se muestra en la Figura 5. En esta disposición permite realizar ensayos en el centro de la pieza, se emplea un tubo cilíndrico metálico que apoya directamente en la parte central, manteniéndolo estable con las abrazaderas a la misma altura a la que le golpeará el Tup.

Figura 5

Sujeción de vajillas planas para impacto en el centro



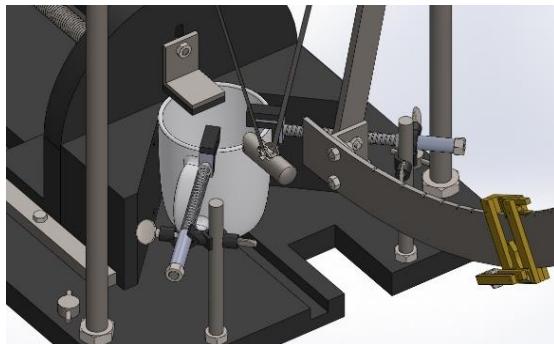
Fuente: Elaboración propia (2025).

Sujeción de vajillas huecas

Para las vajillas huecas, como tazas, vasos o tazones, la preparación es similar a la utilizada con platos, con la diferencia de que en estos casos la sujeción se realiza desde la parte superior mediante una abrazadera angular, que aplica presión hacia la base, como se muestra en la Figura 6. Esta configuración permite realizar ensayos de impacto dirigidos hacia el borde de la pieza.

Figura 6

Sujeción de vajillas huecas para impacto en el borde

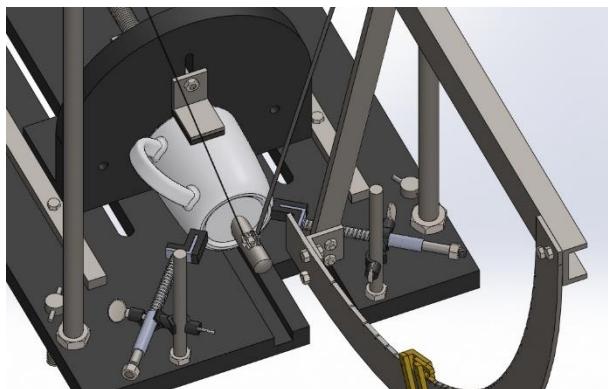


Fuente: Elaboración propia (2025).

Cuando las piezas se colocan en posición vertical, se apoyan contra soportes metálicos rígidos. En cambio, al colocarlas de forma horizontal, no se emplean estos soportes, pero se apoyan contra el tope posterior como se muestra en la Figura 7, esto para realizar ensayos de impacto dirigidos al centro de la pieza, con la ayuda de las abrazaderas con resorte. En ambos casos, se debe asegurar que la superficie expuesta al impacto esté libre de obstrucciones y correctamente alineada con la trayectoria del Tup, para garantizar resultados precisos y repetibles.

Figura 7

Sujeción de vajillas huecas para impacto en el centro



Fuente: Elaboración propia (2025).

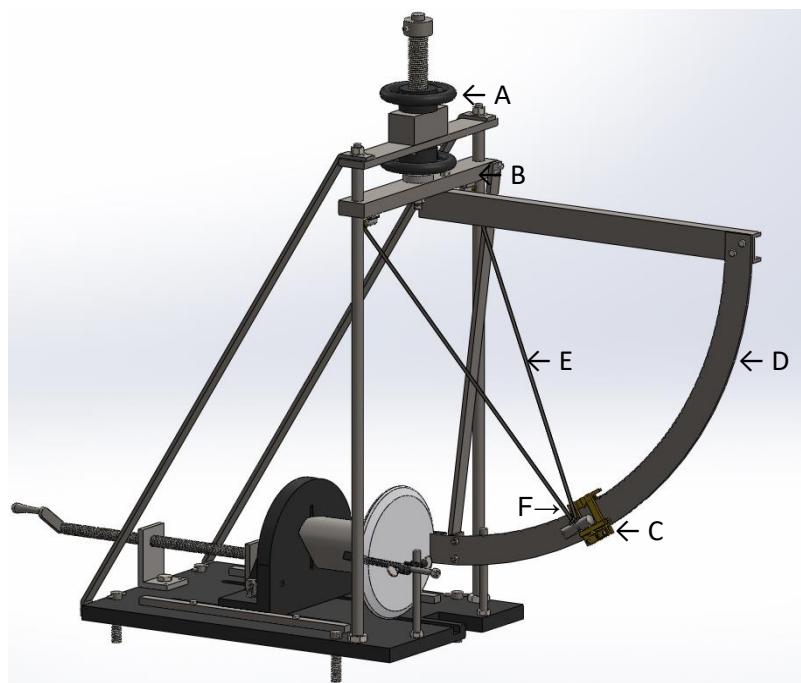
Procedimiento del ensayo

Una vez que la muestra está sujetada, el proceso de prueba se realiza siguiendo una serie de pasos, utilizando los componentes del equipo que se muestran en la Figura 8:

1. Se ajusta la altura del Tup utilizando las manivelas (A) que regulan la barra de soporte del péndulo (B), lo que permite situarlo en el centro o en el borde de la muestra, según el punto de impacto deseado.
2. Se ajusta la altura desde la cual se dejará caer el proyectil mediante un ajustador (C) que se desliza sobre un dial o segmento marcado (D), donde se indica la fuerza de impacto. Este mecanismo permite garantizar una fuerza controlada y repetible.
3. Con una pinza, se sostiene el Tup (F) en la posición deseada y, al soltar la pinza, el péndulo sostenido mediante una cinta metálica (E) cae libremente para impactar la muestra de cerámica. Tras el impacto, se observa si la pieza presenta fracturas, astillamientos u otros daños.
4. La prueba puede repetirse varias veces o con diferentes alturas para evaluar el umbral de resistencia de la vajilla.

Figura 8

Ajuste del péndulo

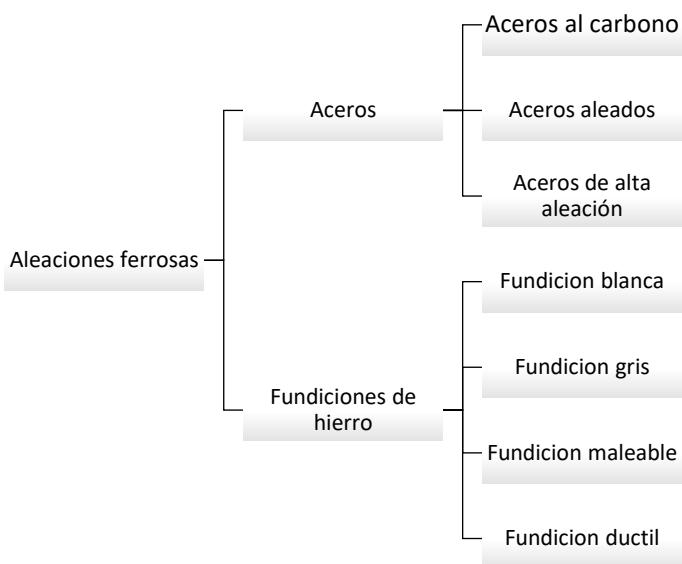


Fuente: Elaboración propia (2025). Nota: A)Manivela, B) Barra de soporte del péndulo, C)Ajustador, D)Segmento marcado, E)Péndulo, F)Tup.

2.5 Materiales

La industria siempre se ha caracterizado por ser uno de los sectores que más uso hace de los metales, generalmente para la fabricación de los diferentes elementos cotidianos que podemos ver y utilizar en nuestro día a día. Los materiales se pueden dividir en dos grandes grupos, como lo son los metales y los no metales, dentro de los metales se encuentran mostrados en el diagrama de la Figura 9.

Figura 9
Tipos de aceros



Fuente: Mott (2006).

2.5.1 Aceros

El acero es uno de los metales más utilizados a día, se trata de una aleación como principal componente es el hierro (Fe), con pequeñas cantidades de otros elementos (P, S, Mn, Cu, Cr, Si, etc.) y el segundo componente importante es el carbono (C) cuya cantidad está entre el 0.02% y el 2% aproximadamente, logrando de esta forma conseguir una gran dureza, pero a la vez una mayor elasticidad, lo que favorece su trabajo a nivel industrial.

“El acero ha sido, y sigue siendo, el material más utilizado en elementos de máquinas, debido a propiedades como alta resistencia, rigidez, facilidad de fabricación y a su bajo costo relativo”. (Vanegas,2018).

También se puede realizar una aleación compuesta por hierro, carbono y cromo, en cuyo caso lo que obtenemos es el conocido como acero inoxidable, el cual, además de conservar prácticamente intactas

las características de dureza y elasticidad del acero sencillo, nos permite obtener una ventaja añadida que es una gran resistencia a la corrosión. (Metalher, 2022).

Los aceros se clasifican de acuerdo a su porcentaje de carbono y otras aleaciones:

- Aceros simples o aceros al carbono
- Aceros aleados
- Aceros de alta aleación

2.5.1.1 Aceros simples

Los aceros simples se clasifican según el contenido de carbono que se tenga. los aceros cuentan con propiedades específicas que determinan su aplicación en la industria de pendiendo del porcentaje de carbono y su clasificación, como se muestra en la Tabla 1. (Del castillo,2011).

Tabla 1

Porcentaje de carbono de los aceros simples

Tipo de acero	Porcentaje de carbono	Características principales
Bajo carbono (acero dulce)	0.05 – 0.30 %	Dúctil, soldable, maquinables, resistencia moderada, no tratable térmicamente
Medio carbono	0.30 – 0.50 %	Buena resistencia, ductilidad moderada, apto para temple y revenido
Alto carbono	0.50 – 0.95 %	Muy duro y resistente al desgaste, difícil de soldar, poca tenacidad, tratable térmicamente

Fuente: Mott (2006).

A medida que aumenta el contenido de carbono, también aumentan la resistencia y la dureza. Ya que la ductilidad disminuye al aumentar el contenido de carbono, la selección de un acero adecuado implica cierto compromiso entre resistencia y ductilidad.

En el mercado, los aceros de bajo carbono son comúnmente conocidos como aceros dulces, y se comercializan en diversas formas como ángulos, soleras, placas, perfiles redondos y cuadrados, entre otros. Estas presentaciones se utilizan en estructuras metálicas, herrería, componentes de maquinaria ligera y proyectos de fabricación general debido a su buena soldabilidad, ductilidad y bajo costo. Su disponibilidad en diferentes secciones estándar permite adaptarlos fácilmente a una amplia variedad de aplicaciones industriales y constructivas.

2.5.1.2 Aceros aleados

Los aceros aleados son aceros simples, a estos se les agrega cierto porcentaje de otros elementos que no pase del 5% del total de la mezcla, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y aumentar la resistencia a la corrosión y a la oxidación. Los elementos más comunes para la aleación de aceros son: cromo, níquel, manganeso, silicio, molibdeno, vanadio y tungsteno.

A continuación, se presenta la Tabla 2, que detalla el sistema de las especificaciones AISI y SAE para aceros.

Tabla 2

Sistema de las especificaciones AISI y SAE para aceros

Acero	SAE	Acero	SAE
Ordinario al carbono	10XX	Molibdeno - níquel	46XX
Fácil mecanización	11XX	Molibdeno – cromo - níquel	47XX
Manganeso	13XX	Molibdeno – níquel	48XX
Boro	14XX	Cromo	5XXX
Níquel	2XXX	Cromo resistente al calor	514XX
Níquel – cromo	3XXX	Cromo resistente a la corrosión	515XX
Níquel – cromo resistente al calor y a la corrosión	303XX	Cromo – vanadio	6XXX
Molibdeno	4XXX	Níquel – cromo – molibdeno	8XXX
Molibdeno – cromo	41XX	Silicio – manganeso	92XX
Molibdeno – cromo - níquel	43XX	Níquel – cromo – molibdeno	9XXX

Fuente: Faires (1970).

A partir de los aceros aleados que contienen elementos como cromo, molibdeno, níquel y vanadio en particular las series 41XX, 43XX, 46XX, 48XX y 6XXX del sistema SAE/AISI— es posible alcanzar durezas del orden de Rockwell C55 (HRC 55) o superiores, siempre que se sometan a un tratamiento térmico adecuado. Estos aceros poseen una buena templabilidad y pueden ser endurecidos significativamente sin comprometer en exceso su tenacidad.

2.5.2 Fundición de hierro

Al igual que los aceros es una aleación de hierro y carbono, con la particularidad de que este contiene un rango de 2 hasta 6.7% de carbono entre otros elementos como el silicio y manganeso. La diferencia más significativa entre las fundiciones de hierro y el acero es que las fundiciones no se pueden dar forma mediante deformación plástica ni en frío ni en caliente, por lo que no es maleable a ninguna temperatura. Su gran ventaja es una gran resistencia a la compresión, pero no a la tensión.

Su clasificación de estos hierros fundidos es la forma del carbono en su estructura:

- Hierros fundidos blancos: el carbono se encuentra en carburo de hierro

- Hierros fundidos grises: el carbono se encuentra en forma de hojuelas de grafito
- Hierros fundidos dúctiles: El carbono se encuentra en forma de nódulos de grafito
- Hierros fundidos maleables: Donde el carbono se encuentra en forma de rosetas de grafito.

Los más resistentes son los hierros nodulares, pero al mismo tiempo son los más caros ya que se precisa de un mayor control en su composición química. Los más usados son los hierros fundidos grises.

Las principales aplicaciones de los hierros fundidos son:

- Carcasas para bombas y transmisiones
- Bases y marcos para máquinas herramientas
- Engranajes
- Flechas
- Partes automotrices, etc.

2.6 Propiedades de los metales

Para el diseño de maquinaria es muy importante conocer las propiedades físicas de los metales a utilizar y seleccionar el que mejor cumpla a los requerimientos de diseño, las propiedades principales más importante es la resistencia mecánica (esfuerzo de tracción, compresión, torsión y flexión sin deformarse ni romperse), la cual engloba:

- Ductilidad: Cuando un material tiende a deformarse antes de la fractura, al estirarse se mide su alargamiento o elongación, se expresa en porcentaje y se considera un material dúctil cuando su elongación es mayor a 5% y el esfuerzo de tracción es alta.
- Fragilidad: Es lo opuesto de ductilidad, se considera frágil cuando su esfuerzo a la tracción es bajo y se considera frágil cuando su elongación es menor a 5%.
- Dureza: es la resistencia u oposición a ser penetrado o rayado, esta propiedad está ligada a la resistencia a la compresión.
- Tenacidad: es la capacidad de absorber energía de impacto sin fracturarse, solo deformarse plásticamente por un tiempo.
- Fatiga: reducción de la resistencia de un material al efectuarse fuerzas externas fluctuantes o cíclicas. (Faires , 1970).

Como dice el William Calister en su libro ciencia e ingeniería de materiales: "Prácticamente todas las propiedades relevantes de los materiales sólidos se pueden agrupar en seis categorías diferentes: mecánicas, eléctricas, térmicas, magnéticas, ópticas y químicas. Para cada una de ellas hay un tipo característico de estímulo capaz de provocar respuestas diferentes. Las propiedades mecánicas se refieren a la deformación por una carga o fuerza aplicada"

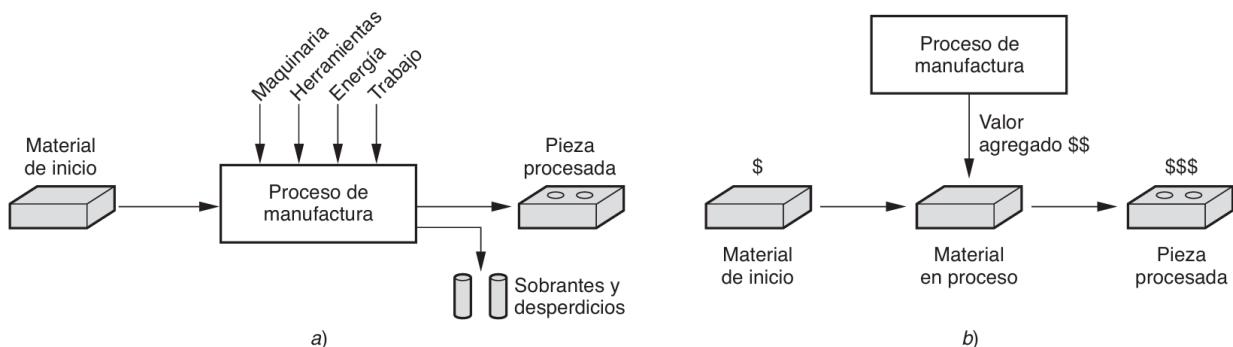
2.7 Proceso de Manufactura

Los procesos de manufactura son básicamente actividades complejas llevadas a cabo por profesionales que tienen una gran variedad de disciplinas y conocimientos técnicos, así como una amplia gama de maquinaria, herramientas y equipos con distintos niveles de automatización, tales como computadoras, robots, entre otros. (Escuela de Postgrado UCSP, S.f.).

También la manufactura se puede definir de dos maneras: a) tecnológica y b) económica, como se muestra en la Figura 10. En el sentido tecnológico, la manufactura es la aplicación de procesos físicos y químicos para alterar la geometría, propiedades o apariencia de un material de inicio dado para fabricar piezas o productos y en el sentido económico, la manufactura es la transformación de los materiales en artículos de valor mayor por medio de uno o más operaciones de procesamiento o ensamblado. (Groover, 2007).

Figura 10

Dos maneras de definir manufactura



Fuente: Groover (2007). Nota: a) como proceso técnico y b) como proceso económico

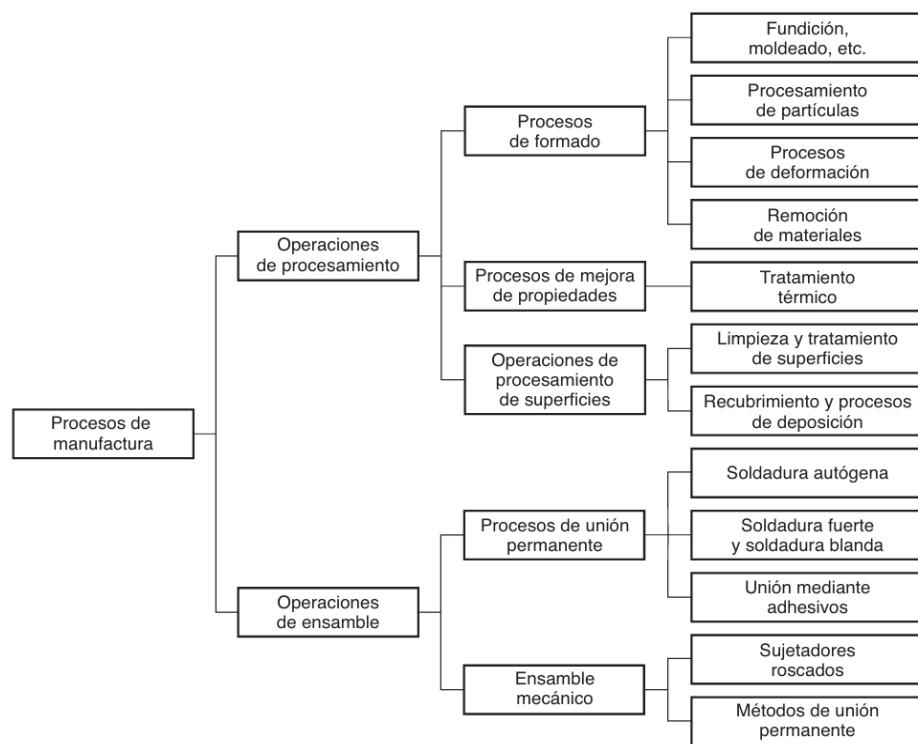
Los procesos de manufactura se dividen en dos tipos básicos como, las operaciones del proceso y las de ensamblado como se muestra en la Figura 11. Una operación del proceso hace que un material pase de un estado de acabado a otro más avanzado, cambiando su geometría, las propiedades o la apariencia. Una operación de ensamblado une dos o más componentes a fin de crear una entidad nueva, mediante un proceso de unión.

Esta información resulta útil para identificar y comprender los tipos de operaciones que se aplican comúnmente en el ámbito industrial, donde la transformación de materiales o piezas es una actividad constante. Por ejemplo, al adquirir una placa metálica, esta puede ser sometida a diversas operaciones del proceso, como el corte por láser para obtener una forma específica, el maquinado para remover material, la perforación para crear orificios, o el acabado superficial mediante recubrimiento con pintura. Cada una de estas etapas forma parte de un flujo productivo que se enmarca dentro de las operaciones de proceso. Posteriormente, si la pieza se une con otros componentes mediante soldadura, remaches o tornillos, se recurre a operaciones de ensamblado.

Por lo tanto, conocer esta clasificación permite entender mejor cómo se estructuran los procesos productivos desde la transformación inicial hasta la obtención del producto final.

Figura 11

Clasificación de los procesos de manufactura



Fuente: Groover (2007).

Operaciones de procesamiento

Se distinguen tres procesos:

1.- De formado: Alteran la geometría del material por medio de diferentes métodos aplicando calor y fuerza mecánica. Los procesos más comunes son:

- **Proceso de moldeado:** el material se calienta, se transforma en líquido y se vacía o se le fuerza para que fluya dentro de una cavidad llamada molde, donde se enfriá y solidifica, adoptando su forma.
 - Ejemplos: fundición y moldeado.
- **Proceso de partículas:** el material de inicio son polvos metálicos o cerámicos, los cuales se comprimen dentro de una cavidad llamada matriz o dado, aplicando gran presión. Luego, se calientan para lograr la unión de las partículas.

- **Proceso de deformación:** el material se calienta hasta una temperatura por debajo del punto de fusión y se deforma mediante la aplicación de fuerzas mecánicas.
 - Ejemplos: forjado y extrusión
- **Proceso de remoción de material:** se retira el exceso de material de la pieza de trabajo mediante operaciones de maquinado.
 - Ejemplos: torneado, perforado, fresado y rectificado

2.- Mejora de propiedades: agregan valor al material al mejorar sus propiedades físicas sin modificar su forma, a través de tratamientos térmicos.

- Ejemplos: templado, recocido y normalizado

3.- Procesamiento de superficies: se realizan para limpiar, tratar, recubrir o depositar material sobre la superficie exterior del trabajo.

- Ejemplos: galvanizado, cromado, anodizado y pintura

Operaciones de ensamble

Se distinguen dos tipos principales:

1.- Unión permanente: En el que dos o más piezas separadas se unen para formar una entidad nueva estos permanentes incluyen la soldadura homogénea, soldadura fuerte, soldadura blanda, y unión mediante adhesivos.

2.- Ensambles mecánicos: permiten sujetar dos (o más) partes en una pieza que se puede desarmar a conveniencia. El uso de tornillos, remaches y otros sujetadores mecánicos, son métodos tradicionales importantes de esta categoría. (Groover, 2007).

2.8 Marco normativo

Este apartado tiene como objetivo contextualizar el proyecto dentro del marco normativo aplicable, mostrando cómo las normas técnicas se relacionan con el tema en estudio y proporcionando una base de referencia que oriente el desarrollo y justifique las decisiones de diseño conforme a los criterios establecidos por organismos oficiales.

2.8.1 Normas ASTM

Desde su fundación en 1898, ASTM International (American Society for Testing and Materials) es una de las organizaciones internacionales de desarrollo de normas más grandes del mundo. En ASTM se reúnen productores, usuarios y consumidores, entre otros, de todo el mundo, para crear normas de

consenso voluntarias. Las normas de ASTM se crean usando un procedimiento que adopta los principios del Convenio de barreras técnicas al comercio de la Organización Mundial del Comercio (World Trade Organization Technical Barriers to Trade Agreement). El proceso de creación de normas de ASTM es abierto y transparente; lo que permite que tanto individuos como gobiernos participen directamente, y como iguales, en una decisión global consensuada.

Las normas de ASTM International se usan en investigaciones y proyectos de desarrollo, sistemas de calidad, comprobación y aceptación de productos y transacciones comerciales por todo el mundo. Son unos de los componentes integrales de las estrategias comerciales competitivas de hoy en día. Estas normas son utilizadas y aceptadas mundialmente y abarcan áreas tales como metales, pinturas, plásticos, textiles, petróleo, construcción, energía, el medio ambiente, productos para consumidores, dispositivos y servicios médicos y productos electrónicos. (AEC, 2019).

Existen normas ASTM que se utilizan para medir la tenacidad y resistencia a la fractura de materiales cerámicos y otros materiales frágiles. Algunas de las más relevantes incluyen:

ASTM C1421

Métodos de Prueba para la Determinación de la Resistencia a la Fractura de Materiales Cerámicos Monolíticos: Es una norma especializada para medir la tenacidad en materiales cerámicos usando técnicas específicas de preparación de muestras y métodos de ensayo para garantizar la precisión en materiales frágiles.

ASTM E1820

Método de Prueba Estándar para la Medición de la Resistencia a la Fractura: Aunque esta norma se aplica más comúnmente a metales, también puede adaptarse para algunos materiales frágiles o cerámicos. Este método cubre varias formas de prueba de tenacidad, como las basadas en mediciones de resistencia a la propagación de grietas.

ASTM C1161

Métodos de Prueba para Determinar la Resistencia a la Flexión en Cerámicos Avanzados: Aunque está diseñado para medir la resistencia a la flexión en cerámicos, es útil para inferir información sobre la tenacidad y la resistencia a la fractura.

ASTM D5045

Método de Prueba para la Determinación de Resistencia a la Fractura de Materiales Plásticos y Similares: Si bien se enfoca en materiales poliméricos, algunos materiales cerámicos compuestos o híbridos pueden evaluarse bajo esta norma, proporcionando datos sobre su comportamiento de fractura.

ASTM E399

Método de Prueba para la Determinación de la Tenacidad a la Fractura K_{IC} de Materiales Metálicos: Aunque es una prueba para metales, se adapta a veces en materiales frágiles que requieren análisis de tenacidad en condiciones específicas.

Estas normas ASTM ofrecen métodos para evaluar la tenacidad, resistencia a la fractura y propiedades mecánicas de cerámicos y otros materiales frágiles, proporcionando información fundamental para su uso en aplicaciones donde la resistencia a impactos o esfuerzos mecánicos es crítica.

Para esta investigación, el enfoque principal se centrará en la norma ASTM C368-88, la cual especifica el método de ensayo para medir la resistencia al impacto en materiales cerámicos, tanto esmaltados como sin esmaltar.

ASTM C368-88

La presente norma “ASTM C368-88 Standard Test Method for Impact Resistance of Ceramic Tableware” la cual es un método de ensayo estándar para resistencia al impacto de vajillas de cerámica. La norma es útil para poder realizar pruebas de astillamiento a vajillas de cerámica en el centro y de vajillas planas y huecas tanto en muestras vidriadas y no vidriadas.

El campo de aplicación para la industria alfarera es por la cual esta norma fue creada para tener una predicción de la resistencia del producto cerámico a la rotura por impacto en servicio. Al tener estos datos más precisos se les atribuyen mejor calidad a los productos además de contar con un dispositivo con características esenciales para poder realizar las pruebas como:

- Pruebas de impacto en el centro de vajillas planas y huecas
- Pruebas de impacto en el borde de vajillas huecas
- Pruebas de astillado en el borde de vajillas planas

Las muestras pueden estar o no esmaltadas.

La prueba de impacto en el centro de la muestra se utiliza para determinar: la magnitud de un golpe que producirá una fractura inicial, y la cantidad de energía necesaria para producir una falla completa

En la norma describe el procedimiento para los ajustes preliminares, la colocación de los objetos de prueba, los incrementos de impacto para el astillado hasta la fractura final. El propósito del método es determinar si el objeto cumple con ciertos estándares.

El aparato de ensayo de impacto tipo péndulo consistirá con las características esenciales:

- Un indentador de acero de tamaño especificado y de dureza C55 Rockwell.
- Apoyo de un indentador mediante una suspensión en V.

- Disposición de un medio de liberación desde alturas fijas de forma que se obtengan resultados reproducibles, independientemente del operario.
- Disposición para sujetar la probeta mediante abrazaderas de resorte contra soportes metálicos rígidos.
- Micrómetro: para medir el espesor de las muestras de ensayo, se utilizará un micrómetro con una precisión de 0,03 mm)

Se cuenta con un procedimiento escrito que indica cómo debe realizarse la prueba, así como con el método para calcular el factor de resistencia del utensilio sometido al impacto. También se establecen los informes que deben elaborarse conforme al proceso definido en la norma. El contenido completo de la norma se presenta en el Anexo A.

2.8.2 Norma NTC

Las normas NTC son las Normas Técnicas Colombianas, desarrolladas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). Estas normas establecen especificaciones técnicas y requisitos de calidad para diversos productos, servicios y procesos en Colombia, promoviendo su seguridad, funcionalidad y desempeño. Sus características principales son:

- Voluntarias: Generalmente, su cumplimiento no es obligatorio, a menos que sean adoptadas en regulaciones gubernamentales específicas.
- Estándares de calidad: Proveen lineamientos para garantizar que los productos o servicios cumplan con niveles mínimos de calidad aceptables.
- Ámbitos de aplicación: Cubren una amplia variedad de sectores, como construcción, alimentos, textiles, tecnologías, medio ambiente, entre otros.

Las NTC son similares a otras normas internacionales, como las ISO o las ASTM, y en muchos casos están armonizadas con estas para facilitar la compatibilidad y el comercio internacional. (ICONTEC,2024).

NTC 916

La Norma Técnica Colombiana NTC 916, emitida por ICONTEC, establece los requisitos que deben cumplir las vajillas de cerámica de uso institucional. Incluye especificaciones relacionadas con aspectos como resistencia al impacto, despostillamiento, choque térmico, liberación de plomo y cadmio, entre otros. En particular, el apartado sobre resistencia al impacto y despostillamiento el cual describe los requisitos relacionados con la resistencia al impacto y al despostillamiento.

Este tipo de norma está diseñada para garantizar la calidad y seguridad de productos de cerámica destinados al contacto con alimentos, asegurando que cumplan con los requisitos necesarios para un uso

prolongado y seguro en entornos institucionales. Por ejemplo, evalúa aspectos clave como defectos de fabricación, resistencia a detergentes y calidad superficial.

El enfoque principal se centra en las piezas de vajillería que deben cumplir los requisitos de resistencia al impacto y al despostillamiento indicados en la Tabla 3. Esta proporciona información clave necesaria para evaluar los parámetros técnicos que resultan de mayor relevancia para este estudio.

Tabla 3

Resistencia al impacto y al despostillamiento

Utensilio	Resistencia mínima al impacto en J	Resistencia mínima al despostillamiento en J
Pocillo	0.135	0.080
Pocillo pequeño (Té)	0.135	0.080
Plato hondo (altura mayor o igual que 30 mm)	0.150	0.135
Tazón	0.135	0.080
Plato pando (altura menor que 30 mm)	0.150	0.135

Fuente: NTC 916 (1999).

NTC 4631

La norma técnica colombiana NTC 4631:2022 Método de ensayo para determinar la resistencia al impacto y desportillado en vajillería de mesa (en inglés: Test method to determine the impact and chipping resistance of ceramic tableware).

Este método de ensayo cubre las siguientes pruebas: Ensayo de impacto en el centro tanto en artículos de obra plana y hueca, así como impacto en el borde para artículos de obra hueca. También se contempla el ensayo de desportillado en el borde en artículos de obra plana. Los especímenes pueden estar sin vidriado (bizcocho) o con vidriado. Además, esta norma es idéntica a la ASTM C368-88 reprobada en 2020.

2.9 Estado del arte

En este apartado se presenta un análisis de antecedentes relevantes relacionados con el dispositivo. Se incluyen tanto registros de patentes como productos o dispositivos disponibles actualmente en el mercado que poseen características funcionales o estructurales similares.

Se comienza con la revisión de una patente identificada que describe un dispositivo con un principio de funcionamiento comparable al que se propone, la cual, aunque actualmente no se encuentra vigente, constituye un referente importante en el desarrollo de tecnologías de este tipo. Posteriormente, se describen otros artículos, investigaciones y productos comerciales obtenidos mediante la revisión de artículos científicos, tesis y catálogos de productos en línea, para así ofrecer una visión completa del estado actual y los avances previos en el área.

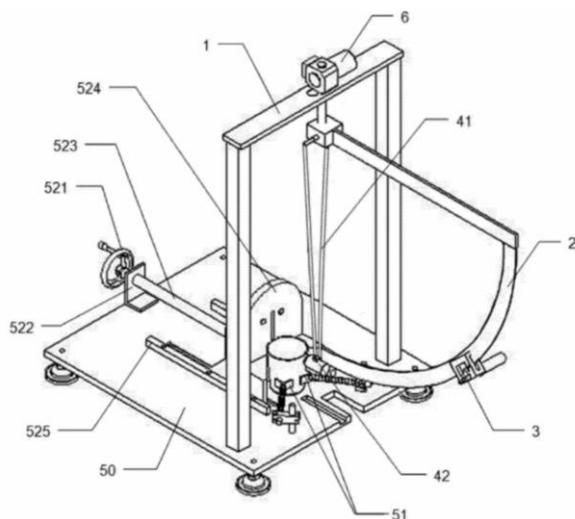
2.9.1 Patentes

Durante la revisión de antecedentes tecnológicos, se identificó una patente originaria de China titulada **一种陶瓷摆锤冲击测试**, (Maquina de prueba de impacto de péndulo cerámico), registrada bajo el numero **CN203606244U**, otorgada el **21 de mayo de 2014**, con solicitud presentada por **Shenzhen Intertek Quality Technology Service Co., Ltd.**

Esta patente describe una máquina para pruebas de choque mediante péndulo, específicamente diseñada para evaluar la resistencia al impacto de productos cerámicos. Su principio operativo guarda similitud con el dispositivo que se plantea en el presente trabajo, particularmente en el uso de un péndulo para aplicar un impacto controlado sobre el material cerámico, como se muestra en la Figura 12.

Figura 12

Maquina de prueba de impacto de péndulo cerámico



Fuente: Shenzhen Intertek Quality Technology Service Co., Ltd. (2014)

Dado que los derechos exclusivos de explotación expiraron el **22 de noviembre de 2023**, esta tecnología pasó al dominio público. Por tanto, el uso, reproducción o modificación de este diseño o de sus componentes ya no constituye una infracción de propiedad intelectual.

Este análisis garantiza que el desarrollo propuesto en este trabajo no vulnera derechos de patente vigentes y se basa en antecedentes tecnológicos de libre acceso para innovar y mejorar.

Las reivindicaciones de esta patente CN203606244U protege la configuración y combinación específica de elementos que conforman el dispositivo de prueba de impacto mediante péndulo, incluyendo el marco, el péndulo, el mecanismo de liberación y los soportes para muestras cerámicas. No se protege únicamente una pieza o componente aislado, sino el sistema completo y su funcionamiento conjunto.

Reivindicaciones principales (simplificadas):

- 1. Dispositivo que incluye:**
 - Un marco o estructura base.
 - Un péndulo montado en un eje de rotación.
 - Un mecanismo para liberar el péndulo desde una posición determinada.
 - Un soporte o base donde se coloca la muestra (pieza cerámica) a probar.
 - Un sistema para medir el ángulo o energía del péndulo al impactar la muestra.
- 2. El péndulo está diseñado para:**
 - Golpear la muestra con energía controlada.
 - Permitir medir la resistencia al impacto en diferentes zonas de la muestra (centro, borde, etc.).
- 3. Configuración para adaptarse a distintos tamaños y tipos de piezas cerámicas.**
- 4. Mecanismos para ajustar la posición del péndulo y la muestra para realizar diferentes tipos de pruebas de impacto y desportillado.**

2.9.2 Productos comerciales disponibles

Con el fin de contextualizar el diseño del dispositivo propuesto, es importante conocer los equipos comerciales existentes que cumplen con la norma ASTM C368. Estos equipos son ampliamente utilizados en la industria cerámica para evaluar la resistencia al impacto, asegurando la calidad y durabilidad requerida en aplicaciones comerciales.

A continuación, se presenta un ejemplo representativo del tipo de maquinaria empleada en la industria para la evaluación del impacto en productos cerámicos.

Con base en una búsqueda de mercado, se identificaron las opciones más destacadas por su desempeño, confiabilidad y cumplimiento de la norma, siendo las siguientes:

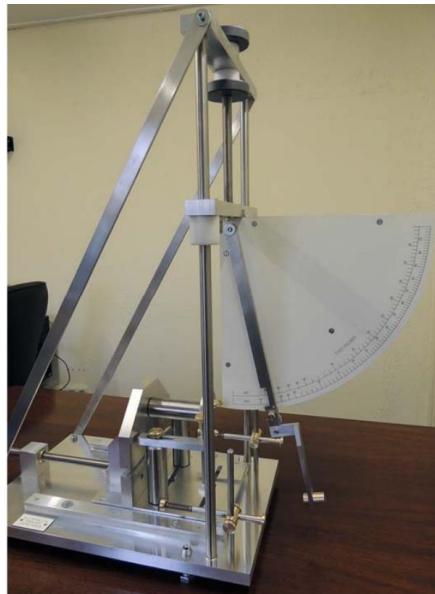
- E.J. Payne Ceramic
- Gabbrielli Technology S.r.l
- Great Safe Apparatus Limited
- Anderen Limited

E.J. Payne Ceramic

En cuanto a los productos comerciales, en la Figura 13 se presenta un dispositivo de prueba de impacto para cerámica conforme a la norma ASTM C368, fabricado por E.J. Payne Ceramic (s.f.).

Figura 13

Dispositivo para evaluar el impacto en cerámica ASTM C368



Fuente: e.j. Payne ceramic (s.f.).

El equipo tiene dimensiones generales de $75 \times 40 \times 100$ cm, un peso neto aproximado de 95 kg y un costo estimado de £6130 (equivalente a 147,197 pesos). Su funcionamiento se basa en un sistema de péndulo con una punta de acero que impacta en el centro y el borde de platos y utensilios huecos como tazas y cuencos.

La medición de la energía de impacto se realiza en unidades de pie-libra fuerza (ft·lbf). Su configuración permite realizar pruebas controladas, repetibles y confiables. Además, el dispositivo permite evaluar muestras esmaltadas o sin esmaltar y se utiliza para determinar:

- La energía necesaria para provocar la fisura inicial.
- La energía requerida para causar la falla completa.

Gabbrielli Technology S.r.l

Un producto comercial adicional con funciones similares se muestra en la Figura 14. Se trata de un dispositivo para pruebas de impacto en vajillas conforme a la norma ASTM C368, fabricado por Gabbrielli Technology S.r.l (2005).

Figura 14

Prueba de impacto ASTM para vajillas



Fuente: Gabbrielli (2005).

Sus dimensiones generales son de 53 x 58 x 130cm, un peso de 95kg y un costo de EUR 7,944 (164,520 pesos) dado que se rige bajo una norma específica, se usa un péndulo y un cabezal con una dureza de Rockwell, la Prueba de impacto de ASTM para estimar la resistencia de los artículos cerámicos a golpes y manipulación brusca de arena. Una máquina de doble escala (con dos cabezales intercambiables de 4 y 6 onzas) disponible para realizar pruebas de impacto de acuerdo con ASTM C-368, la escala más baja (4 oz) para vajillas domésticas de porcelana china y la más pesada (6 oz) para realizar pruebas en productos más robustos como para restaurantes y artículos de hotel.

Capaz de probar artículos huecos (tazas) y pruebas de astillado en el borde de platos de hasta 320 mm de diámetro y de diferentes grosoros.

- Adecuado para vajillas huecas esmaltadas o no esmaltadas

Y mide dos pruebas específicas

1. La energía de un golpe para producir la fisura inicial.
2. La energía requerida para la falla completa.

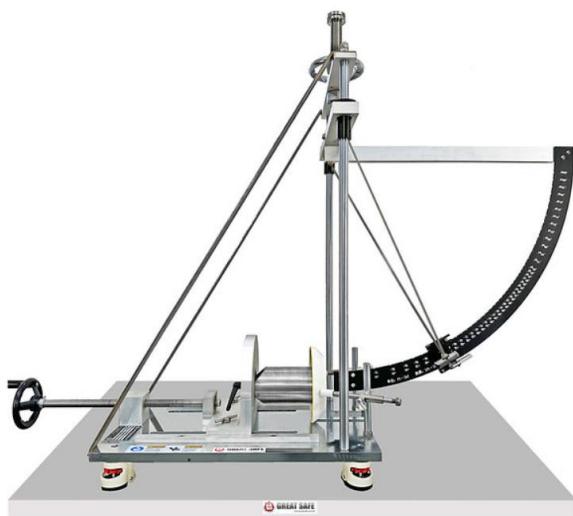
Great Safe Apparatus Limited

Otra opción comercial, mostrada en la Figura 15, es un probador de impacto cerámico fabricado por Great Safe Apparatus Limited (2024), cuya sede central se encuentra en Hong Kong.

Este equipo presenta dimensiones generales de $148 \times 41 \times 110$ cm y un peso de 35 kg. Está diseñado para realizar pruebas de impacto en productos cerámicos, en conformidad con los principios establecidos por la norma ASTM C368.

Figura 15

Probador de impacto cerámico



Fuente: Great Safe (2024).

El cual está bajo la norma ASTM C368-88: Método de prueba estándar para la resistencia al impacto de la vajilla de cerámica, este equipo está diseñado para predecir la resistencia de los productos cerámicos a la rotura por impacto en servicio. Incluye cuatro pruebas. Las pruebas de impacto en el centro de los cubiertos y los artículos huecos, en el borde de los artículos huecos y las pruebas de desconchado en el borde de los cubiertos.

Este equipo admite cuatro tipos de pruebas de impacto de vajillas de cerámica. Equipe diferentes abrazaderas para terminar cada una de las pruebas.

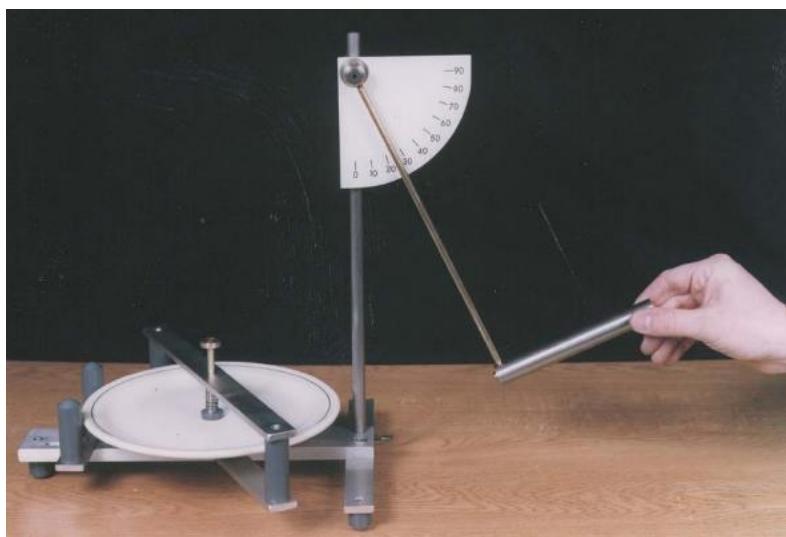
Este equipo diseña una amplia gama de ángulos de impacto del péndulo de 10° a 85° en el segmento de la esfera. El cliente puede ajustar la fuerza de impacto (golpe) hasta que la muestra se fracture.

Anderen Limited

Otro producto comercial con funciones similares pero pequeño, se muestra en la Figura 16, se denomina probador de impacto – Portátil, de Anderen Limited (2017) empresa de Reino Unido el cual a proporcionando una amplia gama de instrumentos de control y garantía de calidad a la mayoría de los fabricantes de cerámica líderes en el mundo, el dispositivo portátil es adecuada para probar placas de hasta 200 mm de diámetro.

Figura 16

Probador de impacto – Portátil



Fuente: Anderen Limited (2017).

El probador de impacto portátil Anderen, de la gama de equipos de prueba de cerámica, es un instrumento simple que se puede usar como un método rápido y fácil. Una herramienta de ventas para demostrar la resistencia al impacto de vajillas y artículos de hotel. (platos).

- Es ideal para los representantes de ventas que realizan visitas a clientes o en exposiciones para demostrar la resistencia al impacto del producto de una empresa.

Limitaciones:

- No está diseñado para usarse en pruebas de ASTM, pero es una herramienta ideal para predecir el resultado de las pruebas formales de ASTM.
- Para pedidos especiales, se puede personalizar la base para que se ajuste a platos más grandes.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS CONCEPTUAL

CAPITULO 3. ANALISIS CONCEPTUAL

Este capítulo presenta un análisis orientado a comprender la arquitectura del dispositivo a través de una comparación con productos desarrollados por empresas líderes en la industria (benchmarking), con el fin de identificar áreas de mejora y establecer metas que permitan optimizar el diseño para hacerlo más accesible y eficiente en su fabricación y uso.

También se describe al usuario principal y sus necesidades, las cuales se integran en una tabla que orienta el diseño propuesto. Para ello, se selecciona la opción más adecuada mediante una matriz de decisión, considerando tanto los requerimientos del usuario como los planos normativos, que representan un estándar tomado como referencia por diversos fabricantes. Con base en esta información y en las configuraciones observadas en el mercado actual, se plantea una propuesta de mejora que combina elementos de ambas fuentes y detalla los aspectos clave a modificar.

3.1 Benchmarking

El benchmarking se emplea como herramienta de análisis comparativo para identificar oportunidades de mejora, esta estrategia permite evaluar las características de productos existentes en el mercado, con el objetivo de optimizar la propuesta de mejora del dispositivo

Los criterios seleccionados para el análisis (estructural, funcional, de uso, técnico-productivo, morfología y legal) fueron definidos en función de su relación directa con los objetivos de esta tesis. En particular, permiten evaluar aspectos clave como la facilidad de fabricación, la precisión del ensayo, la seguridad para el usuario, el mantenimiento requerido y los costos asociados. Por ejemplo, el criterio estructural ayuda a identificar formas de reducir el peso y mejorar la movilidad del equipo; el funcional permite evaluar la capacidad de ajuste y repetibilidad de las pruebas; el técnico-productivo orienta sobre procesos de manufactura más sencillos; y el legal asegura la compatibilidad con la normativa vigente.

Cabe señalar que la recopilación de información de los productos se realizó con base en la información proporcionada por los fabricantes, a través de documentos en formato PDF, que incluían datos básicos como dimensiones, peso, materiales y precio (cuando estuvo disponible). La evaluación fue de tipo visual, sin acceso físico a los equipos, y en algunos casos con información incompleta. Esta limitante fue considerada durante la interpretación de los resultados. No obstante, los datos recopilados permitieron realizar una comparación basada en criterios clave del diseño, tomando como referencia que los dispositivos analizados fueron desarrollados conforme a la norma ASTM C368 y son comercializados por empresas del sector, lo cual sugiere que cumplen con los requerimientos mínimos de funcionamiento establecidos.

Para la comparación de productos, en la Tabla 4 se presenta la recopilación de información correspondiente a todos los criterios previamente definidos, del equipo de prueba de impacto desarrollado por la empresa *Gabbrielli Technology S.r.l.*, con base en la información técnica disponible.

Tabla 4

Recopilación integral del dispositivo Impact Test ASTM for Tablewares

	
Criterios	Descripción
Estructural	<p>Nº de componentes: múltiples piezas.</p> <p>Ensambles: semipermanentes, con tornillos y pernos en diferentes puntos; piezas ajustables y desmontables.</p> <p>Materiales: aluminio, latón o bronce en perillas y sujetadores.</p> <p>Ventajas: estructura rígida y modular, facilita desmontaje y reensamblaje.</p> <p>Desventajas: ocupa mucho espacio, lo que limita movilidad; materiales metálicos elevan el costo.</p>
Funcionales	<p>Mecanismos: movimiento pendular y desplazamientos lineales (vertical y horizontal).</p> <p>Ajustabilidad: partes regulables (soporte de vajilla, brazo posicionador, altura del péndulo).</p> <p>Facilidad de uso: ajustes manuales permiten controlar posición y fuerza del impacto.</p>
Uso	<p>Intuitivo: escala angular y mecanismo facilitan la interpretación.</p> <p>Instalación: requiere base firme; posible instalación fija.</p> <p>Interacción usuario: operación mecánica y ajuste manual en cada prueba.</p>
Técnico - productivo	<p>Mantenimiento: uniones atornilladas permiten desmontaje para reparación o ajuste.</p> <p>Durabilidad: materiales metálicos aseguran larga vida útil.</p>
Morfología	<p>Forma: estructura triangular para mayor estabilidad.</p> <p>Estética: diseño funcional, sin acabados decorativos.</p> <p>Ergonomía: eficiente y cómoda para el operador.</p>
Legal	Compatible con norma ASTM C368 , cumple con requisitos esenciales para pruebas.

Fuente: Elaboración propia (2023).

En las siguientes tablas se presenta la recopilación de información correspondiente al dispositivo desarrollado por la empresa Great Safe Apparatus Limited, el cual se basa en los lineamientos de la norma ASTM C368-88. Esta información forma parte del proceso de benchmarking, aplicado a equipos comerciales seleccionados con el fin de identificar oportunidades de mejora en la propuesta de rediseño.

La Tabla 5 presenta los criterios estructurales y funcionales del equipo, mientras que la Tabla 6 muestra los aspectos relacionados con el uso, desempeño técnico-productivo, morfología y cumplimiento normativo.

Tabla 5

Criterios estructural y funcional del dispositivo ASTM C368-88 Ceramic Impact Tester

Criterios	Descripción	
Estructural	<p>Nº de componentes: varios.</p> <p>Ensamblés: semipermanentes, mediante tornillos y pernos.</p> <p>Materiales: aleaciones de aluminio o acero inoxidable; latón o bronce en perillas y sujetadores.</p> <p>Ventajas: estructura rígida y estable.</p> <p>Desventajas: gran tamaño que dificulta la movilidad; materiales metálicos incrementan el costo de fabricación.</p>	
Funcionales	<p>Mecanismos: conversión de movimiento circular a lineal; incluye péndulo y sistemas de sujeción con tornillos.</p> <p>Ajustabilidad: posición de la vajilla, brazo posicionador y altura del péndulo son regulables.</p> <p>Ventajas: facilidad de uso moderada; requiere operación precisa por personal capacitado.</p> <p>Desventajas: altos costos de reposición debido al tamaño y materiales.</p>	

Fuente: Elaboración propia (2023).

Tabla 6*Recopilación complementaria del dispositivo ASTM C368-88 Ceramic Impact*

Criterios	Descripción
Uso	<p>Seguridad: no cuenta con protecciones evidentes, pero al ser mecánico, presenta menor riesgo.</p> <p>Mantenimiento: limpieza sencilla gracias a superficies lisas.</p> <p>Ergonomía: cómoda para pocas pruebas continuas.</p> <p>Transporte: su peso requiere asistencia mecánica.</p> <p>Ubicación: debe colocarse sobre una mesa estable.</p> <p>Ventajas: intuitivo y amplio para las mediciones.</p> <p>Desventajas: las roscas de paso requieren mantenimiento frecuente.</p>
Técnico - productivo	<p>Proceso: fácil de operar por diferentes usuarios con capacitación básica.</p> <p>Materiales y costos: uso de metales mejora la durabilidad, pero eleva el costo.</p> <p>Mantenimiento: accesible para limpieza y ajustes.</p> <p>Ventajas: operación sencilla y adaptable a distintos usuarios.</p> <p>Desventajas: depende del cumplimiento del protocolo por el operador; puede requerir dos personas</p>
Morfología	<p>Diseño: estilo minimalista, con enfoque funcional más que decorativo.</p> <p>Distribución: componentes organizados eficientemente.</p> <p>Ventajas: estructura sólida, amplia y precisa para las mediciones.</p> <p>Desventajas: mantenimiento frecuente por el largo del eje horizontal.</p>
Legal	Cumple con la norma ASTM C368 , acorde a los requisitos esenciales para realizar pruebas.

Fuente: Elaboración propia (2023).

En las siguientes tablas se presenta el análisis del último dispositivo considerado en el proceso de *benchmarking*, desarrollado por la empresa *E.J. Payne Ceramic*. La evaluación se basa en la información técnica disponible y contempla los criterios estructurales, funcionales, de uso, técnico-productivos, morfológicos y legales, con el objetivo de identificar características clave relevantes para la propuesta de mejora del dispositivo.

La Tabla 7 incluye los criterios estructurales, funcionales y de uso; mientras que la Tabla 8 aborda los aspectos técnico-productivos, morfológicos y de cumplimiento normativo.

Tabla 7*Criterios funcionales y de uso del dispositivo EJP ASTM Type Impact Tester*

			
Criterios	Descripción		
Estructural	<p>Nº de componentes: varios.</p> <p>Ensambles: semipermanentes, mediante tornillos y pernos.</p> <p>Materiales: aluminio, latón y acero.</p> <p>Ventajas: permite un desmontaje y reensamblaje sencillo.</p> <p>Desventajas: la altura del dispositivo es desproporcionada respecto a la base, afectando la estabilidad visual o estructural.</p>		
Funcionales	<p>Mecanismos: conversión de movimiento circular a lineal; mecanismo de péndulo con sujeción mediante tornillos.</p> <p>Versatilidad: puede sujetar piezas cerámicas de hasta 320 mm.</p> <p>Acabados: superficie lisa y uniforme.</p> <p>Ventajas: alta resistencia; el montaje fijo favorece la durabilidad.</p> <p>Desventajas: uso de materiales personalizados incrementa los costos; el tamaño general aumenta el precio final.</p>		
Uso	<p>Seguridad: al ser mecánico, reduce riesgos inherentes a sistemas automatizados.</p> <p>Mantenimiento: superficie lisa facilita la limpieza.</p> <p>Ergonomía: cómoda para pocas pruebas, pero limitada ante uso prolongado.</p> <p>Transporte: requiere equipo o desmontaje parcial por su peso.</p> <p>Ubicación: necesita una superficie estable, como una mesa de laboratorio.</p> <p>Ventajas: uso intuitivo que facilita las mediciones.</p> <p>Desventajas: las roscas de los tornillos necesitan mantenimiento frecuente.</p>		

Fuente: Elaboración propia (2023)

Tabla 8*Recopilación complementaria del dispositivo EJP ASTM Type Impact Tester*

Criterios	Descripción
Técnico - productivo	<p>Proceso: fácil de usar incluso por operadores con poca experiencia.</p> <p>Mantenimiento: requiere lubricación en zonas móviles.</p> <p>Ventajas: máquina sencilla que permite el uso por diferentes usuarios tras capacitación básica.</p> <p>Desventajas: su seguridad depende del estricto cumplimiento de protocolos por parte del operador.</p>
Morfología	<p>Estilo: diseño minimalista, con acabados lisos.</p> <p>Ventajas: estructura sólida que garantiza precisión en las mediciones.</p> <p>Desventajas: repetición de acciones puede causar incomodidad debido a la ergonomía limitada en algunos puntos de agarre.</p>
Legal	Cumple con la norma ASTM C368 , según los requerimientos esenciales para la ejecución de pruebas.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Se recopiló información correspondiente a cada uno de los criterios definidos con el objetivo de identificar las características principales de los dispositivos seleccionados. A partir de esta información, se elaboró una comparación estructurada entre los equipos comerciales, dividida en dos tablas: la Tabla 9 presenta aspectos generales como dimensiones, peso, materiales y costo aproximado mientras que en la Tabla 10 contiene criterios funcionales, técnicos y normativos, la cual permitió identificar ventajas, limitaciones y posibles áreas de mejora que orientan el desarrollo de una propuesta de diseño más eficiente y alineada con los requerimientos de esta tesis.

Tabla 9*Características generales de los dispositivos comerciales de prueba de impacto*

Criterio	Gabbrielli Technology	Great Safe Apparatus Ltd.	E.J. Payne Ceramic
Costo aproximado	€7,944 (164,520 pesos)	No disponible	£6,130 (147,197 pesos)
Dimensiones (cm)	53 × 58 × 130	148 × 41 × 110	75 × 40 × 100
Peso	95 kg	35 kg	95 kg
Materiales	Aceros, aluminio, latón y bronce	Posiblemente aleaciones de aluminio, policarbonato, latón y bronce	Aceros, aluminio, latón y bronce

Fuente: Elaboración propia (2024)

Tabla 10*Comparación funcional y técnica de los dispositivos comerciales*

Criterio	Gabrielli Technology	Great Safe Apparatus Ltd.	E.J. Payne Ceramic
Estructura	Modular; su altura puede afectar la estabilidad	Estructura ligera con posibles refuerzos internos	Estable y de fácil desmontaje
Morfología	Diseño triangular que favorece estabilidad y operación	Estilo funcional, componentes distribuidos de forma compacta	Diseño minimalista con superficies lisas y distribución precisa
Mecanismo	Péndulo ajustable con desplazamientos lineales y fijación mecánica	Igual configuración: péndulo, desplazamiento lineal y fijación	Mismo sistema: péndulo ajustable y fijación mecánica
Funcional	Mecanismos ajustables permiten controlar posición y fuerza del impacto.	Requiere precisión operativa para ajuste manual	Ajuste mecánico manual que reduce riesgos operativos
Facilidad de uso	Operación intuitiva, requiere instalación fija	Uso moderado, requiere capacitación	Intuitivo, uso sencillo con experiencia básica
Técnico-productivo	Materiales metálicos permiten ajustes y ofrecen resistencia	Aleaciones ligeras reducen peso, pero implican menor rigidez	Materiales metálicos ofrecen rigidez y permiten ajustes precisos
Mantenimiento	Requiere lubricación ocasional en componentes móviles	Necesita atención frecuente en tornillo de avance y partes móviles	Requiere lubricación ocasional en zonas móviles
Movilidad	Limitada por peso y tamaño	Ligero, pero requiere asistencia mecánica	Posible mediante desmontaje parcial
Legal	Cumple con ASTM C368	Cumple con ASTM C368	Cumple con ASTM C368
Ventaja destacada	Modularidad y ajuste manual	Bajo peso y estructura simplificada	Estabilidad estructural y facilidad de desmontaje
Desventaja destacada	Dimensiones altas afectan la movilidad y elevan el costo	Materiales ligeros pueden comprometer la rigidez estructural	Volumen y peso considerables elevan el costo y reducen movilidad

Fuente: Elaboración propia (2024)

La comparación muestra que, si bien los tres productos cumplen con la norma ASTM C368 y ofrecen soluciones funcionales viables, existen oportunidades claras de mejora. Entre ellas destacan la reducción del peso para facilitar la movilidad, la simplificación de componentes para disminuir el costo sin afectar la precisión, y la utilización de materiales comerciales más accesibles.

Estas observaciones constituyen una base para el diseño propuesto en esta tesis, con el fin de desarrollar una alternativa más eficiente, accesible y fabricada con materiales comunes en el mercado, que no requiera procesos de manufactura complejos.

3.2 Descripción del usuario

En el presente aparato se identifica al usuario involucrado en el uso del dispositivo diseñado para evaluar la tenacidad de vajillas cerámica. El usuario principal está representado por las piezas de cerámica, sobre las cuales se aplicarán las pruebas de tenacidad, ruptura y despostillamiento mediante la aplicación de una fuerza controlada.

Además, la selección permite establecer parámetros de diseño y validación del dispositivo que contemplen un amplio rango de dimensiones, abarcando desde piezas pequeñas como mezcaleros (con un diámetro aproximado de 5 cm) hasta platos grandes (de hasta 29 cm de diámetro).

3.2.1 Usuario primario

La selección de estas líneas de vajilla se justifica por su uso frecuente en contextos domésticos y comerciales, ya que representa las piezas más comunes en el servicio de alimentos y bebidas. Estas líneas abarcan elementos esenciales como platos llanos y hondos, tazas, tazones y cuencos, entre otros, que conforman el núcleo funcional de una vajilla. Debido a su alta rotación y manipulación constante, estas piezas están más expuestas con mayor frecuencia a esfuerzos mecánicos como impactos, caídas y choques entre sí, lo que las convierte en casos representativos para evaluar la tenacidad.

Para este análisis, se seleccionaron cinco líneas de vajilla pertenecientes al catálogo de la empresa La Chicharra Cerámica:

- Línea curva
- Línea trapezoidal
- Línea de ensalada y pasta
- Línea de café y té
- Línea de mezcal.

La Chicharra Cerámica es una empresa oaxaqueña especializada en el diseño y producción de vajillas de cerámica de alta temperatura. Su principal materia prima es la arcilla gres de origen nacional, empleada para la fabricación de productos destinados al servicio y presentación de alimentos. A través de la experimentación con diversas tierras, barros, cenizas e ingredientes naturales, la empresa ha desarrollado una gama de colores únicos, así como esmaltes libres de plomo y metales pesados.

A continuación, se describen brevemente las características de cada una de las líneas seleccionadas:

Linea curva

Los platos mostrados en la Figura 17 son esenciales en la vajilla cotidiana y pertenecientes una de las líneas más representativas y utilizadas dentro del catálogo de La Chicharra Cerámica, son utilizados para servir una gran variedad de alimentos. Su diseño simple y funcional los hace versátiles, adaptándose a distintas presentaciones. En la Tabla 11 se presentan sus dimensiones, tales como el diámetro y el peso.

Figura 17

Vajilla de la línea curva



Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2022)

Tabla 11

Dimensiones y peso de la línea curva

Nombre	Diámetro (cm)	Peso (g)
Plato liso	10	125
	13	235
	16	320
	20	500
	25	810
	27.5	1075
Tazón sopero curvo	13.5	380
Tazón curvo mediano	16.5	460

Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2024)

Linea trapezoidal

Los platos mostrados en la Figura 18 a diferencia de un plato liso convencional, su forma está diseñada para contener ligeramente preparaciones con salsas o caldos. En la Tabla 12 se muestran sus dimensiones y peso.

Figura 18

Vajilla de la línea trapezoidal



Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2022)

Tabla 12

Especificaciones dimensionales de la línea trapezoidal

Nombre	Diámetro (cm)	Peso (g)
Plato con borde	20	570
	25	925
	29	1260
Tazón sopero trapezoidal	14	450

Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2024)

Linea ensalada y pasta

En la Figura 19 se muestran platos de mayor tamaño, por su forma permite contener ingredientes con aderezos o salsas ligeras, como ensaladas y pastas. En la Tabla 13 se muestran sus dimensiones y peso.

Figura 19

Línea de ensalada y pasta



Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2022)

Tabla 13

Especificaciones de la línea de ensalada y pasta

Nombre	Diámetro (cm)	Peso (g)
Tazón sopero curvo	20	760
Tazón amplio curvo	23.5	760
Tazón amplio trapezoidal	23.5	815
Tazón amplio curvo grande	27.5	1015

Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2024)

Café y té

Las piezas mostradas en la Figura 20 están destinadas al servicio de café y té, proporcionando recipientes adecuados para estas bebidas. En la Tabla 14 se muestran sus especificaciones generales

Figura 20

Línea de café y té



Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2022).

Tabla 14*Especificaciones de la línea de café y té*

Nombre	Altura (cm)	Peso (g)	Capacidad (ml)
Cafete expres	6	185	88
Vasito cafete expres	6	145	88
Cafete latte 13	8.5	440	395
Vaso cafete latte	8.5	360	395
Cafete mediano	8.75	345	280
Vaso cafete mediano	8.75	280	280
Cafete grande	10.75	535	386
Vaso cafete grande	10.75	470	386

Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2024).

Línea Mezcal

Las piezas de la Figura 21 están diseñadas para el servicio de mezcal y otros destilados, ofreciendo una presentación adecuada para su consumo. En la Tabla 15 se muestran sus especificaciones generales.

Figura 21*Línea de mezcal*

Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2022).

Tabla 15*Especificaciones de la línea de mezcal*

Nombre	Diámetro (cm)	Peso (g)	Capacidad (ml)
Mezcalero calaverita	5.5	95	60
Mezcalero bajo	6	130	60
Mezcalero jicarita	7	95	60

Fuente: Catalogo de La Chicharra cerámica (2024).

3.3 Tabla de necesidades de usuarios y requerimientos de diseño

Para el desarrollo del dispositivo se identificaron las características físicas de las piezas cerámicas a evaluar, con el fin de establecer los parámetros que el diseño debe cumplir. Estas necesidades se definieron a partir de:

- La revisión de las dimensiones reales de las vajillas pertenecientes a La Chicharra Cerámica.
- La observación de su uso frecuente en contextos reales.
- El análisis de sus propiedades físicas (diámetro, altura y forma), las cuales influyen directamente en el diseño del sistema de sujeción e impacto.

Identificar estas necesidades es fundamental para asegurar que el dispositivo funcione correctamente con todos los tipos de piezas seleccionadas. También permite anticipar los rangos dimensionales que deben contemplarse y garantizar que las pruebas se realicen de manera efectiva, sin comprometer la integridad de las muestras.

El objetivo de este análisis es lograr compatibilidad entre el diseño del dispositivo y las dimensiones físicas de las piezas cerámicas, permitiendo su correcta colocación, estabilidad y evaluación bajo condiciones controladas.

En la Tabla 16 se muestra el rango dimensional de las piezas, que sirvió como base para establecer los límites mínimos y máximos del área útil del dispositivo.

Tabla 16

Dimensiones mínimas y máximas del usuario

Tipo de vajillas	Mínimo (cm)	Máximo (cm)
Platos lisos	3 (altura)	27.5 (diámetro)
Platos con borde	4 (altura)	29 (diámetro)
Tazones	5 (altura)	27.5 (diámetro)
Tazas	8 (diámetro)	10.75 (altura)
Vasos	5 (diámetro)	10.75 (altura)
Mezcaleros	5 (diámetro)	7 (altura)

Fuente: Elaboración propia (2024)

Con base en las dimensiones y condiciones de uso identificadas, se definieron las necesidades clave que el dispositivo debe satisfacer. A partir de estas, se generaron requerimientos de diseño técnicos que guiarán el desarrollo estructural, por ello, la Tabla 17 presenta los requerimientos en función del espacio mínimo y máximo que el dispositivo debe contemplar.

Tabla 17*Tabla de necesidades y requerimientos del usuario*

No. de necesidad	Necesidad del usuario	Requerimiento de Diseño	Categoría de requerimiento
1	Se cuenta con vajilla de diferentes formas y tamaños.	El dispositivo debe tener un espacio mínimo de 3 cm y un máximo de 30cm que abarque las dimensiones de las piezas de vajilla.	Estructura Seguridad Manipulación
2	Frecuencia de uso del objeto: Para uso frecuente, semanalmente.	El dispositivo debe estar diseñado para soportar un uso frecuente sin comprometer su funcionalidad o precisión.	Durabilidad, Mantenimiento Materiales

Fuente: Elaboración propia (2024)

La Tabla 18 enumera las necesidades, los requerimientos en función de la norma vigente y su clasificación por categorías, conforme a lo establecido en la norma ASTM C368-88.

Tabla 18*Tabla de necesidades y requerimientos correspondiente a la legislación*

No de necesidad	Requerimiento	Fuente	Categoría de requerimiento
1	Acero con dureza Rockwell C 5	Norma ASTM C368	Percepción Estructura
2	Suspensión en "V"		Estructura Manipulación
3	Liberación de altura fija		Practicidad Conveniencia
4	Abrazadera de resorte		Estructural
5	Soportes metálicos rígidos		Resistencia
6	Micrómetro		Percepción

Fuente: Elaboración propia (2024). Nota: Datos tomados de la norma ASTM C368 del Anexo A (2024).

Además del análisis comparativo mediante benchmarking, se llevó a cabo un análisis basado en la observación crítica de las deficiencias en los dispositivos comerciales, así como en la experiencia obtenida al modelar digitalmente las piezas descritas en los planos de la norma ASTM C368-88 (ver Anexo A). Este ejercicio permitió identificar deficiencias estructurales, funcionales y prácticas, así como oportunidades de mejora no evidente en la documentación técnica consultada.

Con base en el análisis de dispositivos comerciales (apartado 3.1) y las observaciones derivadas del modelado digital preliminar, fueron identificadas deficiencias y oportunidades de mejora que afectan el costo, la manipulación, la precisión del impacto y los materiales empleados. La Tabla 19 resume las necesidades detectadas, los problemas asociados y los requerimientos que deben considerarse en la propuesta de mejora del dispositivo, clasificados por categoría y fuente de origen.

Tabla 19*Requerimientos propuestos con base en el análisis del modelo digital*

No.	Necesidad (traducida) Problema de deficiencia identificado	Requerimiento Mandamiento por cumplir	Fuente	Categoría de requerimientos
1	Los materiales son manufacturados desde cero, lo que eleva el costo de producción	Usar materiales comerciales de los elementos que conforman al objeto para su máximo aprovechamiento y evitar el costo en su fabricación	Benchmarking	Normalización
2	Tiene una forma equilibrada pero el peso es demasiado (95kg)	Modificar el tamaño de algunas piezas, así como cambiar el tipo de material	Benchmarking	Seguridad Manipulación Transportación
3	Por la forma de la escala al tener libertad de elegir el grado de inclinación es muy difícil tener una medición precisa	Se pretende tener ajustes preliminares definidos con incrementos de 0,01 ft-lbf (0,014 J)	Norma ASTM C368	Practicidad Conveniencia
4	El dispositivo tiene materiales que no sean metales para reducir los costos	Fabricar con materiales alternativos a los metales para optimizar costos sin comprometer la funcionalidad y resistencia.	Observación del diseñador.	Mantenimiento Seguridad Materias primas Estructura
5	La manivela de avance horizontal es muy larga y hace el avance muy lento	Disminuir la distancia sin afectar la precisión	Observación del diseñador.	Practicidad Manipulación

Fuente: Elaboración propia (2023).

3.3.1 Análisis de los requerimientos

De acuerdo con las tablas de necesidades de usuario y requerimientos de diseño descritas se obtuvieron las categorías de requerimiento de diseño de las Tablas 17, 18 y 19 las cuales son:

Estructura y estabilidad: El dispositivo contará con una estructura estable y bien equilibrada, asegurando una adecuada relación entre el mecanismo de movimiento horizontal y el sistema de soporte y sujeción. Su tamaño será adecuado para alojar las vajillas de manera segura, permitiendo un buen agarre y facilitando su colocación y manipulación de forma rápida y sin obstáculos. Además, su diseño permitirá que una persona pueda operarlo fácilmente.

Cumplimiento normativo: El dispositivo cumplirá con los lineamientos establecidos en la normativa correspondiente para garantizar su correcto funcionamiento.

Practicidad: El dispositivo será intuitivo y fácil de manipular, minimizando el esfuerzo necesario para ajustar el golpe y el péndulo. Además, su diseño permitirá una limpieza sencilla.

Conveniencia: Será compatible con piezas de distintos tamaños, desde 3 cm hasta 30 cm. Asimismo, su mantenimiento será accesible, ya que las piezas compatibles disponibles en el mercado podrán ser reemplazadas fácilmente gracias a su sistema de uniones con tornillos.

Percepción: El diseño deberá transmitir una sensación de durabilidad, precisión y calidad. Esto se logrará mediante el uso de materiales adecuados y elementos como el micrómetro, que reforzarán la confianza en la exactitud de las mediciones.

Versatilidad: El dispositivo contará con abrazaderas ajustables que permitirán sujetar distintos tipos de vajillas de cerámica, adaptándose a diversas formas y tamaños sin comprometer la estabilidad de la muestra.

Por lo tanto, al tomar en cuenta estos requerimientos se obtiene estos criterios importantes para la mejora del dispositivo

Costo: Se considerarán factores como dimensiones, tamaño, peso y materiales utilizados, asegurando un equilibrio entre calidad y viabilidad económica.

Factibilidad de manufactura: Se analizarán los medios de producción y los procesos de manufactura para evitar elevar costos y utilizar piezas comerciales para tener un dispositivo viable.

3.4 Croquis preliminar del dispositivo

Como parte del desarrollo inicial de esta propuesta de mejora, se elaboraron dos bocetos preliminares del dispositivo, basados en criterios funcionales generales observados en productos similares del mercado. Estos bocetos fueron realizados antes de contar con los planos oficiales de la norma ASTM C368-88 y cumplieron la función de explorar ideas generales sobre la configuración y los elementos clave del equipo de prueba. Dichos bocetos se incluyen en el Anexo E (Figuras E1 y E2) como parte del registro del proceso de diseño conceptual.

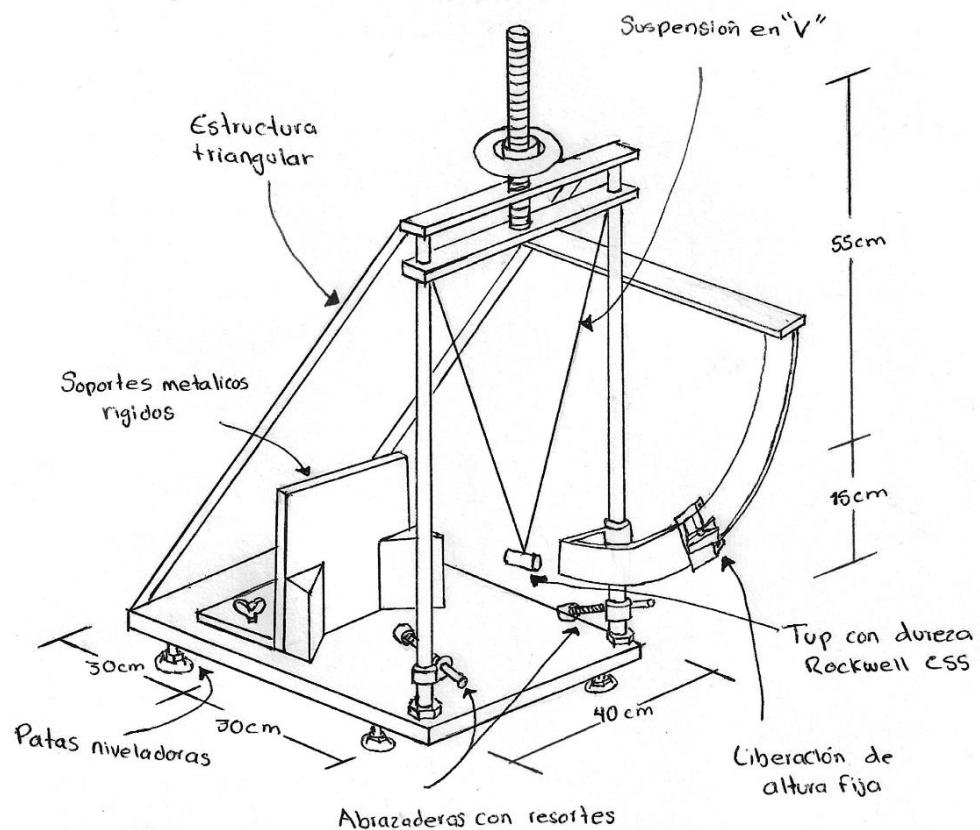
Una vez adquirida la norma y analizados los planos oficiales del dispositivo (ASTM C-368 No. ADJC0368), se identificaron cinco características técnicas fundamentales que orientaron la propuesta de mejora:

- Acero con dureza Rockwell C 55
- Suspensión en “V”
- Liberación de altura fija
- Abrazadera de resorte
- Soportes metálicos rígidos

Con base en esta información y en el análisis realizado durante el benchmarking, se elaboró un croquis actualizado que resume la estructura esencial del dispositivo, respetando la disposición general de los modelos comerciales analizados, pero integrando los elementos definidos por la norma. Este croquis, mostrado en la Figura 22, representa una propuesta simplificada del aparato de prueba, útil como punto de partida para la comparación entre opciones existentes y el desarrollo posterior del diseño.

Figura 22

Croquis del aparato de prueba de impacto



Elaboración propia (2024).

Este croquis permitió visualizar los elementos clave del dispositivo y facilitó su comparación con los modelos existentes en el mercado. A partir de este punto, se procedió a realizar una matriz de selección para determinar qué diseño disponible guarda mayor similitud con la norma, con el objetivo de definir una base sólida para la propuesta de mejora.

3.5 Matriz de selección

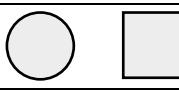
En el proceso de mejora del dispositivo, se optó por conservar una estructura general similar a la de los productos existentes en el mercado. Esta decisión responde a la intención de facilitar la aceptación de la mejora del nuevo diseño, al basarse en una configuración previamente validada por fabricantes y usuarios. A diferencia de las propuestas completamente innovadoras, que suelen generar incertidumbre o requerir fases extensas de validación, un diseño visual y funcionalmente familiar puede ser mejor recibido y más rápidamente adoptado en entornos industriales o académicos.

Además, al conservar esta estructura base, se favorece el uso de componentes estandarizados, materiales accesibles y procesos de fabricación convencionales, lo cual contribuye a una solución más económica, confiable y viable. Al evaluar y comparar las diferentes opciones en el benchmarking, junto con los requerimientos correspondientes a la legislación y al análisis del diseñador.

Se propone una escala de puntuación en la Tabla 20, basada en una comparación visual de los componentes, tomando en cuenta tres aspectos principales: la forma, tamaño y material. Esto para para puntuar la opción más adecuada y determinar la similitud del dispositivo de la norma ASTM C368-88.

Tabla 20

Porcentaje de similitud

Puntos	Porcentaje de Similitud	Categoría Descriptiva	Categoría Visual	Descripción (Forma, Tamaño, Material)
5	100%	Exactamente igual		No hay diferencias perceptibles
4	75% - 99%	Muy parecido		Diferencias menores
3	50% - 74%	Semejante		Diferencias perceptibles, pero no significativas.
2	25% - 49%	Similar		Coincidencias y diferencias están equilibradas.
1	0% - 24%	Muy diferente		Las piezas son completamente distintas

Fuente: Elaboración propia (2024)

Para facilitar la comprensión y organización de los datos, se elaboró la Tabla 21 que enumera los componentes, cada pieza fue identificada por su nombre en inglés, y se proporcionó una traducción al español para mejorar la accesibilidad y comprensión de la información.

Tabla 21*Nombre de los componentes del dispositivo*

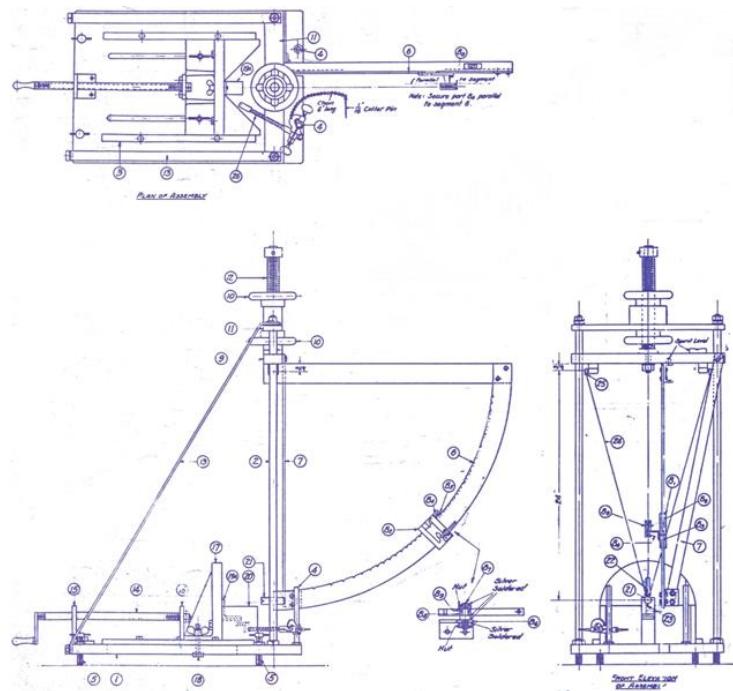
No.	Nombre del componente	
	Nombre (ingles)	Nombre (español)
1	Base	Base
2	Upright post	Poste vertical
3	Guide plates	Placas guía
4	Post for positioning arm	Poste para brazo de posicionamiento
5	Leveling screw	Tornillo nivelador
6	Dial segment	Segmento marcado
7	Dial brace	Soporte para dial
8	Pendulum device	Dispositivo de péndulo
9	Base pendulum support	Base del soporte para el péndulo
10	Hand wheel	Manivela
11	Hand wheel support	Soporte de manivela
12	Vertical feed screw	Tornillo de avance vertical
13	Braces	Tirantes
14	Horizontal feed screw	Tornillo de avance horizontal
15	Horizontal feed screw support (L)	Soporte en "L" del tornillo de avance horizontal
16	Horizontal feed screw support	Soporte del tornillo de avance horizontal
17	Back stop	Soporte trasero
18	Machine bolt and Wing nut	Tornillo de máquina y tuerca de mariposa
19	Wing bolt	Tornillo mariposa
19.A	Angle bracket	Soporte angular
19.B	Steel tuve	Tubo de acero
20	Triangular prism	Prisma triangular
21	Tup	Tup
22	Tup saddle	Montura del Tup
23	Special STL Sc	Acero especial
24	Tup suspension	Suspensión del Tup
25	Tupo suspension (bearing)	Suspensión del Tup (Rodamiento)
26	Positioning arm	Brazo de posicionamiento

Nota: Datos tomados de los planos ADJC0368 (2024). Elaboración propia (2024).

En la Figura 23 se muestran las vistas principales frontal, lateral y superior del dispositivo para pruebas de vajillas cerámicas, las cuales forman parte del plan de ensamblado de los planos oficiales incluidos en el Anexo C. Dichas vistas servirán como referencia para la comparación visual.

Figura 23

Aparato de prueba de impacto



Fuente: Figura tomada de los planos ADJC0368 (2024).

A continuación, se describen algunos ejemplos representativos de cómo se asignaron las calificaciones. Se centró en la similitud morfológica de cada componente en relación con el diseño referencial, recalmando que la comparación es visual mediante las imágenes mostradas en la Figura 24 de los dispositivos.

Tornillo nivelador: Tanto E.J. Payne como Gabbrielli presentan un sistema de soporte con posibilidad de ajuste, similar a un tornillo, aunque con diferencias en el mecanismo, ya que requieren herramienta para su operación, mientras que el modelo original permite el ajuste manual. Por ello, ambos se calificaron con un 3. En cambio, el modelo de Great Safe muestra una base fija, sin tornillo visible ni opción de ajuste aparente, además de una estructura más robusta, por lo que recibió una calificación de 1.

Dispositivo de péndulo: Tanto E.J. Payne como Gabbrielli emplean un soporte simple y básico, muy diferente, por lo que su calificación es baja (1 pt.), mientras que Great Safe presenta un soporte rectangular y con pinzas, muy parecido al de los planos ASTMC368, por lo que obtuvo una calificación de 4.

Prisma triangular: E.J. Payne y Gabbrielli sustituyen esta pieza por formas cilíndricas (1 pt), mientras que Great Safe conserva el prisma triangular (4 pts.).

Para una descripción completa de los criterios de calificación asignados a cada componente , véase el Anexo B.

La asignación de puntajes en la Tabla 22 se llevó a cabo mediante una comparación visual de cada componente, considerando los criterios de forma, tamaño y material en relación con la referencia original ASTM C368-88. Además, se contrastó con los tres modelos mostrados en la Figura 24 y con el modelado detallado de cada pieza del Anexo D y la clasificación establecida de la Tabla 20.

Tabla 22

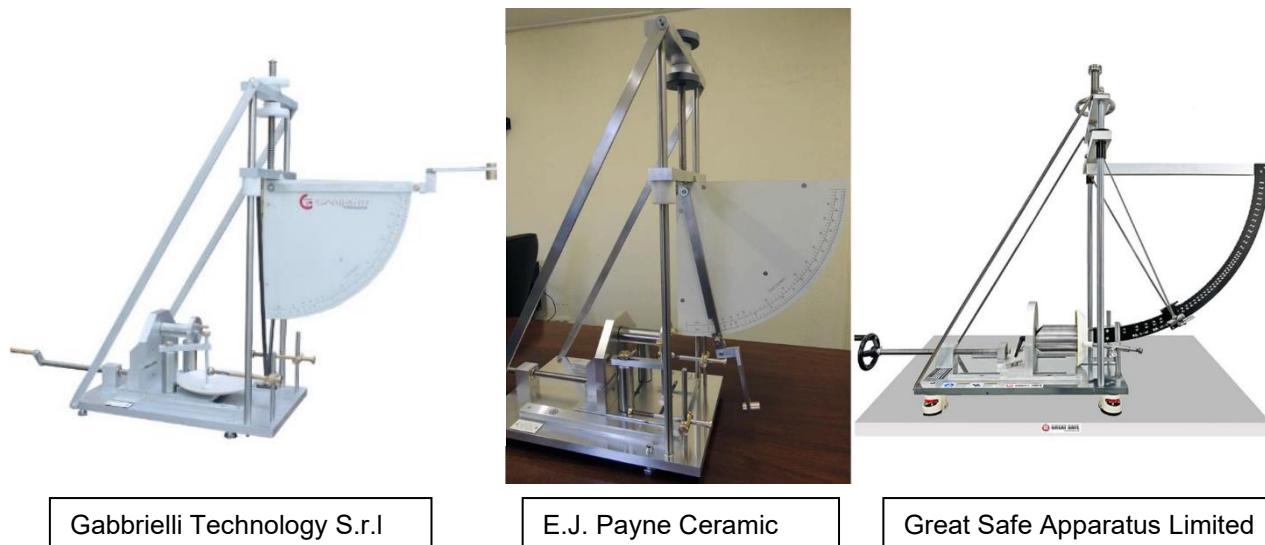
Análisis de similitud

Piezas/Producto	E.J. Payne Ceramic	Gabbrielli Technology S.r.l	Great Safe Apparatus Limited
Base	3	3	4
Poste vertical	4	4	4
Placas guía	4	4	4
Poste para brazo de posicionamiento	4	4	4
Tornillo nivelador	3	3	1
Segmento marcado	3	3	4
Soporte para dial	1	1	4
Dispositivo de péndulo	1	1	4
Base del soporte para el péndulo	4	4	4
Manivela	2	2	3
Soporte de manivela	3	3	4
Tornillo de avance vertical	2	2	2
Tirantes	2	2	4
Tornillo de avance horizontal	4	4	4
Soporte del tornillo de avance horizontal (L)	1	1	1
Soporte del tornillo de avance horizontal	3	3	3
Soporte trasero	3	3	4
Tornillo de máquina y tuerca de mariposa	1	1	3
Tornillo mariposa	3	3	3
Soporte angular	1	1	4
Tubo de acero	3	3	4
Prisma triangular	1	1	4
Tup	3	3	4
Montura del Tup	4	4	4
Acero especial	1	1	4
Suspensión del Tup	4	4	4
Suspensión del Tup (Rodamiento)	4	4	4
Brazo de posicionamiento	3	3	4
Total	75	75	100

Fuente: Elaboración propia (2024)

Figura 24

Dispositivos de comparación



Fuente: Elaboración propia con base en imágenes obtenidas de catálogos comerciales de E.J. Payne, Gabbrielli Technology S.r.l. y Great Safe Apparatus Ltd.

Este análisis permitió identificar el grado de similitud entre los productos evaluados y la referencia mostrando el resultado final en la Tabla 23 la cual los tres productos entran dentro del rango con diferencias perceptibles, pero no significativas.

Tabla 23

Comparación de similitud

Descripción/productos	E.J. Payne Ceramic	Gabbrielli Technology S.r.l	Great Safe Apparatus Limited	Referencia ASTM C368-88
Puntaje	75	75	100	140
Porcentaje	53.57%	53.57%	71.4%	100%
Categoría Descriptiva	Semejante	Semejante	Semejante	“Original”

Fuente: Elaboración propia (2024)

En general, los tres productos se ubican dentro del rango de similitud del 50 % al 74 %, lo que permite clasificarlos como "semejantes". Esta información es clave para determinar hasta qué punto es posible modificar o adaptar elementos del diseño original sin comprometer la funcionalidad general del dispositivo. A partir de estas diferencias permiten identificar áreas específicas para modificar, adaptar y mejorar el producto.

CAPITULO 4. DESARROLLO DE DISEÑO

CAPITULO 4. DESARROLLO DE DISEÑO

Este capítulo presenta el proceso integral de desarrollo del diseño del dispositivo propuesto, partiendo desde el modelado digital basado en planos de referencia, hasta la validación estructural mediante simulaciones por elementos finitos. Se abordan tanto los aspectos funcionales como técnicos y constructivos, con el objetivo de definir una propuesta viable, optimizada y ajustada a los requerimientos establecidos.

A lo largo del capítulo se detallan la arquitectura del sistema, los análisis funcionales y estructurales, así como el desarrollo de diseños preliminares de los principales mecanismos. Posteriormente, se presenta la versión final del dispositivo, acompañada de su lista de especificaciones, el modelo virtual completo y los planos constructivos necesarios para su fabricación.

4.1 Modelado digital y análisis técnico de manufactura

Los planos del dispositivo fueron elaborados originalmente en 1977 y se encuentran disponibles en la sede de ASTM bajo el código C-368 No. ADJC0368, los cuales se incluyen en el Anexo C. Estos planos han servido como referencia principal para desarrollar un modelo digital del dispositivo, se modelaron digitalmente las 26 piezas que conforman el dispositivo como se muestra en la Tabla 24.

Tabla 24

Modelos digitales ADJC0368

1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19.A	19.B	20
21	22	23	24	25	26	

Fuente: Elaboración propia (2024).

A partir de dichos planos se modelaron Cada una fue analizada individualmente y organizada en una tabla que contiene información detallada para comprender su función dentro del sistema. permitiendo realizar modificaciones necesarias sin comprometer su funcionalidad, integridad estructural ni el cumplimiento de las especificaciones normativas.

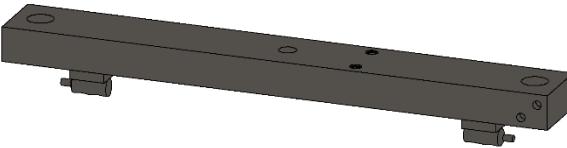
Durante el modelado se recopiló información técnica relevante de cada pieza, incluyendo:

- El tipo de material sugerido en los planos (de forma genérica).
- Sus dimensiones principales.
- Estimación de peso.
- Componentes con los que interactúa directamente.
- Tipo y cantidad de herrajes necesarios para su ensamblaje.
- Procesos de manufactura involucrados, como desbaste, roscado, perforado, torneado, cortes o dobleces.

Toda esta información permite entender cómo está constituido el dispositivo, su funcionamiento, y evaluar su factibilidad de fabricación o rediseño. En la Tabla 25 se muestra un ejemplo representativo del análisis realizado; la tabla completa se presenta en el Anexo D.

Tabla 25

Detalles técnicos de componentes modelados

No. de pieza: 9	Nombre: Soporte para el péndulo	Material: AISI 1020 laminado en frío
	Dimensiones (in): 16 x 2 x 2	
	Peso: 4.1 kg	
	No. de componentes directos: 7	
	(2) Poste vertical, (6) Segmento graduado, (7) Soporte del segmento graduado, (12) Tornillo de avance vertical y Suspensión del tup (Rodamiento)	
	Herrajes: Tornillo $\frac{3}{8} - 24 \times 1\frac{3}{4}$, Tornillo con cabeza hueca avellanada #10 - 32 x $1\frac{3}{8}$ y Tornillo de cabeza hueca abombada $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{1}{4}$	
	Procesos	No. de veces
	Desbaste	2
	Roscado	8
	Perforado	11

Fuente: Elaboración propia (2024). Nota: Esta tabla muestra un extracto representativo. La versión completa con los 26 componentes modelados se encuentra en el Anexo D.

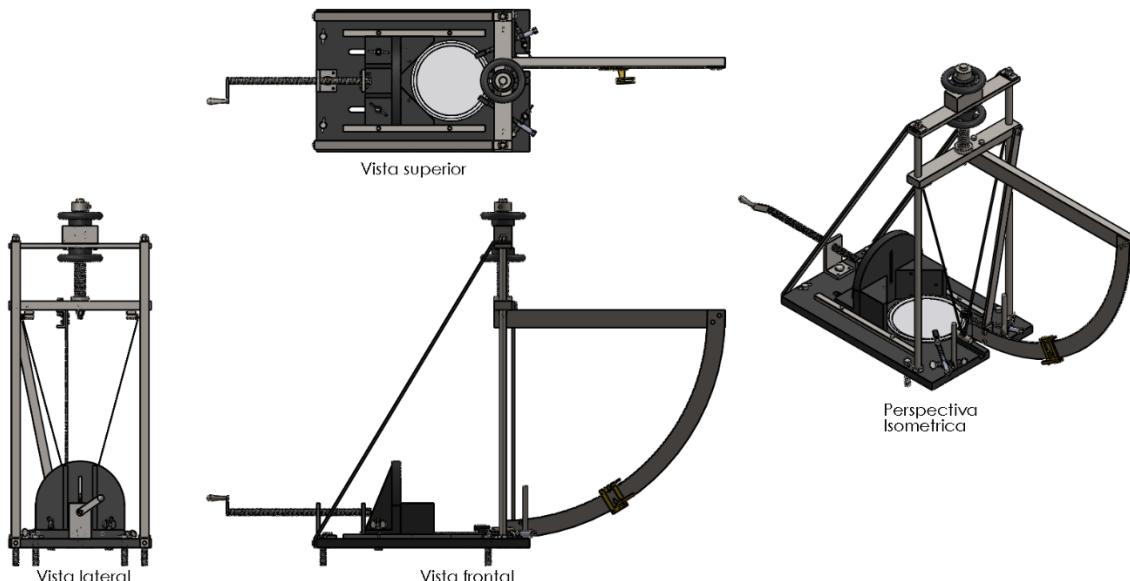
4.2 Arquitectura del sistema

Este aparato comenzó con la modelación del dispositivo, ya que la norma solo cuenta con los planos constructivos, sin un modelo tridimensional. A partir de esta información, se identificó y organizó de manera estructural y funcional los componentes principales del sistema. Se realizó un modelado visual del sistema en SolidWorks, permitiendo analizar su estructura, la manera en que sus elementos interactúan entre sí, su interacción y las funciones de cada mecanismo, lo que garantiza estabilidad, funcionalidad y cumplimiento de las especificaciones técnicas.

Con los datos de los planos constructivos adquiridos a través de la ASTM, se modeló, ensambló y se aplicó en base a los planos los diferentes tipos de material. Se obtuvo el siguiente modelo en la Figura 25 con un peso total de aproximadamente 96.94 kg.

Figura 25

Modelado CAD del dispositivo



Fuente: Elaboración propia (2024)

Al analizar el dispositivo completo, se dividió en 5 partes para su posterior análisis de sus funciones y componentes, quedando como muestra general en la Figura 26. posteriormente se tiene un desglose más detallado de la clasificación en el apartado del análisis y evaluación del dispositivo.

- Mecanismo de movimiento vertical: se encarga de subir y bajar el mecanismo medidor de impacto
- Mecanismo medidor de impacto: se encarga de medir la fuerza con la que el péndulo golpeará
- Estructura de soporte: se encarga de brindar estabilidad y sostener los demás mecanismos.
- Mecanismo de soporte y sujeción: se encarga de colocar firmemente el objeto de prueba
- Mecanismo de movimiento vertical: se encarga de ajustar la distancia entre la vajilla y el Tup

Figura 26

Clasificación de partes fundamentales

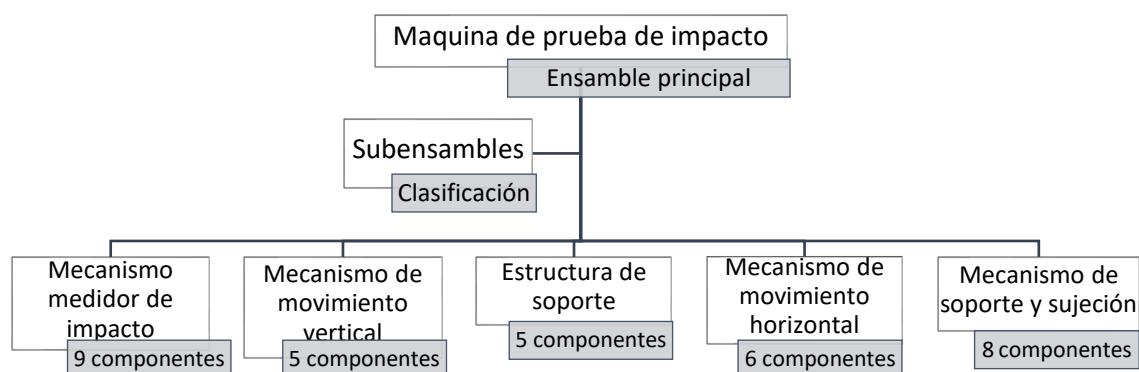


Fuente: Elaboración Propia (2023). Nota: Se clasificó según su uso específico.

Al dividir y clasificar el dispositivo en sus distintos mecanismos como se muestra en la Figura 27, se facilita su análisis estructural y funcional, permitiendo una mejor comprensión de la interacción entre sus componentes.

Figura 27

Organización del dispositivo



Fuente: Elaboración propia (2024)

Con el objetivo de organizar de forma funcional el diseño del dispositivo, se dividió el modelo general en distintos subensambles, donde cada uno cumple un rol específico dentro del sistema. Algunos

de estos subensambles también funcionan como mecanismos, ya que realizan movimientos o acciones particulares.

Además, esta segmentación permite reducir la complejidad del sistema, enfocando el análisis en elementos clave. Esto facilita la aplicación de métodos avanzados, como el análisis de elementos finitos, para evaluar de manera precisa el comportamiento de ciertas piezas bajo distintas condiciones de carga y esfuerzo. Como resultado, se optimiza el diseño del dispositivo, asegurando su eficiencia y desempeño.

4.2.1 Análisis y evaluación del dispositivo

En esta sección, se examinan sus componentes desde una perspectiva estructural y funcional, determinando su desempeño. A través de esta evaluación, se identifican posibles mejoras en su diseño, materiales y ensamblaje, asegurando que el dispositivo cumpla con los requerimientos de diseño para medir con precisión la tenacidad de las vajillas cerámicas. Además, se considerarán aspectos como la estabilidad, resistencia y facilidad de operación, permitiendo validar su viabilidad técnica y optimizar su rendimiento.

El diseño del dispositivo se fundamenta en los planos establecidos por la norma ASTM C368-88, No. ADJC0368. (ver anexo C) los cuales se utilizan únicamente como referencia. Esto no implica una reproducción exacta de los mismos, sino una adaptación, se evaluará el dispositivo en términos de su diseño actual, considerando su viabilidad técnica para que cumpla con los requisitos de la norma para evaluar la tenacidad de vajillas cerámicas.

Mecanismo medidor de impacto

Este subensamble tiene como función principal medir y regular la fuerza con la que el péndulo impactará las muestras. Está compuesto por un dial graduado y un dispositivo de péndulo que se desliza sobre dicho dial para seleccionar la fuerza deseada. Una vez ajustada, el sistema se fija mediante un tornillo especial del Tup, permitiendo mantener la configuración y, en caso necesario, replicar el ensayo con la misma fuerza con ayuda de una pinza.

La estructura combina elementos fijos y móviles: el Tup, suspendido mediante tirantes en "V", gira sobre su punto de suspensión; el dispositivo del péndulo sobre el dial y el resto de componentes permanecen fijos formando el subensamble, el cual se desliza verticalmente, como se muestra en la vista isométrica de la Figura 28 indicando los componentes que lo conforman.

Figura 28

Mecanismo medidor de impacto

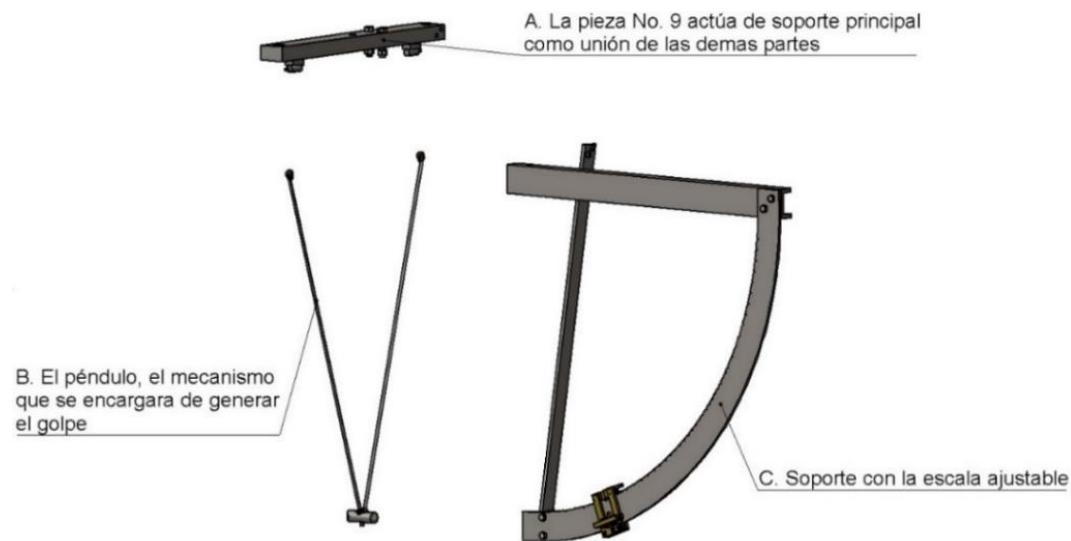


Fuente: Elaboración propia (2024)

Con el fin de simplificar su descripción y realizar un análisis más detallado, el mecanismo se ha clasificado en tres secciones principales, como se muestra en la Figura 27.

Figura 29

Subclasiificación – Mecanismo medidor de impacto



Fuente: Elaboración propia (2024).

- A. Se encarga de cargar al resto mediante tornillos, tuercas y piezas diseñadas específicamente para el dispositivo
- B. El péndulo que lo conforma los rodamientos para poder oscilar, la cinta metálica y el cabezal.
- C. El soporte del segmento marcado, que integra el dial, contiene el dispositivo del péndulo, el cual se desplazará a lo largo del dial para indicar y medir la fuerza con la que el péndulo golpeará las muestras.

La Tabla 26 detalla observaciones relevantes, además de la función específica de cada pieza y componente que conforma el subensamble

Tabla 26

Componentes del subensamble del medidor de impacto

No.	Nombre	Uso	Comentarios
6	Segmento graduado	Indica la fuerza generada mediante muescas distribuida	Es un componente compuesto 3 piezas
7	Soporte para dial	Brinda soporte y estabilidad al segmento graduado	Barra de metal rígida
8	Dispositivo de péndulo	Se fija en las muescas para mantener la posición	Componente de latón compuesto por 9 piezas
9	Base del soporte para el péndulo	Soporta la estructura del mecanismo medidor de impacto	Es un componente conformado por 5 piezas: una barra de soporte, dos rectángulos de "unión" y dos cilindros para la suspensión del Tup
21	Tup	El cabezal que impacta las muestras de cerámica	Se plantea unificar estas piezas en un solo componente
22	Montura del Tup	Fija el Tup al sistema de suspensión	
23	Acero especial	Permite la conexión con el dispositivo del péndulo	
24	Suspensión del Tup	Sostiene la montura en forma de "V"	Tira metálica rígida y flexible
25	Suspensión del Tup (rodamiento)	Permite el movimiento oscilatorio	Pieza de latón

Fuente: Elaboración propia (2024).

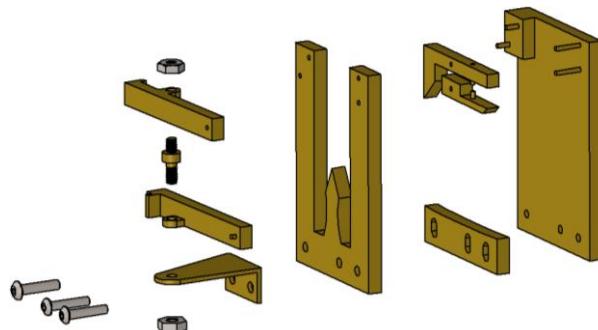
En la Tabla 27 se presentan las características y especificaciones principales del mecanismo medidor de impacto, acompañadas de comentarios y observaciones orientadas a posibles mejoras en su diseño y funcionamiento.

Tabla 27.*Clasificación - Mecanismo medidor de impacto*

Mecanismo medidor de impacto		
Características	Especificación	Comentarios
Tamaño	40.6 x 66 x 68 cm	La altura podría reducirse para optimizar la estabilidad
Peso	10.59 kg	Manejable, pero podría ser más ligero
Volumen	1363.31cm ³	Podría optimizarse
No. de componentes	9	El componente N.º 8 tiene demasiadas piezas
Material principal	Aceros y latón	Buena estabilidad y rigidez

Fuente: Elaboración propia (2023).

El dispositivo del péndulo mostrado en la Figura 30 (pieza no. 8) es un componente de latón que implica un proceso de fabricación complejo y añade un costo considerable de manufactura debido a la necesidad de remoción de material como el fresado y corte, además de torneado y perforado para producir las nueve piezas que lo componen más los pinos.

Figura 30*Explosivo del dispositivo del péndulo*

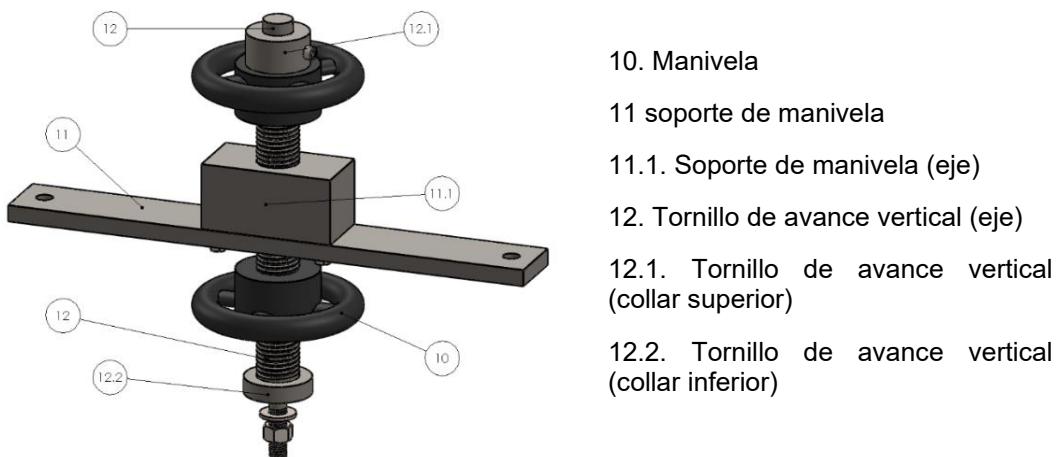
Fuente: Elaboración propia (2024).

Mecanismo de movimiento vertical

Este subensamble se utiliza para subir y bajar el medidor de impacto. A través de la manivela superior se acciona el tornillo de avance vertical y el soporte de manivela (11), el cual soporta todos los elementos asociados. Los collares superior e inferior delimitan el recorrido del tornillo, evitando desplazamientos fuera del rango establecido. La manivela inferior cumple la función de bloquear el

movimiento una vez alcanzada la altura deseada, garantizando estabilidad durante el ensayo. En la Figura 31 se muestra una vista detallada de este subensamble, indicando los componentes que lo conforman.

Figura 31
Mecanismo de movimiento vertical



Fuente: Elaboración propia (2024).

La Tabla 28 detalla observaciones relevantes además de su función específica de cada pieza y componente que conforman el subensamble.

Tabla 28
Componentes del subensamble de movimiento vertical

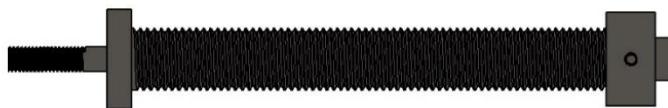
No.	Nombre	Uso	Comentarios
10	Manivela	Permite subir y bajar el tornillo mediante rotación, además de bloquear el movimiento	Conjunto de 2 piezas en vaciado de hierro colado
11	Soporte de manivela	Tiene doble función como soporte parte de la estructura y para cargar el peso del mecanismo de movimiento vertical	Componente compuesto por dos piezas, un bloque y una barra de acero
12	Tornillo de avance vertical	Transmite el movimiento de la manivela para desplazar el mecanismo medidor de impacto	Pieza mecanizada con variaciones de diámetro, fabricada por torneado

Fuente: Elaboración propia (2024)

El tornillo que se muestra en la Figura 32, en conjunto con las manivelas, es responsable de realizar el mayor esfuerzo mecánico al soportar y desplazar los componentes del sistema, por lo que se considera una pieza clave. No obstante, es posible sustituirlo por una alternativa comercial con características mecánicas similares, lo cual reduciría la necesidad de procesos de manufactura especializados.

Figura 32

Tornillo del mecanismo de movimiento vertical



Fuente: Elaboración propia (2023).

En la Tabla 29 se presentan las características y especificaciones principales del mecanismo de movimiento vertical, acompañadas de comentarios y observaciones orientadas a posibles mejoras en su diseño y funcionamiento.

Tabla 29

Clasificación - Mecanismo de movimiento vertical

Mecanismo de movimiento vertical		
Características	Especificación	Comentarios
Tamaño	12.7 x 12.7 x 34.3 cm	Dimensiones aceptables
Peso	6.55 kg	Es mucho peso vertical
Volumen	875 cm ³	Podría simplificarse
No. de componentes	5	Incluye numerosos elementos que podría optimizarse
Material principal	Aceros	Buena resistencia mecánica

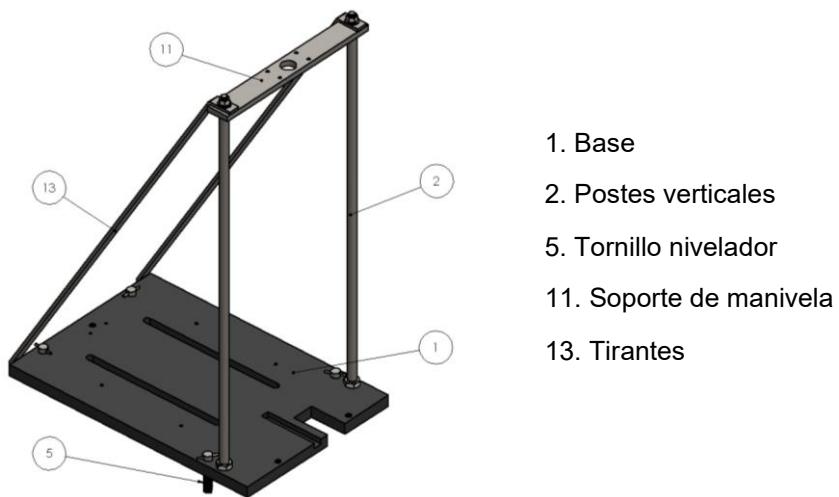
Fuente: Elaboración propia (2023)

Estructura de soporte

La estructura es una parte esencial del dispositivo, ya que tiene la función de soportar todos los elementos que lo conforman y garantizar su correcto funcionamiento. Su diseño se basa en un prisma triangular, lo que proporciona mayor estabilidad y rigidez al sistema, favoreciendo la correcta distribución de cargas. Sin embargo, todo el peso recae directamente sobre los cuatro tornillos de apoyo, que además de soportar la carga total, cumplen la función de mantener la base y la estructura correctamente niveladas. Estos tornillos permiten realizar ajustes finos para compensar posibles irregularidades en la superficie de apoyo. El material seleccionado para su fabricación es hierro colado para la base y acero, elegido por su resistencia mecánica y durabilidad, lo que asegura un buen desempeño a lo largo del tiempo.

En la Figura 33 se presenta una vista isométrica de la estructura de soporte, en la cual se indican los componentes que la conforman y su disposición dentro del conjunto.

Figura 33
Estructura de soporte



Fuente: Elaboración propia (2024).

La Tabla 30 detalla observaciones relevantes además de su función específica de cada pieza y componente que conforman el subensamble.

Tabla 30
Componentes del subensamble de soporte

No.	Nombre	Uso	Comentarios
1	Base	Permite enroscar los tornillos niveladores, así como los demás componentes estructurales	Diseño único fabricado con hierro colado
2	Postes verticales	Sostener y dar altura a la estructura principal	Brindan rigidez a toda la estructura
5	Tornillo nivelador	Estabilizar y cargar el dispositivo	Permite ajustar la base para hacer la superficie plana
11	Soporte de manivela	Estabilizar los postes y cargar otros subensambles	Parte de la estructura une los postes formando un triángulo
13	Tirantes	Dar soporte diagonal para evitar movimientos laterales	Barras de metal rígidas para brindar estabilidad

Fuente: Elaboración propia (2024)

En la Tabla 31 se presentan las características y especificaciones principales de la estructura de soporte, acompañadas de comentarios y observaciones orientadas a posibles mejoras en su diseño y funcionamiento.

Tabla 31*Clasificación - Estructura de soporte*

Estructura de soporte		
Características	Especificación	Comentarios
Tamaño	40.6 x 61 x 94.6 cm	Optimizarse para objetos más grandes
Peso	51 kg	Rediseñar la base permitirá minimizar el peso sin comprometer la estabilidad
Volumen	6991 cm ³	El volumen es adecuado en relación con el tamaño del dispositivo
No. de componentes	5	Adecuado para una buena estabilización
Material principal	Hierro fundido y aceros	Buen material para estabilidad

Fuente: Propia (2023)

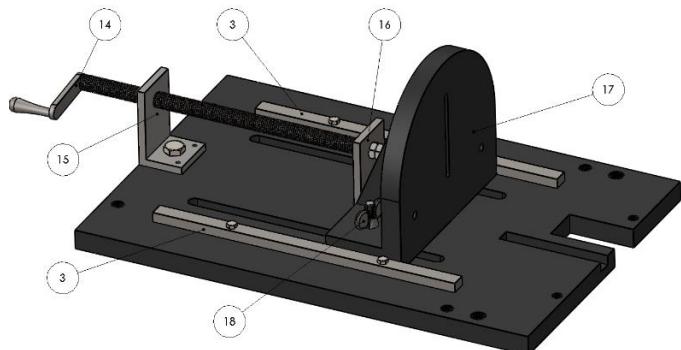
Mecanismo de movimiento horizontal

Este subensamble tiene una función importante, la cual es desplazar el soporte trasero hacia delante y hacia atrás de forma horizontal, mediante un tornillo o eje roscado. El movimiento es lento, dependiendo del paso del tornillo, lo que permite posicionar el soporte trasero con precisión entre las placas guía. Está unido mediante pernos y tornillos mariposa, que permiten fijarlo temporalmente a la base cuando se encuentra en una posición específica.

En la Figura 34 se presenta una vista isométrica del mecanismo, en la cual se indican los componentes que la conforman y su disposición dentro del conjunto.

Figura 34

Mecanismo de movimiento horizontal



3. Placas guía

14. Tornillo de avance horizontal

15. Soporte del tornillo de avance horizontal

16. Soporte del tornillo de avance horizontal

17. Soporte trasero

18. Tornillo de máquina y tuerca de mariposa

Fuente: Elaboración propia (2024).

La Tabla 32 detalla observaciones relevantes además de su función específica de cada pieza y componente que conforman el subensamble.

Tabla 32*Componentes del subensamble de movimiento horizontal*

No.	Nombre	Uso	Comentarios
3	Placas guía	Delimitan un recorrido para mantener el desplazamiento recto	Barras de metal fijas a la base
14	Tornillo de avance horizontal	Tornillo roscado que permite el desplazamiento lineal mediante movimiento mecánico	Barra roscada de acero
15	Soporte del tornillo de avance horizontal	Carga el tornillo de avance horizontal; va fijado a la base y permite su desplazamiento	Se plantea unificar estas piezas en un solo componente. No. 15 placa metálica en forma de L, atornillada a la base y el No. 16 placa metálica plana, atornillada al soporte trasero
16	Soporte del tornillo de avance horizontal	Carga el extremo opuesto del tornillo; se fija al soporte trasero y lo arrastra sobre la base	Se plantea unificar estas piezas en un solo componente. No. 15 placa metálica en forma de L, atornillada a la base y el No. 16 placa metálica plana, atornillada al soporte trasero
17	Soporte trasero	Estructura de apoyo para sujetar componentes del mecanismo de sujeción	Fabricado en hierro colado
18	Tornillo de maquina y tuerca mariposa	Elemento de fijación parcial que permite sujetar el soporte trasero a la base	Tornillería

Fuente: Elaboración propia (2025)

En la Tabla 33 se presentan las características y especificaciones principales del mecanismo de movimiento horizontal, junto con comentarios y observaciones orientadas a posibles mejoras en su diseño y funcionamiento.

Tabla 33*Clasificación - Mecanismo de movimiento horizontal*

Mecanismo de movimiento horizontal		
Características	Especificación	Comentarios
Tamaño	29.2 x 73 x 25.4 cm	Podría reducirse en relación con la función que desempeña
Peso	17.48 kg	Es excesivo para la función que cumple
Volumen	2399 cm ³	Podría optimizarse para ocupar menos espacio
No. de componentes	6	Es posible reducir el número de componentes
Material principal	Hierro fundido y aceros	Mejorar la selección del material

Fuente: Elaboración propia (2023)

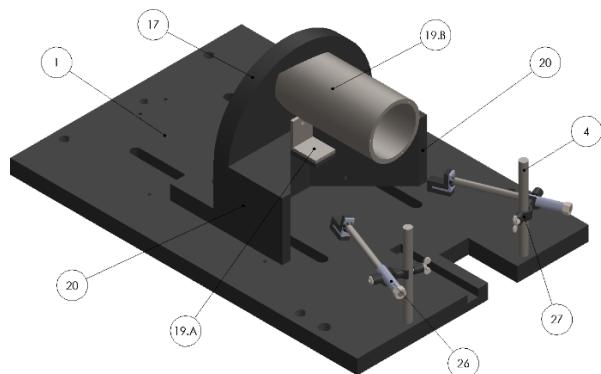
Mecanismo de soporte y sujeción

Este subensamble como su nombre lo indica es para soporte y sujeción, en otras palabras, es para asegurar la estabilidad y fijación de las piezas de cerámica, manteniéndolos en su lugar de manera firme y presionándolos con los brazos de posicionamiento contra los prismas triangulares, dándole soporte con

el tubo de acero y el soporte angular, además de que la norma indica que debe tener soportes rígidos. En la Figura 35 se presenta una vista isométrica del mecanismo, en la cual se indican los componentes que la conforman y su disposición dentro del conjunto.

Figura 35

Mecanismo de soporte y sujeción



- 4. Poste para brazo de posicionamiento
- 19.A. Soporte angular
- 19.B. Tubo de acero
- 20. Prisma triangular
- 26. Brazo de posicionamiento
- 27. Conector para el poste y brazo de posicionamiento

La Tabla 34 detalla observaciones relevantes además de su función específica de cada pieza y componente que conforman el subensamble.

Tabla 34

Componentes del subensamble de soporte y sujeción

No.	Nombre	Uso	Comentarios
4	Poste para brazo de posicionamiento	Sostiene verticalmente el conector	Varilla redonda con eje roscado en un extremo
19.A	Soporte angular	Presiona las vajillas huecas de forma paralela a la base	Angulo de acero con placa de hule esponjoso
19.B	Tubo de acero	Sirve como soporte central para las vajillas colocadas verticalmente	Componente tubular de acero
20	Prisma triangular	Restringe el movimiento de las piezas durante la prueba	Fabricado en hierro colado
26	Brazo de posicionamiento	Presiona las piezas contra los soportes para mantenerlas en su lugar	Componente con resorte que permite sujeción ajustable
27	Conector para el poste y brazo de posicionamiento	Interconecta el poste con el brazo, permitiendo fijación y desplazamiento vertical	Parte móvil del sistema de posicionamiento

Fuente: Elaboración propia (2025)

En la Tabla 35 se presentan las características y especificaciones principales del mecanismo de soporte y sujeción, junto con comentarios y observaciones orientadas a posibles mejoras en su diseño y funcionamiento.

Tabla 35
Mecanismo de soporte y sujeción

Mecanismo de soporte y sujeción		
Características	Especificación	Comentarios
Tamaño	25.4 x 50 x 22.2 cm	Es adecuado en relación con el tamaño del dispositivo
Peso	11.45 kg	Es demasiado podría reducirse
Volumen	1589 cm ³	Es adecuado
No. de componentes	8	Son suficientes para su funcionalidad
Material principal	Hierro colado y aceros	Sustituir el hierro colado

Fuente: Elaboración propia (2023)

Cabe mencionar que el numero 27 no aparece en los planos de la norma, pero si lo plasman dibujado en el ensamble final del dispositivo por lo que se agrega como otra pieza más.

4.2.2 Análisis estructural

En este apartado se analizarán la estructura y el diseño del dispositivo, considerando que su concepción y desarrollo han tenido lugar a lo largo de varios años. Aunque su funcionalidad actual es buena, se identifican áreas de mejora para optimizar su eficiencia, seguridad y hacer que su proceso de construcción sea más accesible. Asimismo, se evaluará su estructura mecánica al estar sujetada a diversas cargas externas. Este análisis se abordará en detalle en el apartado 4.7.1, donde se presentará un estudio específico del análisis estático.

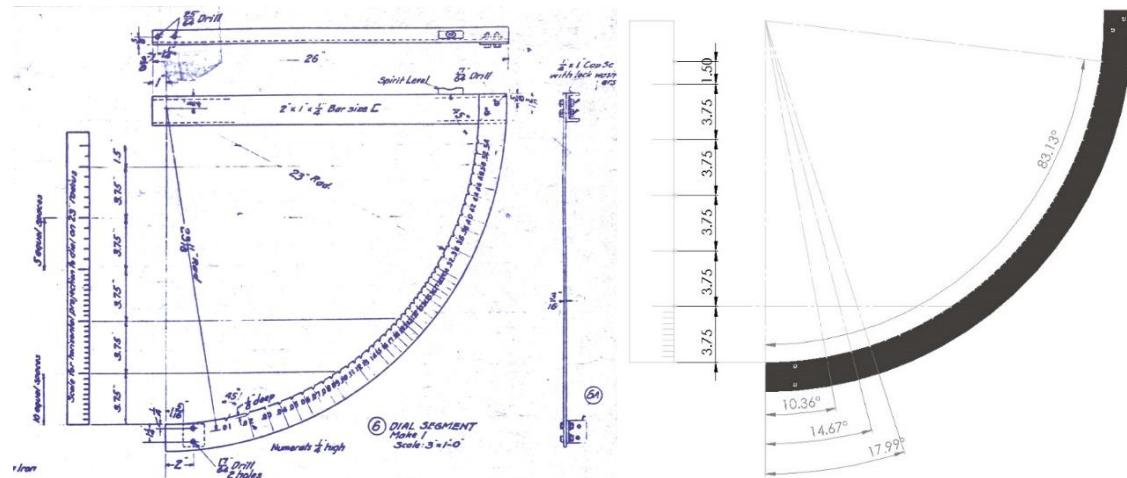
Mecanismo medidor de impacto

Este mecanismo es fundamental para la evaluación de tenacidad, ya que con esto se obtendrán los datos cuantitativos de energía, al realizar modificaciones impacta en múltiples componentes, como la reducción del tamaño, lo que a su vez disminuye la cantidad de material utilizado, el peso total y el costo de fabricación, por lo que un modelo 3D ofrece numerosas ventajas.

Todo comienza en el papel: interpretar los planos como se muestra en la Figura 36, para transformar un dibujo bidimensional en una representación tridimensional utilizando un software de diseño como SolidWorks.

Figura 36

Segmento marcado

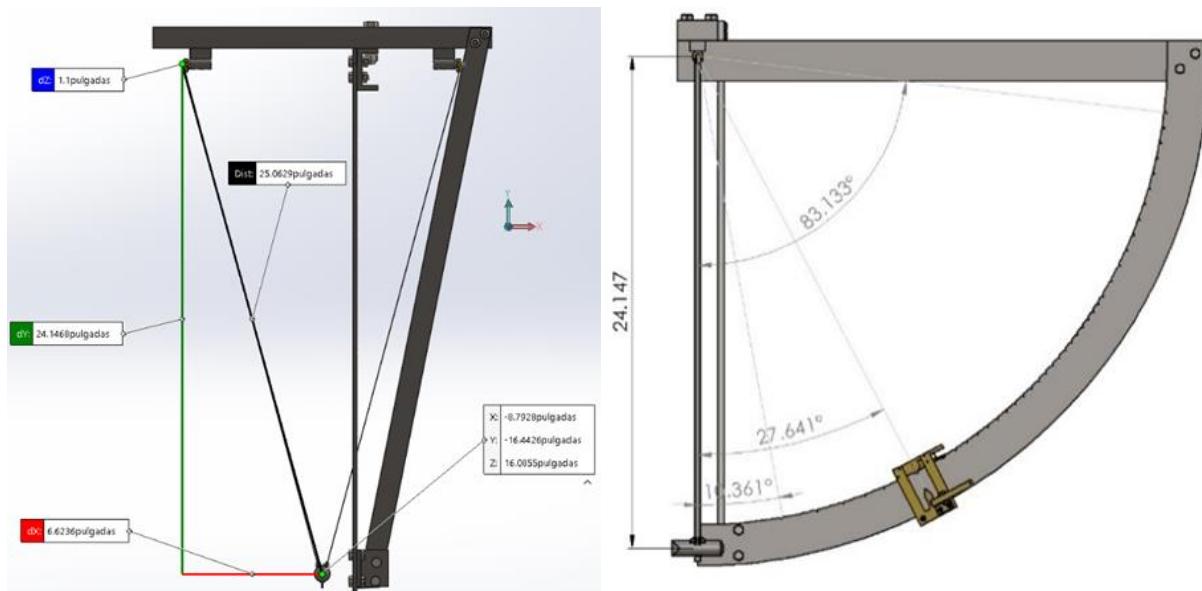


Fuente: Elaboración propia (2023) Nota: La primera imagen presenta el diseño en planos técnicos, mostrando las vistas frontal, lateral y superior, mientras que la segunda ilustra el diseño en un modelo 3D con cotas y ángulos.

La distancia aproximada que se tomó después del ensamble, es la línea de color verde, del eje "y" como se muestra en la Figura 37, esto para tener en una vista 2D y usar la definición de péndulo simple.

Figura 37

Vista 2D del segmento marcado



Fuente: Elaboración propia (2024).

Este mecanismo tiene piezas que están interconectadas y, juntas, forman un sistema funcional. Por ello, es fundamental ensamblar correctamente cada componente, asegurándose de que su posición y alineación sean precisas, ya que cualquier error puede comprometer el resultado final y el correcto funcionamiento del mecanismo.

Una vez obtenidos todos los datos necesarios, como las medidas y los ángulos, y comprendiendo el funcionamiento de un péndulo, se aplica el principio de conservación de la energía mecánica. En ausencia de fuerzas disipativas (como la fricción), la energía mecánica total se mantiene constante:

$$\Delta E_m = 0 \quad \Rightarrow \quad E_{M_o} = E_{M_f}$$

$$E_M = E_C + E_P \quad \text{donde:} \quad E_C = mgh \quad \text{y} \quad E_P = \frac{1}{2}mv^2$$

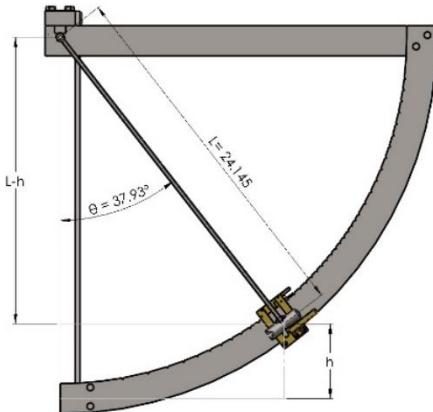
Su posición inicial es la que el operador indique, por lo tanto, en esa posición la $V = 0$

$$E_P = 0 \quad \text{quedando} \quad E_M = E_C = mgh$$

Se conocen todos los valores excepto h , como se observa en la Figura 38, donde se muestra L (longitud del péndulo) y el ángulo correspondiente. Dado que se forma un triángulo rectángulo, se aplica trigonometría para determinar el valor de h .

Figura 38

Triángulo rectángulo formado por el péndulo



$$\cos \theta = \frac{L - h}{L}$$

$$L \cos \theta = L - h$$

$$h = L - L \cos \theta$$

$$h = L(1 - \cos \theta)$$

Fuente: Elaboración propia (2024).

Por lo tanto sustituyendo $h = L(1 - \cos \theta)$ en la formula $E_M = E_C = mgh$, quedaría:

$$E_M = mg(L(1 - \cos \theta))$$

Para los datos de θ (theta) deben estar en radianes, se hace una multiplicación

$$1^\circ = \frac{\pi}{180} \quad 37.93^\circ * \frac{\pi}{180}$$

Datos :

$$m = 137.8 \text{ grs} = 0.1378 \text{ kg}$$

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$L = 24.147 \text{ in} = 0.6133 \text{ m}$$

Quedando una formula con una sola variable; los grados

$$E_M = mg(L(1 - \cos\theta)) \quad \Rightarrow \quad E_M = (0.1378)(9.81)((0.6133)(1 - \cos(X * \frac{\pi}{180})))$$

Ahora la parte del sistema de unidades de medida y las equivalencias la norma indica en el apartado 1.2 “Los valores indicados en pulgadas-libras deben considerarse estándar. Las unidades SI (métricas) indicadas entre paréntesis son meramente informativas”. (ASTM C368-88,2024,p.1)

Por lo que las unidades del sistema internacional (SI) al sistema inglés, se tendría que dividir el resultado entre 1.356.

$$E_M = kg * \frac{m}{s^2} * m = N * m = Julios \quad 1 \text{ ft-lbf} = 1.3558179 \text{ Julios}$$

Los resultados completos se presentan en la tabla del Anexo F. A partir de esta demostración, se confirmó lo estipulado en la norma, que establece que los impactos deben iniciar desde 0.02 ft-lbf (0.027 J), con incrementos de 0.01 ft-lbf (0.014 J). Teniendo esto en cuenta, se optimiza el costo reduciendo el material y el peso, además de reducir el tamaño de esta pieza, pero respetando los incrementos especificados en la norma.

4.3 Diseños preliminares

En este apartado se presentan los primeros cambios y mejoras implementados en cada una de las partes del dispositivo, las cuales han sido previamente divididas en cinco componentes fundamentales para facilitar su comprensión. Se mostrará la evolución de los diferentes elementos, desde las primeras versiones hasta llegar a la versión final del diseño, siempre tomando en cuenta las necesidades del usuario y requerimientos de diseño identificados previamente en el capítulo 3.

De manera específica, se destacan dos criterios clave para la industria: el costo y la factibilidad de manufactura, los cuales fueron considerados desde el análisis de los requerimientos y se reflejan en las decisiones tomadas durante el desarrollo del diseño.

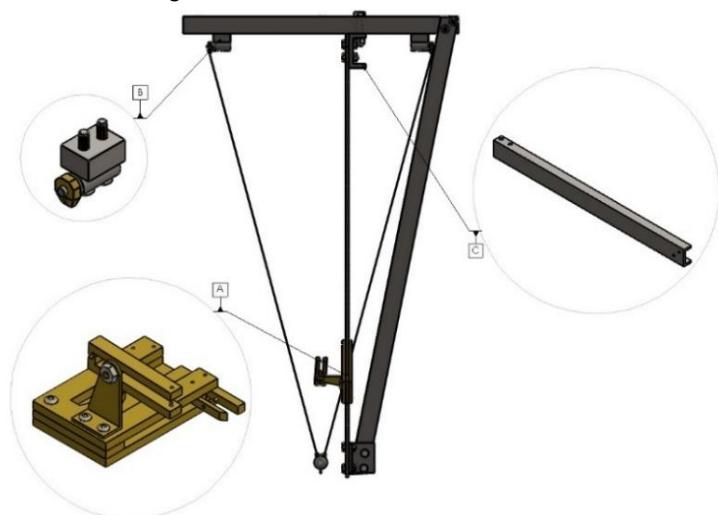
- **Costo:** Se evaluaron aspectos como dimensiones, peso, tipo y cantidad de material utilizado, buscando un equilibrio entre calidad funcional y viabilidad económica.
- **Factibilidad de manufactura:** Se consideraron los procesos de fabricación disponibles y el uso de piezas comerciales, con el fin de simplificar el ensamble y reducir costos innecesarios.

4.3.1 Mecanismo medidor de impacto

Este mecanismo constituye uno de los componentes más críticos del dispositivo, debido a la relación directa con la medición de la energía con la que el Tup impactará las vajillas de cerámica. En base al análisis realizado en el capítulo anterior, se implementaron modificaciones enfocadas en optimizar el peso y su manufacturabilidad, los primeros componentes se muestran en la Figura 39, señalados con las primeras letras del abecedario: A,B y C.

Figura 39

Análisis del segmento marcado



Fuente: Elaboración propia (2025).

El primer cambio se analizó en el apartado anterior, consistió en la reducción del componente No. 6, Segmento marcado, donde se encontraba toda la información para el cálculo de la energía, esta modificación fue la reducción del 24.2% en tamaño conteniendo el grosor y la forma. Además, permitió la reducción proporcional de las demás piezas.

A. Dispositivo del péndulo

En la Tabla 36 se presenta un análisis comparativo entre la pieza original, tomada de los planos, y el diseño propuesto. Dicho análisis contempla criterios como: material, número de piezas, peso aproximado, procesos de manufactura, proceso de remoción de material, operaciones de ensamble y tornillería, describiendo para cada uno los cambios implementados y las mejoras obtenidas.

En el diseño propuesto se implementó una barra en forma de "C" junto a un tornillo mariposa, lo que permite que el componente se ajuste y deslice a lo largo del dial. Con esta modificación se reduce la cantidad de piezas, simplifican los procesos de manufactura, se minimiza la tornillería y se conserva únicamente el mecanismo de pinza de latón.

Tabla 36*Análisis comparativo del componente A*

A. Dispositivo del péndulo			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Latón	Latón y acero dulce	Uso combinado y reducción de material
No. de piezas	11	5	Menor complejidad de armado
Peso aproximado	366 gramos	177 gramos	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Corte, fresado CNC, torneado, perforado y roscado	Corte o fresado CNC, torneado, perforado y roscado	Menos procesos por pieza
Operaciones de ensamble	Unión permanente por soldadura	Ensamble mecánico con tornillos y tuercas	Reducción de piezas complejas
Tornillería	5	4 + 1	Por el montaje se necesita un tornillo mariposa

Fuente: Elaboración propia (2025).

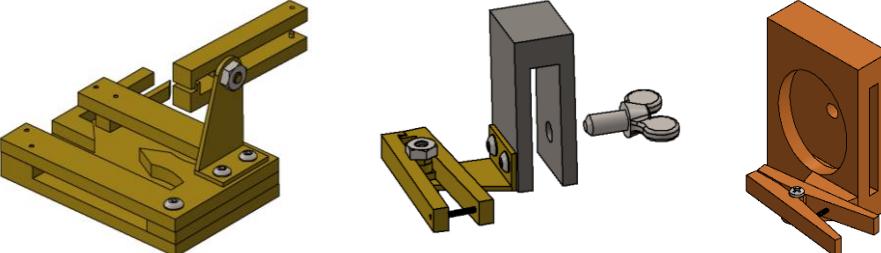
En la versión ASTM, inicialmente se consideró que el componente A fue fabricado mediante vaciado en molde. Sin embargo, dado que este proceso puede resultar costoso para producciones pequeñas, es probable que en realidad se haya utilizado algún tipo de corte o fresado CNC para obtener la forma deseada. A partir de la observación de los planos, se estiman procesos de unión mediante soldadura, aunque no se cuenta con especificación directa del fabricante.

Conforme se fue analizando el dispositivo y observando su funcionamiento, surgieron nuevas oportunidades de mejora. A partir de estas observaciones, se desarrolló una segunda propuesta, tomando como base las primeras piezas.

El componente A, llamado anteriormente “dispositivo del péndulo”, se reemplaza por un nombre más específico debido a su función, ahora renombrado como “Ajustador”. En esta propuesta se cambia completamente el material, manteniendo un diseño similar al ASTM, pero fabricado mediante impresión 3D para optimizar la fabricación y reducir costos. En la Tabla 37 se presenta el análisis comparativo entre la pieza original de los planos y las propuestas.

Tabla 37*Análisis comparativo del Ajustador componente A*

A. Ajustador



Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Diseño 2	Cambios / mejoras
Material	Latón	Latón y acero dulce	PLA o ABS	Optimización de material
No. de piezas	11	5	3	Menor complejidad de armado
Peso aproximado	366 gramos	177 gramos	57 gramos	Reducción del peso
Procesos de manufactura				
Proceso de remoción de material	Corte, fresado CNC, torneado, perforado y roscado	Corte/fresado CNC, torneado, perforado y roscado	Ninguno	Sin post procesado
Operaciones de ensamble	Ensamble mecánico con tornillos y unión permanente por soldadura	Ensamble mecánico con tornillos y tuercas	Ensamble mecánico con un tornillo y una tuerca	Menor número de operaciones de ensambles
Tornillería	5	5	2 + 1	Solo para montaje

Fuente: Elaboración propia(2025)

B. Base del soporte para el péndulo

El siguiente componente corresponde a una parte de la base del soporte del péndulo, compuesta por un elemento fijo que sirve de base y una pieza móvil encargada de sujetar y permitir la oscilación del péndulo. Sin embargo, con el fin de tener un mayor control en su análisis y diferenciación funcional dentro del sistema, este componente será tratado de forma independiente bajo el nombre "ángulo de suspensión". En la Tabla 38 se presenta el análisis comparativo entre la pieza original de los planos y el diseño propuesto, evaluado con los mismos criterios antes mencionados

La base del soporte para el péndulo, en ambas versiones, está conformada por combinaciones de latón y acero. En la propuesta del diseño 1, se optó por el uso de un perfil en ángulo de tipo comercial, lo que permite reducir los procesos de fabricación, eliminando especialmente el torneado. Además, una de las piezas fue sustituida por un perno también de tipo comercial. Se mantienen las uniones mecánicas mediante tornillos, lo que facilita tanto el montaje como el desmontaje del conjunto.

Tabla 38*Análisis comparativo del componente B*

B. ángulo de suspensión			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Latón y acero	Latón y acero dulce	Sustitución por pieza comercial
No. de piezas	3	3	Una de las piezas es comercial
Peso aproximado	83 gramos	72 gramos	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Corte, fresado CNC, torneado y perforado	Corte, fresado CNC y perforado	Eliminación del torneado
Operaciones de ensamblaje	Ensamble mecánico con tornillos	Ensamble mecánico con un pasador	Simplificación del armado
Tornillería	2	1 + 2	Solo para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025).

C. Segmento graduado

La siguiente pieza forma parte del componente del segmento graduado, utilizada como estructura para cargar y unir. Está construida a partir de un perfil en "C"; sin embargo, el segmento inferior de este perfil resulta innecesario, ya que el ensamblaje solo emplea dos de sus tres caras. Por esta razón, se optó por reemplazarlo por un perfil en "L", más adecuado para su función y que, en este caso, permitió reducir el peso y el tamaño de la pieza, logrando un uso más eficiente del material, en la Tabla 39 se presenta el análisis comparativo entre la pieza original de los planos y el diseño propuesto.

Si bien el cambio no alteró la función principal del componente, sí aportó ventajas en términos de economía y reducción de peso del material. Además, dado que este subensamblaje está conformado por tres piezas, se decidió tratarlo como una unidad independiente, denominada "Soporte en L del dial", con el fin de facilitar un análisis más detallado y una diferenciación funcional dentro del sistema.

Al dividir este componente, se identificaron dos piezas adicionales, que se incorporan a la clasificación del abecedario como D y E, lo que permitió detectar nuevas oportunidades de mejora para estas piezas.

Tabla 39

Análisis comparativo del componente C

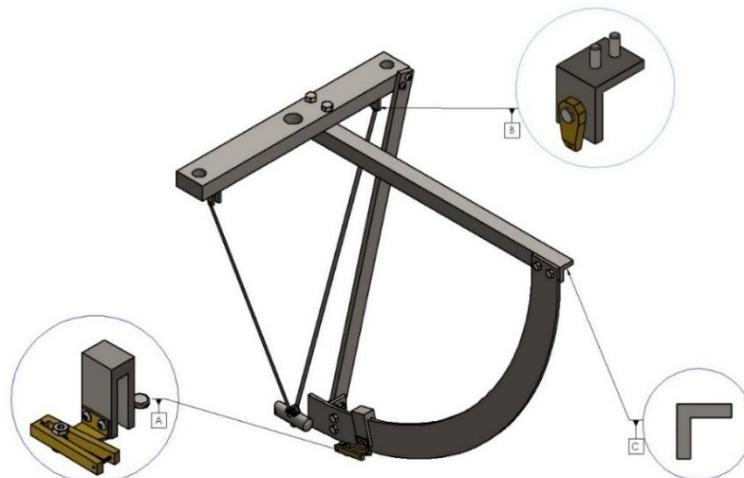
C. Soporte en L del dial			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Acero	Acero dulce	Sustitución por pieza comercial
No. de piezas	1	1	Cambio de perfil
Peso aproximado	2.92 kg	1.13kg	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Corte y perforado	Corte y perforado	Se mantiene
Operaciones de ensamble	Mecánico con tornillos	Mecánico con tornillos	Se mantienen
Tornillería	4	4	Solo para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025).

Una vez implementadas las mejoras en los tres componentes descritos, se procedió a su integración en el subensamblaje para verificar su ajuste y compatibilidad. En la Figura 40 se muestran, en una vista isométrica, los componentes A, B y C modificados según el diseño presentado, ya ensamblados en sus posiciones correspondientes dentro del subensamblaje.

Figura 40

Diseño 1 - Mecanismo medidor de impacto



Fuente: Elaboración propia(2024)

Durante el análisis del componente C, se identificaron mejoras adicionales que dieron lugar a dos nuevas piezas, designadas como D y E, ambas derivadas del mismo componente, pero con funciones y ajustes específicos, recibiendo nombres diferentes según su función dentro del sistema

D. Soporte del dial

El siguiente componente corresponde al soporte del dial, originalmente diseñado como una barra recta de acero. Para mejorar la estética y ampliar el espacio destinado a la manipulación y colocación de las vajillas, se modificó su forma, dándole una curvatura que remite visualmente al dial, con una silueta similar a la letra "J". Este cambio no solo cumple una función simbólica, aludiendo al diseñador, sino que también aporta ventajas estructurales. En la Tabla 40 se presenta el análisis comparativo entre la pieza original de los planos y el diseño propuesto.

Tabla 40

Análisis comparativo del componente D

D. Soporte del dial			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 2	Cambios / mejoras
Material	Acero	Acero	Se mantiene
No. de piezas	1	1	Cambio de forma
Peso aproximado	1 kg	0.83 kg	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Corte y perforado	Corte y perforado	Se mantiene
Operaciones de ensamble	Mecánico con tornillos	Mecánico con tornillos	Se mantienen
Tornillería	4	4	Solo para montaje

Fuente: Elaboración propia(2025)

E. Segmento graduado

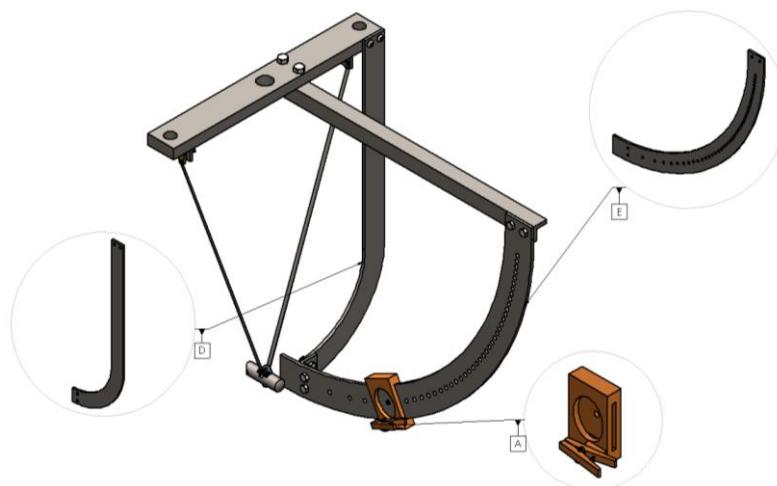
La última pieza modificada para este subensamble del mecanismo medidor de impacto es la pieza E, el segmento graduado. En esta versión se eliminaron las muescas en forma de "V" del dial, que antes servían para sujetar el ajustador anterior, pero que dificultaban la medición y el cálculo de su tamaño. En su lugar, se incorporó una serie de perforaciones alineadas con la graduación en los distintos ángulos marcados, con el fin de adaptarse a la nueva modificación. Esta versión requiere realizar perforaciones en cada golpe. El análisis comparativo se presenta en la Tabla 41.

Tabla 41*Análisis comparativo del componente E*

E. Segmento graduado			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 2	Cambios / mejoras
Material	Acero	Acero	Se mantiene
No. de piezas	1	1	Reducción del volumen
Peso aproximado	1.85 kg	1.37 kg	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Corte y perforado	Corte y perforado	Se aumentan las perforaciones y se reducen los cortes
Operaciones de ensamble	Mecánico con tornillos	Mecánico con tornillos	Se mantienen
Tornillería	4	5	Solo para montaje, se añade uno más para el nuevo ajustador

Fuente: Elaboración propia(2025)

En la Figura 41 se muestran los componentes y piezas modificadas en el mecanismo medidor de impacto, mostrando una vista isométrica. Las demás piezas fueron ajustadas principalmente en cuanto a altura, grosor, peso, tamaños y ubicación de tornillos, por lo que los cambios no son evidentes visualmente. Sin embargo, estas piezas secundarias se detallan en la tabla del Anexo H.

Figura 41*Diseño 2 - Mecanismo medidor de impacto*

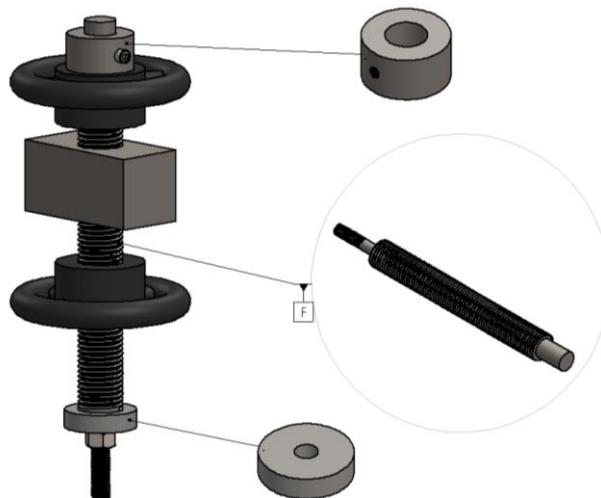
Fuente: Elaboración propia (2024)

4.3.2 Mecanismo de movimiento vertical

En la siguiente sección se describe el rediseño de los componentes clave del mecanismo, cuyo desarrollo está directamente condicionado por el peso del mecanismo anterior. Debido a que este sistema es responsable de cargar, elevar y descender el mecanismo de impacto, la optimización de su peso resultó fundamental para mejorar su funcionamiento y su manufacturabilidad y permitir ajustes en el eje principal y en los componentes asociados.

En particular, la reducción de peso respecto al medidor de impacto permitió disminuir tanto el grosor como la longitud del eje principal, favoreciendo una estructura más ligera y eficiente. La siguiente pieza fundamental fue el componente F. Como se observa en la Figura 42, este se compone de tres piezas: una inferior, soldada al eje, una superior que se fija mediante un tornillo y el eje principal. Esta pieza fue seleccionada para su rediseño debido a varios procesos de manufactura.

Figura 42
Análisis del movimiento vertical



Fuente: Elaboración propia (2025)

F. Tornillo de avance vertical

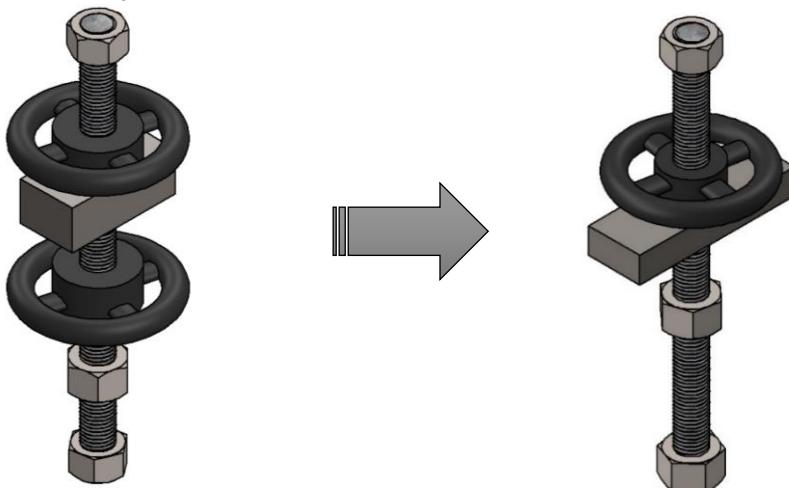
El primer cambio en el mecanismo de movimiento vertical fue la unificación del tornillo de avance, reemplazando los diferentes diámetros por uno único. Esto permitió reducir la complejidad y optimizar el proceso de fabricación, además de emplear tornillos estándar para minimizar la cantidad de piezas personalizadas. Posteriormente, se simplificó aún más el diseño al eliminar una manivela, lo que redujo tanto el peso como la cantidad de piezas fabricadas. Aunque esta modificación disminuye ligeramente la manejabilidad al requerir el uso de una herramienta, mejora la precisión y aumenta la fuerza de torque. En la Tabla 42 se presenta el análisis comparativo entre la pieza original de los planos y el diseño propuesto.

Tabla 42*Análisis comparativo del componente F*

F. Tornillo de avance vertical			
			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Acero	Acero	Se mantiene
No. de piezas	3	1	Reducción de piezas
Peso aproximado	1.85 kg	1.37 kg	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Corte y torneado	Corte	Se aumentan las perforaciones y se reducen los cortes
Operaciones de ensamble	Mecánico con tornillos y soldadura	Mecánico con tuercas	Se mantienen
Tornillería	1	0	Solo para montaje se usará tres tuercas

Fuente: Elaboración propia (2025)

En la Figura 43 se muestra la evolución del diseño. La primera versión corresponde al reemplazo del tornillo por una pieza comercial, manteniendo intactas las demás piezas. La siguiente corresponde al Diseño 2, donde todos los componentes han sido modificados y ensamblados en sus respectivas posiciones, representados mediante una vista isométrica. Las piezas que no se muestran en este apartado fueron ajustadas principalmente en altura, grosor y peso, por lo que sus cambios no son visualmente notorios. No obstante, estas piezas secundarias se detallan en las Tablas del Anexo H.

Figura 43*Diseño 1 y 2 - Mecanismo de movimiento vertical*

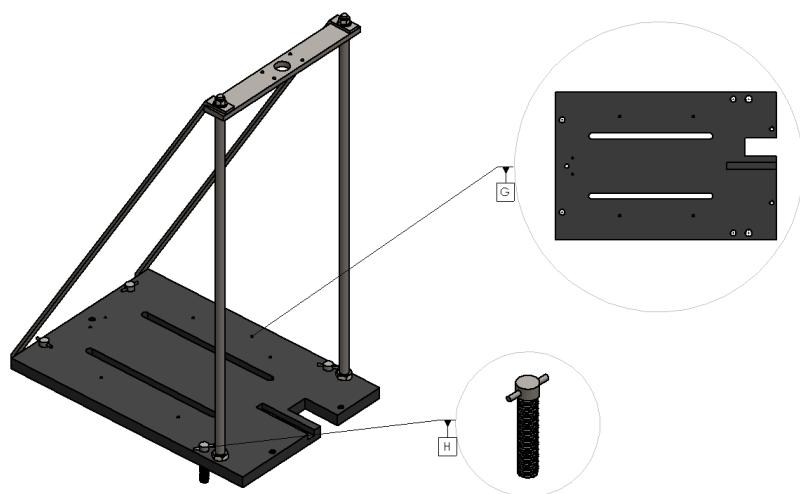
Fuente: Elaboración propia (2024)

4.3.3 Estructura de soporte

La estructura de soporte constituye la base física sobre la cual se ensamblan y operan todos los mecanismos del dispositivo, por lo que su estabilidad y resistencia son factores determinantes para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. En este apartado se detallan los ajustes implementados en su diseño, los cuales se centraron en mejorar la rigidez estructural, optimizar la distribución del peso y facilitar la regulación en altura de acuerdo con las condiciones de uso, estos componentes se muestran en la Figura 44 con las letras G y H.

Figura 44

Análisis de la estructura de soporte



Fuente: Elaboración propia (2025)

G. Base

El cambio más significativo fue la modificación de los tornillos de soporte y nivelación, ya que en el plano 1 del anexo C, el diseño es simple, pero considerando el peso, el esfuerzo manual para ajustar la altura no es óptimo. En la Tabla 43 se presenta el análisis comparativo entre la pieza original de los planos y el diseño propuesto. Este cambio permitió reducir perforaciones, así como el número de piezas tanto en el mecanismo de movimiento horizontal como en el de soporte y sujeción. Esto proporcionó una mayor área de trabajo sin necesidad de aumentar el tamaño de la base. Además, al incorporar un cambio de nivel con mayor profundidad, se logró una reducción considerable del peso.

También se eliminaron algunos postes utilizados para posicionar los brazos de sujeción, ya que esta función ahora puede ser asumida por los postes verticales. Al reducir el peso y los esfuerzos en estos elementos, pueden tener otra función, optimizando aún más el diseño y el uso de materiales.

Tabla 43*Análisis comparativo del componente G*

G.- Base			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Hierro colado	Hierro colado	Se mantiene
No. de piezas	1	1	Sin cambios
Peso aproximado	41.9 kg	29 kg	Reducción significativa del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Fresa CNC, perforado y roscado	Fresa CNC, perforado y roscado	Se reducen la cantidad de perforaciones y roscados
Operaciones de ensamble	Mecánico con tornillos	Mecánico con tornillos	Se mantienen
Tornillería	0	0	Utiliza tornillos para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025)

H.- Tornillo nivelador

Por último, los tornillos de nivelación fueron seleccionados con un criterio tanto estético como funcional, priorizando un diseño que permita ajustes precisos y repetibles. Se consideró especialmente la ergonomía durante el uso, de manera que el ajuste de altura pueda realizarse fácilmente mediante herramientas convencionales, evitando esfuerzos excesivos por parte del operador.

Se priorizó la resistencia mecánica con un tratamiento superficial que aumente su durabilidad y resistencia a la corrosión. En este sentido, un tornillo galvanizado ofrece mejor protección frente a la humedad y el desgaste que uno de acero sin recubrimiento, lo que contribuye a mantener su funcionalidad a largo plazo. Estas piezas pueden adquirirse en línea, verificando previamente que las especificaciones técnicas garanticen su capacidad para soportar de forma segura el peso total del dispositivo sin deformaciones.

Asimismo, se contempló la posibilidad de sustituirlos fácilmente en caso de desgaste o daño, reduciendo el tiempo de mantenimiento y prolongando la vida útil del equipo. En la Tabla 44 se presenta el análisis comparativo entre las piezas.

Tabla 44*Análisis comparativo del componente H*

H.- Tornillo nivelador			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Acero	Acero galvanizado	Mayor accesibilidad en el mercado
No. de piezas	2	2	Sin cambios
Peso aproximado	127 gramos	92 gramos	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Torneado y perforado	Torneado y perforado	Posibilidad de usar componentes estándar
Operaciones de ensamble	Mecánico con pasador	Mecánico con tornillo y tuercas	Se mantienen
Tornillería	0	2	Tuercas para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025). Nota: datos correspondientes a un tornillo, se utilizan 4 en total.

En la Figura 45 se muestra una vista isométrica de la estructura de soporte con la base y los tornillos niveladores propuestos, y las demás piezas fueron ajustadas principalmente en altura, grosor y peso, pero no son tan perceptible y se encuentran en la tabla del Anexo H

Figura 45*Diseño 1 - Estructura de soporte*

Fuente: Elaboración propia (2024)

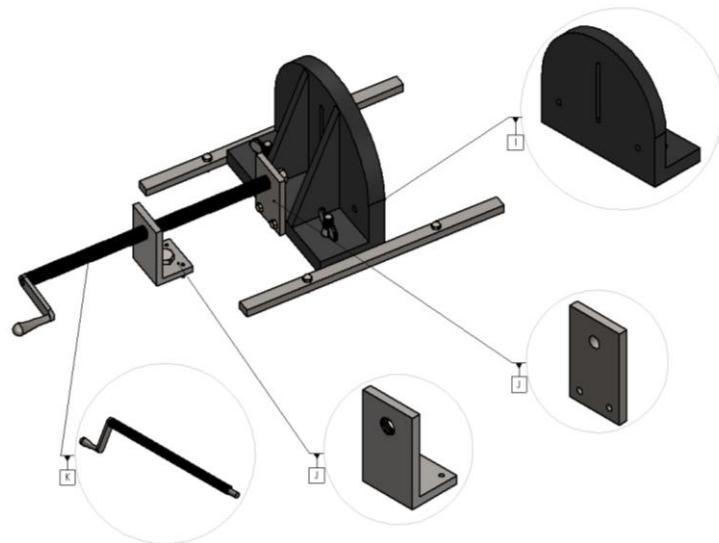
4.3.4 Mecanismo de movimiento horizontal

Para este aparato se exponen las mejoras introducidas en el mecanismo de movimiento horizontal, este mecanismo, como su nombre lo indica, realiza un desplazamiento en dirección horizontal, lo cual permite posicionar la pieza a evaluar justo debajo del tup para que posteriormente sea golpeada. Durante el rediseño, al modificar la base de la estructura de soporte se eliminó la necesidad de las placas guía y del sistema original de movimiento horizontal, logrando un mecanismo más optimizado. Con esto se consiguió reducir tanto el peso como el largo total del conjunto, generando un diseño más compacto y sencillo de fabricar.

En la Figura 46 se muestran los componentes principales que fueron modificados, identificados como I, J y K, los cuales representan las piezas que conforman esta nueva propuesta del mecanismo de movimiento horizontal.

Figura 46

Análisis del movimiento horizontal



Fuente: Elaboración propia (2025)

I.- Soporte trasero

Comenzando con el componente “I”, se cambió el material para reducir el costo de fabricación del molde, ya que según los planos no hay indicios de unión por soldadura, lo que sugiere que fue fabricado mediante vaciado y maquinado. Por lo tanto, la propuesta actual resulta más conveniente y práctica, al estar compuesta por diferentes piezas unidas por soldadura. En la Tabla 45 se presenta el análisis comparativo entre ambas piezas.

Además, esta modificación no solo facilita reparaciones futuras, sino que también mejora el peso total del conjunto, lo cual resulta fundamental para su desplazamiento manual. En el diseño anterior, el movimiento se realizaba con un tornillo de avance, por lo que el peso excesivo no representaba un problema tan crítico. Sin embargo, al cambiar el mecanismo por uno más corto y ligero, se busca reducir la carga innecesaria y hacer que el deslizamiento sea más sencillo. Cabe mencionar que el peso de equilibrio ya se encuentra en la base de la estructura, lo cual garantiza la estabilidad del sistema, permitiendo que el mecanismo de movimiento horizontal se optimice en funcionalidad y ergonomía.

Tabla 45

Análisis comparativo del componente I

I.- Soporte trasero			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Hierro colado	Aluminio	Procesos de manufactura más accesibles
No. de piezas	1	1	Sin cambios
Peso aproximado	13.63 kg	2.49 kg	Reducción significativa del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de formado	Fundición y moldeado	Forjado y extrusión	Métodos más accesibles y rápidos de fabricar
Proceso de remoción de material	Fresa CNC, rectificado y perforado	Fresa CNC y perforado	Posibilidad de usar componentes estándar
Operaciones de ensamble	Ninguno, integración monolítica	Mecánico con soldadura	Mayor facilidad de fabricación y mantenimiento
Tornillería	0	0	Tornillería solo para montaje

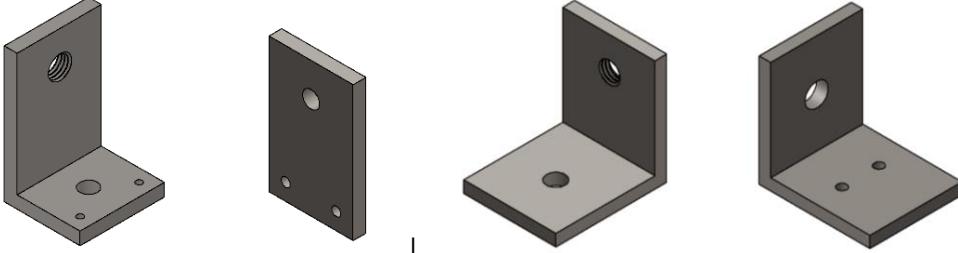
Fuente: Elaboración propia (2025)

J.- Soporte del tornillo de avance horizontal

Para este mecanismo, en el plano 3 del Anexo C se identifican dos componentes con el mismo nombre, pero con formas distintas. Por esta razón, se unificaron en un solo diseño utilizando perfiles comerciales en forma de ángulo, como se muestra en la Tabla 46 además se presenta el análisis comparativo entre ambas piezas. Estos componentes, identificados como "J", corresponden al soporte del tornillo de avance horizontal.

Tabla 46*Análisis comparativo del componente J*

J.- Soporte del tornillo de avance horizontal



Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Acero	Acero dulce	Mayor accesibilidad en el mercado
No. de piezas	2	2	Sin cambios
Peso aproximado	1.15kg	1.11kg	Sin cambios
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Corte, perforado y roscado	Corte, perforado y roscado	Reducción en la cantidad de corte
Operaciones de ensamble	Mecánico con tornillos	Mecánico con tornillos	Se mantienen
Tornillería	3	3	Tornillos para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025)

K.- Tornillo de avance horizontal

Finalmente, el último componente a modificar dentro de este mecanismo corresponde al tornillo de avance horizontal. En el diseño anterior estaba conformado por varias piezas unidas, lo que generaba un sistema más complejo; sin embargo, al cambiar el material del tope posterior se consiguió una reducción significativa de peso, lo que permitió simplificarlo y reemplazarlo por un tornillo mariposa.

De igual manera, las barras laterales que anteriormente funcionaban como guías fueron eliminadas gracias a la incorporación de un desnivel en la base. Con este rediseño, el menor peso facilita que el mecanismo pueda deslizarse manualmente hasta una posición aproximada, para después realizar un ajuste fino mediante el tornillo mariposa, ya sea por algunos centímetros o incluso milímetros. En la Tabla 47 se presenta el análisis comparativo entre ambas piezas.

Tabla 47*Análisis comparativo del componente K*

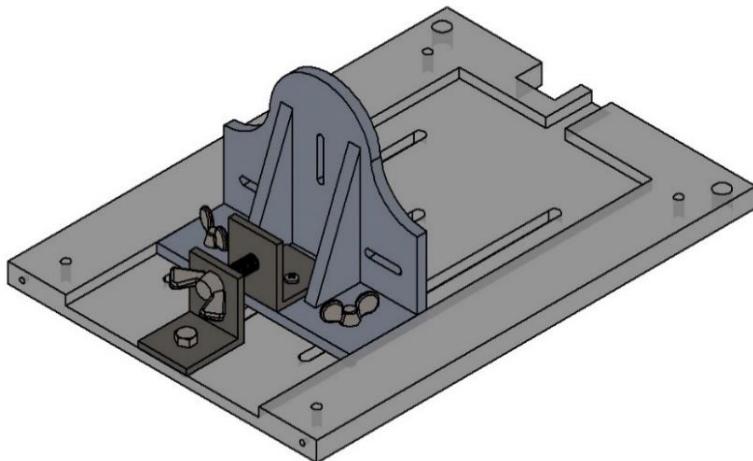
K.- Tornillo de avance horizontal



Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Acero	Acero	Mayor accesibilidad en el mercado
No. de piezas	3	1	Simplificación
Peso aproximado	878 gramos	30.4 gramos	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Torneado y perforado	Torneado	Posibilidad de usar componentes estándar
Operaciones de ensamble	Mecánico con tuercas y soldadura	Mecánico con tuercas	Reducción de ensambles
Tornillería	1	2	Tuercas para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025)

En la Figura 47 se muestra una vista isométrica posterior, seleccionada para facilitar la identificación de los componentes modificados según el diseño propuesto, así como de la base, lo que permite apreciar con mayor claridad el recorrido del mecanismo de movimiento horizontal. Todos los elementos se encuentran ya ensamblados en sus posiciones correspondientes dentro del subensamblaje.

Figura 47*Diseño 1 - Mecanismo de movimiento horizontal*

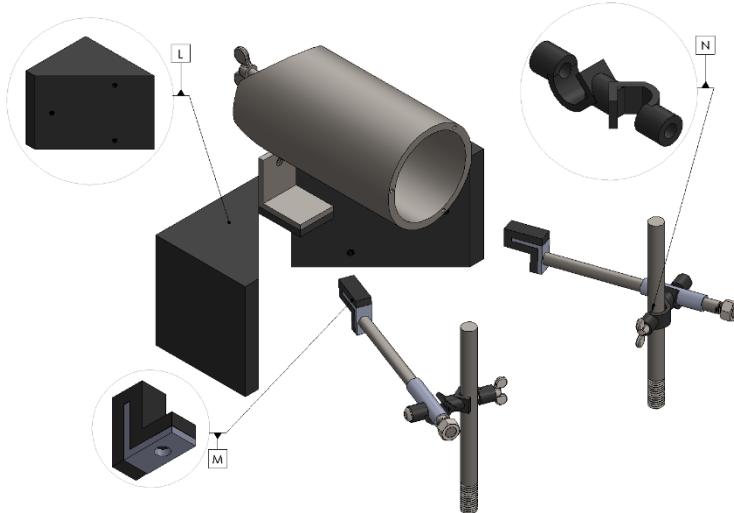
Fuente: Elaboración propia (2024)

4.3.5 Mecanismo de soporte y sujeción

En este último apartado se presenta el mecanismo encargado de sujetar las piezas de cerámica, el cual funciona como soporte para la correcta colocación de las probetas a ensayar. Algunos de sus componentes estaban fabricados en hierro colado, lo que generaba mayor peso y dificultaba el proceso de fabricación; por ello, se propuso un cambio de material para optimizar su desempeño. En la figura 48 se pueden apreciar en conjunto todas las piezas y componentes que conforman el mecanismo. Y los componentes modificados corresponden a los elementos “L”, “M” y “N”.

Figura 48

Análisis del soporte y sujeción



Fuente: Elaboración propia (2024)

L.- Prisma triangular

Para este componente, la modificación principal consiste en el cambio de material con el objetivo de reducir el peso, manteniendo la forma de sujeción del modelo anterior. La reducción de peso resulta especialmente importante, ya que este mecanismo trabaja en conjunto con el mecanismo de movimiento horizontal, y ambos subensambles deben poder deslizarse fácilmente como un solo conjunto durante la operación. Por ello, se eligió un material muy ligero pero sólido, cumpliendo con los requerimientos establecidos por la norma. Además, esta modificación permite instalar el prisma en cualquiera de sus caras, a diferencia de la versión ASTM, en la que las piezas eran diferentes para el lado derecho e izquierdo. En la Tabla 48 se presenta el análisis comparativo entre ambos prismas.

Tabla 48*Análisis comparativo del componente L*

L.- Prisma triangular			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Hierro colado	Aluminio	Procesos de manufactura más accesibles
No. de piezas	1	1	Sin cambios
Peso aproximado	4.3 kg	0.60 kg	Reducción significativa del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Fresa CNC, rectificado y perforado	Fresa CNC y perforado	Mayor facilidad de fabricación y mantenimiento
Operaciones de ensamble	Mecánico con tornillos	Mecánico con tornillos	Se mantienen
Tornillería	0	0	Tornillería solo para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025). Nota: datos correspondientes a un prisma, se utilizan 2 en total.

M.- Brazo de posicionamiento

Para este componente se estandarizó únicamente la punta del brazo de posicionamiento, incorporando gomas de caucho intercambiables y fácilmente accesibles en el mercado. Esta modificación permite un mantenimiento más sencillo y rápido, además de garantizar un contacto uniforme y seguro con las piezas de cerámica durante las pruebas.

Asimismo, se eliminó el poste para brazo de posicionamiento original, aprovechando los postes verticales de la estructura de soporte, lo que simplifica el diseño y reduce componentes innecesarios. Este cambio también tiene implicaciones directas en el diseño del siguiente componente, el conector, ya que ahora debe integrarse con la nueva disposición del brazo de posicionamiento y el conector. En la Tabla 49 se presenta el análisis comparativo entre las dos puntas del brazo.

Tabla 49*Análisis comparativo del componente M*

M.- Brazo de posicionamiento			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Acero y caucho	Caucho	Mayor accesibilidad en el mercado
No. de piezas	2	1	Facilidad de montaje
Peso aproximado	9.87 gramos	2.32 gramos	Reducción del peso
Procesos de manufactura			
Proceso de formado	Forjado y extrusión	Fundición y moldeado	Métodos más accesibles y rápidos de fabricar
Proceso de remoción de material	Corte y perforado	Corte	Procesos de manufactura más accesibles
Operaciones de ensamble	Soldadura y unión mediante adhesivos	Unión a presión	Mayor practicidad
Tornillería	0	0	Tuercas para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025). Nota: datos correspondientes a una pieza, se utilizan 2 en total

N.- Conector para el poste y brazo de posicionamiento

Para este componente, los planos no proporcionan datos específicos como medidas o material, por lo que se deduce que se trata de un diseño especial para el dispositivo. Al ser una pieza compleja, probablemente se fabricaba de manera monolítica en hierro colado, lo que elevaba el costo al requerir un molde para solo un par de piezas.

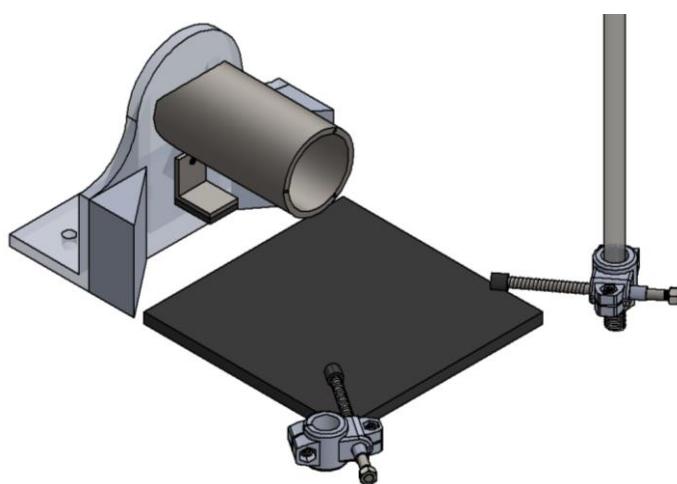
En la propuesta actual, la pieza fue reemplazada por un conector estándar y fácilmente accesible en el mercado, lo que reduce significativamente los costos de fabricación y facilita su reposición. Esta modificación también se integra de manera eficiente con la nueva disposición del brazo de posicionamiento y los postes verticales de la estructura de soporte. En la Tabla 50 se presenta el análisis comparativo entre ambos diseños.

Tabla 50*Análisis comparativo del componente N*

N.- Conector para el poste y brazo de posicionamiento			
Criterios	Versión ASTM	Diseño 1	Cambios / mejoras
Material	Acero	Aluminio	Mayor accesibilidad en el mercado
No. de piezas	1	1	Sin cambios
Peso aproximado	44 gramos	45 gramos	Se mantienen
Procesos de manufactura			
Proceso de remoción de material	Fresa CNC, rectificado	Fresa CNC	Mayor facilidad de fabricación y mantenimiento
Operaciones de ensamble	Mecánico con tornillos	Mecánico con tornillos y tuercas	Se mantienen
Tornillería	2	4	Tornillos para montaje

Fuente: Elaboración propia (2025). Nota: datos correspondientes a una pieza, se utilizan 2 en total

Además, Se agrego una esponja de Eva foam como base suave y de amortiguamiento para los platos de cerámica más grandes y pesados. En la Figura 49 se presenta una vista isométrica, para facilitar la visualización de los componentes modificados según el diseño presentado, ya ensamblados en sus posiciones correspondientes dentro del subensamble.

Figura 49*Diseño 1 - Mecanismo de soporte y sujeción*

Fuente: Elaboración propia (2025)

4.4 Versión final del sistema

En este apartado se presenta la versión final del sistema desarrollado, resultado del proceso de análisis, benchmarking y definición de requerimientos expuestos en los apartados anteriores. El diseño final integra las mejoras detectadas respecto al dispositivo referencial de la norma ASTM C368-88, con el fin de optimizar su funcionamiento, reducir el peso, así como el costo del dispositivo.

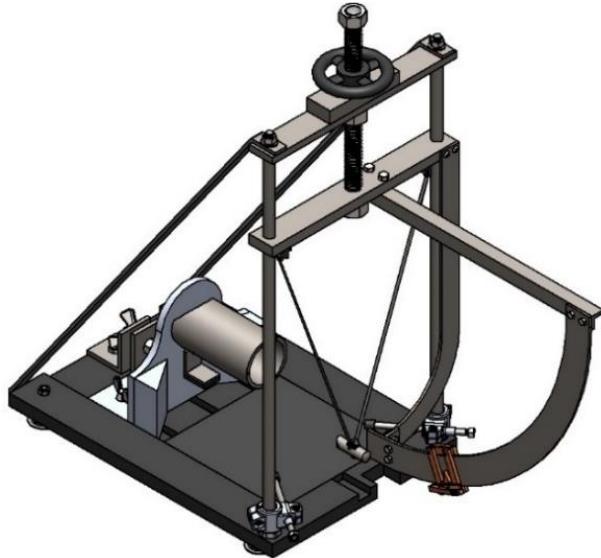
El sistema final está formado por una estructura de soporte con base en un prisma triangular que funciona como soporte principal. Sobre esta estructura se coloca un medidor de impacto, compuesto por un subensamble que mide y regula la fuerza con la que el péndulo golpea la muestra.

Además, el diseño cuenta con un mecanismo para subir y bajar el medidor de impacto, un subensamble que permite desplazar el soporte para la colocación de la muestra, hacia adelante y atrás, y un sistema de soporte y sujeción encargado de mantener en su lugar las piezas de cerámica, asegurando su estabilidad y correcta colocación durante la prueba.

La Figura 50 muestra una vista isométrica del ensamblaje completo, generada a partir del modelo 3D realizado en SolidWorks. Esta vista permite apreciar de manera global la disposición de los subensambles, la interacción entre los componentes y el diseño general del dispositivo, evidenciando cómo se integran las mejoras implementadas durante el proceso de diseño y análisis.

Figura 50

Ensamble final

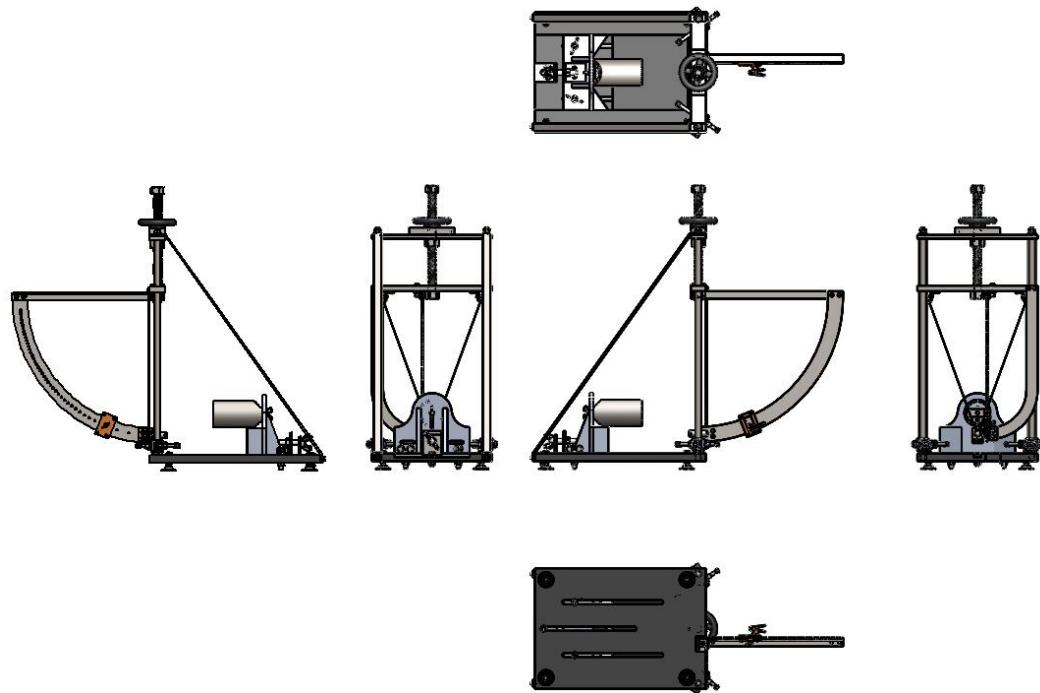


Fuente: Elaboración propia (2025)

Para complementar la comprensión del diseño, en la Figura 51 se presentan las vistas ortogonales del sistema (frontal, lateral, superior e inferior). Estas proyecciones permiten observar con mayor detalle la geometría de cada componente y su ubicación dentro del dispositivo, facilitando la comprensión del diseño y la evaluación de las modificaciones realizadas en comparación con el modelo anterior.

Figura 51

Vistas del ensamble final



Fuente: Elaboración propia (2025)

Además, se presentan las comparaciones generales de los cinco subensambles que conforman el dispositivo para evaluar la tenacidad de vajillas cerámicas, con el objetivo de evidenciar las mejoras implementadas en cada uno durante el proceso de mejora. El sistema se compone de los siguientes elementos:

- Estructura de soporte: fabricada en acero al carbono, proporciona estabilidad y rigidez al conjunto.
- Mecanismo medidor de impacto: encargado de aplicar la energía de prueba de manera controlada, siguiendo las condiciones establecidas en la norma.
- Mecanismo de movimiento vertical: el encargado de regular la altura del medir de impacto
- Mecanismo de movimiento horizontal: para reducir el lugar y colocación de las muestras
- Mecanismo de soporte y sujeción: diseñado para asegurar la vajilla cerámica con firmeza durante la prueba, evitando deslizamientos.

Mejora respecto al dispositivo referencial

En comparación con el dispositivo descrito en la norma ASTM C368-88, la versión final desarrollada incorpora diversas mejoras, mostrando de manera comparativa tanto en el aspecto visual como en las características principales las diferencias entre el modelo referencial y la propuesta final, resaltando los beneficios obtenidos tras el rediseño.

En la Tabla 51 se presenta la comparación del mecanismo medidor de impacto, donde destacan la reducción en el tamaño total, la disminución en el número de piezas y la mayor compacidad del conjunto, lo que se traduce en un menor volumen y peso del mecanismo.

Tabla 51

Tabla comparativa M.M.I.

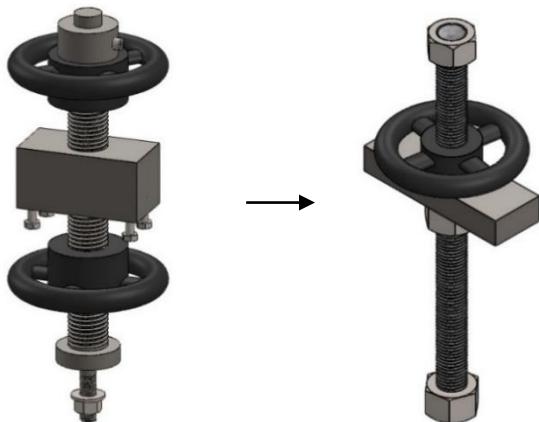
Mecanismo medidor de impacto			
Características	Modelo anterior	Propuesta	Cambios y mejoras
Tamaño	40.6 x 66 x 68 cm	40.64 x 51.44 x 52.7 cm	Reducción en el largo y alto
Peso	10.59 kg	6.71 kg	Disminución del peso
Volumen	1363.31 cm ³	922.56 cm ³	Ocupa menos espacio
No. de piezas	17	15	Disminuciones de las piezas
Material	Acero y latón	Acero y PLA (ácido poliláctico)	Uso de impresión 3D

Fuente: Elaboración propia (2025)

El mecanismo de movimiento vertical fue optimizado mediante la reducción significativa de componentes, utilizando un menor número de piezas y privilegiando el empleo de elementos prefabricados y de fácil acceso en el mercado. La Tabla 52 muestra la comparación entre el modelo anterior y la propuesta final, destacando las principales mejoras alcanzadas tras la mejora.

Tabla 52*Tabla comparativa M.M.V.*

Mecanismo de movimiento vertical



Características	Modelo anterior	Propuesta	Cambios y mejoras
Tamaño	12.7 x 12.7 x 34.3 cm	15.24 x 12.7 x 38.1 cm	Alargamiento general
Peso	6.55 kg	3.93 kg	Reducción del peso
Volumen	875 cm ³	576.38 cm ³	Reducción de piezas
No. de piezas	5	3	Simplificación de componentes
Material	Aceros y hierro colado	Aceros y hierro colado	Se mantienen

Fuente: Elaboración propia (2025)

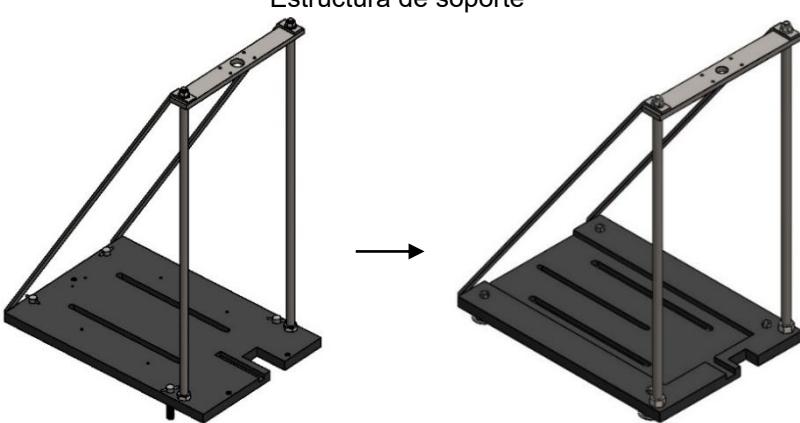
La estructura de soporte fue optimizada mediante la reducción de su altura, lo que incrementa la estabilidad del sistema. Además, se logró una disminución significativa del peso total y se realizaron modificaciones en la base para mejorar la practicidad durante el montaje y la operación. Las características comparativas se presentan en la Tabla 53.

Por otro lado, la optimización de la base permitió reducir de manera considerable el número de piezas, así como el tamaño y el peso del mecanismo de movimiento horizontal. Estas mejoras facilitan su manipulación y contribuyen a un diseño más compacto y eficiente. Los resultados del rediseño pueden observarse en la Tabla 54.

Finalmente, el mecanismo de soporte y sujeción fue mejorado a partir del rediseño de sus piezas, lo que permitió ampliar el espacio de trabajo y aumentar la practicidad en el montaje. Asimismo, se implementó un cambio en los materiales con el fin de aligerar la estructura y facilitar su manejo. La comparación detallada entre ambos modelos se encuentra en la Tabla 55.

Tabla 53*Tabla comparativa E.S.*

Estructura de soporte

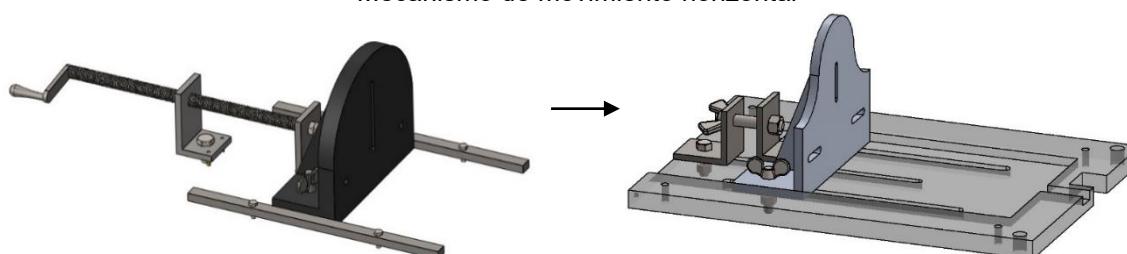


Características	Modelo anterior	Propuesta	Cambios y mejoras
Tamaño	40.6 x 61 x 94.6 cm	40.6 x 59 x 81.38 cm	Reducción al optimizar el espacio
Peso	51 kg	37.3 kg	Optimización de material
Volumen	6991 cm ³	5110.187 cm ³	Disminución de un 20%
No. de piezas	10	10	Se mantiene con buena estabilidad
Material	Hierro fundido y aceros	Hierro fundido y aceros	Sin cambios

Fuente: Elaboración propia (2025)

Tabla 54*Tabla comparativa M.M.H.*

Mecanismo de movimiento horizontal

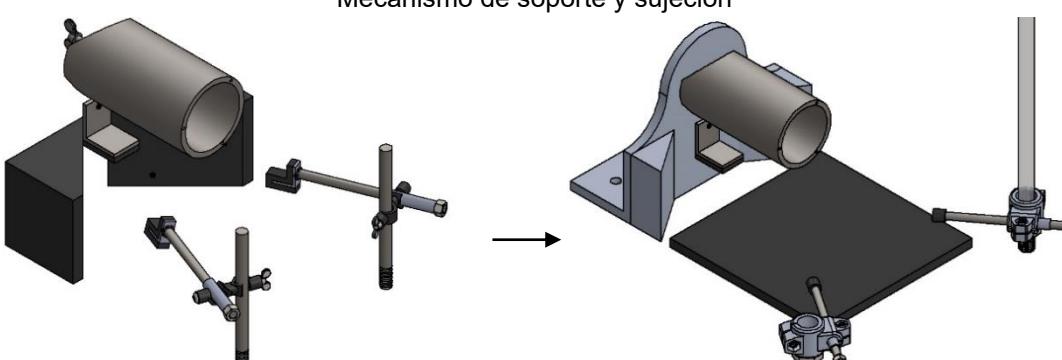


Características	Modelo anterior	Propuesta	Cambios y mejoras
Tamaño	29.2 x 73 x 25.4 cm	25.4 x 22 x 21.64 cm	Optimización del área de trabajo
Peso	17.48 kg	3.68 kg	Facilita el movimiento al deslizarlo
Volumen	2399 cm ³	1138.53 cm ³	Reducción del área
No. de piezas	8	3	Compacto y sencillo
Material	Hierro fundido y aceros	Aceros y aluminio	Mejora en materiales para aligerar la estructura

Fuente: Elaboración propia (2025)

Tabla 55*Tabla comparativa M.S.S*

Mecanismo de soporte y sujeción



Características	Modelo anterior	Propuesta	Cambios y mejoras
Tamaño	25.4 x 50 x 22.2cm	25.4 x 57.78 x 22.2 cm	Aumenta el área de trabajo
Peso	11.45 kg	7.14 kg	Facilita el manejo
Volumen	1589	2535.39	Mayor capacidad de piezas
No. de piezas	10	9	Simplificación en el ensamblaje
Material	Hierro colado y aceros	Aceros	Mejora en materiales para aligerar la estructura

Fuente: Elaboración propia (2025)

4.5 Lista de especificaciones

En este capítulo se presentan las principales especificaciones técnicas del dispositivo propuesto, con el fin de dejar registro claro y ordenado de sus características estructurales y funcionales. La información recopilada abarca tanto dimensiones, pesos y rangos operativos del sistema, como la cantidad de componentes necesarios para su ensamblado. Además, se incluye una organización de las piezas en subensambles, lo que permite una mejor comprensión del conjunto y una planificación más eficiente para su fabricación, montaje y mantenimiento

Especificaciones técnicas principales:

1. La mayor energía de impacto: 0.5418 ft lb-f (0.7347 J)
2. Angulo de inclinación más grande del péndulo: 83.13°
3. La menor energía de impacto: 0.0100ft lb-f (0.0136 J)
4. Angulo de inclinación más pequeño: 10.36°
5. Distancia desde el Centro hasta el punto de impacto del eje del péndulo: 18.1479 in (46 cm)
6. Peso neto: 60.182 kg
7. Dimensiones totales: 41.5 in x 16 in x 37.6 in (105.41 x 40.64x 95.5 cm)
8. Volumen: 11389.194 cm^3

De los planos establecidos por la norma ASTM C368-88, No. ADJC0368. (ver Anexo C), muestran 26 componentes. Sin embargo, en el ensamble final del dispositivo se plasma un elemento adicional, por lo que se agrega como otra pieza más. Por lo tanto, se tiene 27 componentes, pero dentro de cada componente se tienen más piezas por lo que se le dio un nombre a cada pieza relevante y clasificándolo en sus respectivos subensambles se tiene un total de 42 piezas en comparación de las 60 piezas del modelo anterior, esta información se muestra en las tablas del Anexo G

En la Tabla 56 se presenta la lista de componentes, agrupados conforme a la clasificación definida en el apartado “Arquitectura del sistema”, la cual fue clave para estructurar y guiar el desarrollo del diseño.

Tabla 56

Lista de componentes por cada clasificación

Clasificación	No	Nombre del componente
Estructura de soporte	1	Base
	2	Poste Vertical
	3	Brazos de soporte
	4	Nivelador base
	5	Soporte del mecanismo vertical
Mecanismo medidor de impacto	6	Dial (segmento marcado)
	7	Soporte en L del dial
	8	Soporte en J del dial
	9	Angulo del Dial
	10	Soporte del mecanismo medidor de impacto
	11	Angulo de suspensión
	12	Ajustador
	13	Rodamiento del péndulo
	14	Pasador de horquilla
	15	Suspensión en V
	16	Montura del Tup
	17	Cabezal C55 (Tup)
Mecanismo de movimiento vertical	18	Soporte de manivela
	19	Manivela
	20	Tornillo de avance vertical
Mecanismo de movimiento horizontal	21	Tope posterior
	22	Angulo de soporte
	23	Angulo de avance
Mecanismo de soporte y sujeción	24	Angulo sujeción
	25	Soporte de tubo
	26	Soporte de prisma triangular
	27	Abrazadera
	28	Brazo de posicionamiento
	29	Placa de neopreno

Fuente: Elaboración propia (2024).

En la Tabla 57 se muestran las piezas clasificadas según la acción necesaria para integrarlas al dispositivo. Se incluyen aquellas que pueden comprarse listas para ensamblar, otras que requieren modificaciones menores o más complejas, y las que deben fabricarse bajo un diseño específico

desarrollado para este modelo. En la tabla del Anexo H se encuentran las piezas modeladas y con especificaciones del proceso de fabricación.

Tabla 57

Tipo de piezas

Acción a realizar	Tipo de piezas	No. de la pieza
Comprar y ensamblar	Pieza comercial	4,14,19,20,27
Comprar y realizar pocos ajustes	Pieza estándar	2,7,9,12,15,22,23,24,25,28,29
Comprar y realizar más ajustes	Pieza estándar	3,5,6,8,10,11,16,18,26
Fabricar la pieza bajo diseño	Bajo diseño específico	1,13,17,19,21

Fuente: Elaboración propia (2025).

4.6 Modelo virtual

En este apartado se presenta el modelo virtual del dispositivo, desarrollado en el software CAD SolidWorks. La representación se muestra en la Figura 52, corresponde a un render en vista isométrica que combina una perspectiva frontal y lateral, lo que permite apreciar la forma en que el sistema se utiliza realmente: de izquierda a derecha.

Figura 52

Render de la propuesta en vista isométrica



Fuente: Elaboración propia (2025).

En esta disposición, la pieza de prueba se coloca en el lado izquierdo, mientras que el péndulo se ubica a la derecha, de modo que pueda desplazarse hacia arriba y hacia la derecha antes de impactar hacia la izquierda. Esta orientación responde a una preferencia ergonómica, considerando que la mayoría de los usuarios son diestros.

4.7 Análisis de Elemento Finito

El análisis de elemento finito (FEA, por sus siglas en inglés) es un método numérico utilizado para resolver problemas complejos de ingeniería y física. Consiste en dividir un objeto o sistema en una malla de elementos finitos interconectados en puntos llamados nodos, lo cual facilita el cálculo de respuestas como tensiones, deformaciones, temperaturas, vibraciones, entre otros efectos, bajo condiciones específicas de carga o contorno.

Al resolver estas ecuaciones de manera conjunta, el análisis permite predecir cómo se comportará el sistema completo, lo cual es útil en diseño, optimización y pruebas virtuales de estructuras y componentes.

4.7.1 Análisis Estático

El análisis estático se realizó utilizando el complemento *SolidWorks Simulation*. Para esto, se creó un nuevo estudio dentro del entorno de simulación, seleccionando la opción correspondiente entre los distintos tipos de análisis disponibles, como se muestran en la Tabla 58. Este tipo de estudio permite evaluar cómo responde el modelo ante cargas aplicadas

Tabla 58

Tipo de estudio y simulación

Categoría	Opciones
Simulación general	Análisis estático, estudio de frecuencia
Percepción de diseño	Estudio de topología, estudio de diseño
Simulación avanzada	Térmico, pandeo, fatiga, non lineal, dinámica lineal
Simulación especializada	Sub modelado, caída, diseño de recipiente a presión

Fuente: SolidWorks (2019)

Proceso realizado para un análisis estático:

1. Simplificación del modelo: Se elimina elementos de sujeción como pernos y tornillos, dejando únicamente las piezas principales del ensamblaje, esto para hacer más ligero el análisis
2. Definición de contactos: Se configuran los contactos entre componentes, optando por el tipo "sin penetración".
3. Configuración de sujeciones: Se seleccionan las superficies de fijación del modelo.
4. Definición de conexiones: Se especifican conexiones necesarias como rodamientos, pernos o pasadores, según el requerimiento del modelo.
5. Aplicación de cargas externas: Se definen las fuerzas o cargas que actuarán sobre el ensamblaje.
6. Generación de malla: Se elige un tipo de malla adecuado.
7. Ejecución del estudio: Se ejecuta el análisis estático para obtener los resultados.

Teniendo en cuenta la asignación adecuada de materiales para cada componente, asegurando que se apliquen las propiedades físicas y mecánicas correctas durante el análisis, con el fin de aproximarse lo más posible a la realidad. Entre los principales parámetros a considerar dentro del análisis se encuentran las tensiones de Von Mises, las deformaciones, los desplazamientos resultantes y el factor de seguridad. En la Tabla 59 se muestra la descripción de cada parámetro a considerar.

Tabla 59

Tipos de estudio

Concepto	Descripción
Tensiones de Von Mises	Evalúa esfuerzos combinados; si supera el límite de fluencia, puede ocurrir deformación plástica y falla.
Deformaciones	Indica cuánto se estira o comprime un material bajo carga; puede llevar a fatiga o falla si excede límites.
Desplazamiento resultante	Representa el desplazamiento total en mm, considerando componentes en X, Y y Z.
Factor de seguridad	Indica un margen antes de la falla: FDS > 1 es seguro, FDS < 1 indica posible falla; recomendable 1.5-2 en estructuras críticas.

Fuente: SolidWorks (2019)

Mecanismo medidor de impacto

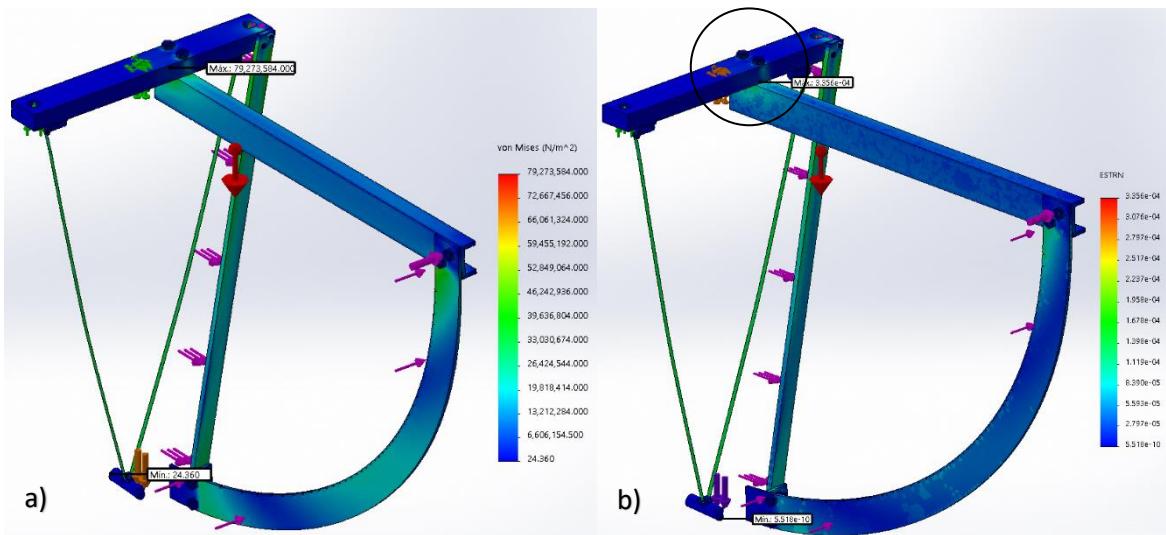
El análisis estático del mecanismo se representa mediante una escala de colores, donde cada tono refleja la magnitud de los resultados obtenidos. La gradiente de color va de menor a mayor intensidad: el azul indica valores bajos y el rojo los más altos. En la Figura 53 se muestran los dos primeros parámetros analizados.

Las fuerzas aplicadas en el estudio incluyen la gravedad, una carga de 50 N aplicada sobre el péndulo (equivalente a un peso aproximado de 5 kg, considerando la posible presión de una mano) y una carga de 100 N aplicada en la dirección indicada por las flechas de color rosa.

Los resultados muestran una tensión máxima de 79.27 MPa y una deformación máxima de 0.003356, lo que confirma que el sistema permanece dentro del rango de deformación elástica, recuperando su forma original una vez retirada la carga. Además, el análisis permite identificar la zona del ensamblaje donde se concentra el mayor esfuerzo, la cual se resalta en la imagen b mediante un círculo.

Figura 53

Tensiones y deformaciones - Modelo anterior

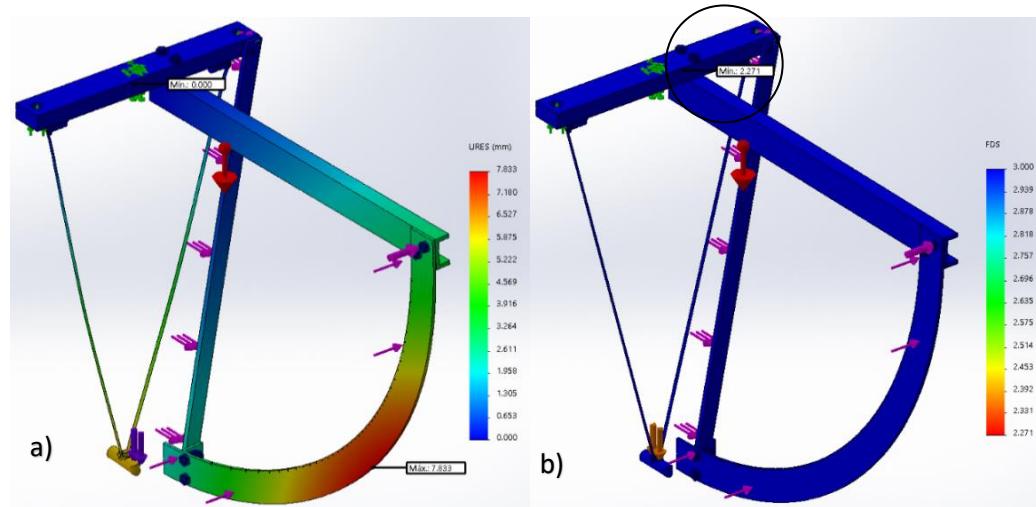


Fuente: Elaboración propia (2025). Nota: a) Tensiones de Von Mises, b) Deformaciones.

En este mismo análisis se obtienen también los desplazamientos y el factor de seguridad del modelo. Como se muestra en la Imagen 54 , en a) se observa una zona de color rojo que indica el mayor desplazamiento, alcanzando un valor de 7.83 mm. En b), se presentan las regiones en tonos azules, donde el material trabaja con un factor de seguridad superior a 3.

Figura 54

Desplazamientos y FDS - Modelo anterior

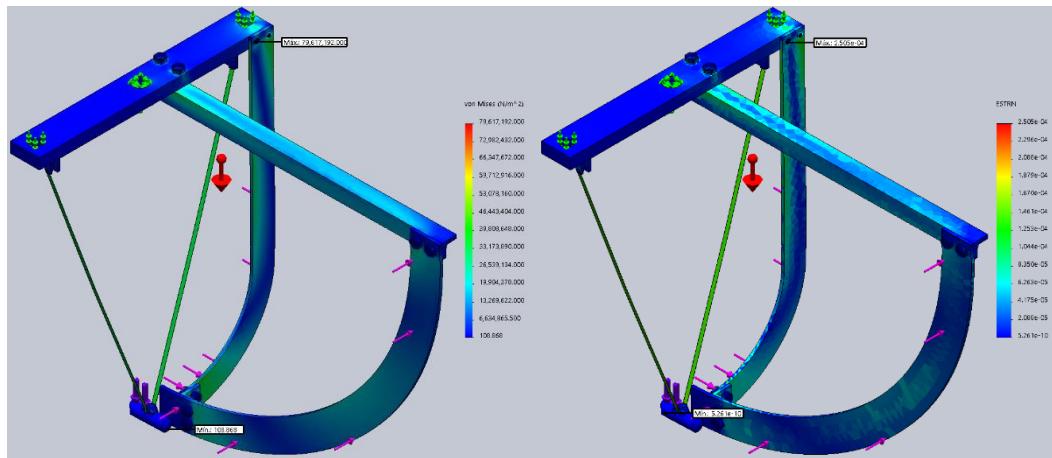


Fuente: Elaboración propia (2025). Nota: a)Desplazamientos y b) Factor de seguridad (FDS).

Los resultados en la propuesta fue una tensión máxima de 79.61MPa, pero ahora en una pieza diferente con un aumento muy poco de deformación, como se muestra en la Figura 55, ya que el material es más delgado y una deformación de 0.002505 la cual es menor a la del modelo anterior.

Figura 55

Tensiones y deformaciones - Propuesta MMI

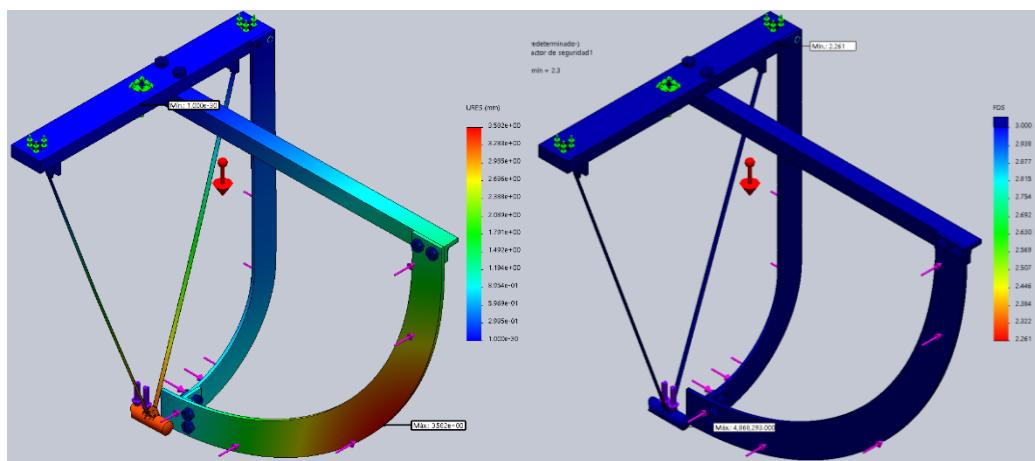


Fuente: Elaboración propia (2025)

Cabe recalcar que para la propuesta realizada también se le aplicaron las mismas fuerzas que el modelo anterior, la gravedad, la carga de 50N y las fuerzas de 100N.

Figura 56

Desplazamientos y FDS - Propuesta MMI



Fuente: Elaboración propia (2025)

La distancia de desplazamiento se redujo de 7.83 mm en el modelo anterior a 3.58 mm en el modelo actual, lo que representa una disminución del 45.7%. A pesar de ser una pieza más pequeña, el factor de seguridad se mantuvo prácticamente igual, con un valor de 2.26 en la nueva propuesta frente a 2.27 en el diseño anterior. Esta mejora demuestra un cambio positivo, ya que se logró una reducción en el uso de

material sin comprometer la resistencia de la pieza. En la Figura 56 se muestran los resultados mediante colores siendo los colores rojo y azul los más importantes

A continuación, en la Tabla 60 se muestran los resultados obtenidos del análisis estático comparativo entre el modelo descrito en la norma ASTM y la propuesta desarrollada. En ella se aprecian las diferencias en tensiones, deformaciones, desplazamientos y el factor de seguridad (FDS).

Tabla 60

Análisis estático - Mecanismo medidor de impacto

Concepto	Modelo ASTM	Propuesta
Tensiones	79.27MPa	79.61MPa
Deformaciones	0.003356	0.002505
Desplazamientos	7.83mm	7.83 mm
FDS	2.27	2.26

Fuente: Elaboración propia (2025)

Mecanismo de movimiento vertical

Así mismo, al siguiente subensamble se le efectuó un análisis estático considerando la acción de la gravedad, una carga de 50 N aplicada sobre la manivela (equivalente al peso aproximado de una mano ejerciendo 5 kg de presión) y otra carga de 50 N en las direcciones señaladas por las flechas de color rosa. Adicionalmente, se incorporó el peso del propio mecanismo medidor de impacto, equivalente a 6.71 kg, con el fin de representar de manera más realista las condiciones de uso del sistema.

En la Figura 57 se presentan los resultados visuales del análisis estático, mientras que en la Tabla 61 se resumen los valores numéricos obtenidos.

Tabla 61

Análisis estático - Mecanismo de movimiento vertical

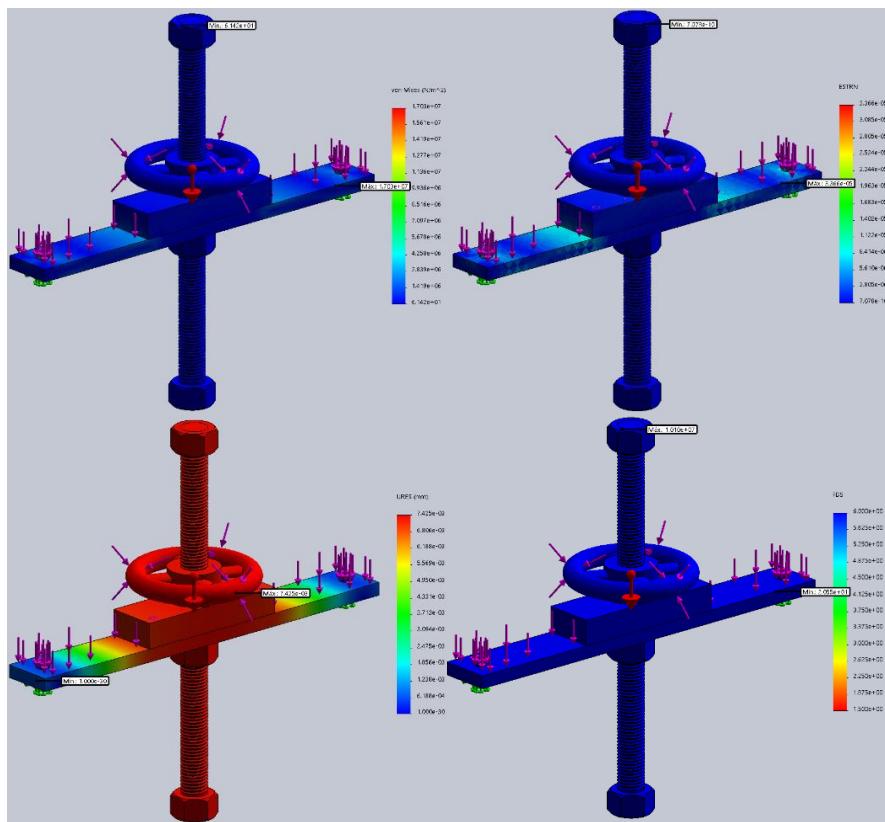
Concepto	Modelo ASTM	Propuesta
Tensiones	25.6MPa	17.03MPa
Deformaciones	0.00004939	0.0000336
Desplazamientos	0.0205mm	0.00742 mm
FDS	1.367	2.05

Fuente: Elaboración propia (2025)

Estos resultados son favorables ya que indican una disminución de la tensión sobre la barra que carga al mecanismo de movimiento vertical, así como la disminución de la deformación haciendo que tenga una deformación elástica, además aumenta el factor de seguridad a 2 en comparación al anterior que no cumplía con un margen razonable de seguridad el cual es de 1.5. y por último al reducir significativamente el peso el deslizamiento es menor

Figura 57

Análisis estático del mecanismo de movimiento vertical propuesto



Fuente: Elaboración propia (2025).

4.8 Planos constructivos

En este apartado se presentan los planos constructivos del dispositivo, desarrollados en el software CAD SolidWorks. En total se generaron 10 hojas: las primeras nueve corresponden al plano general con el conjunto completo de piezas diseñadas, mientras que la última hoja incluye las piezas comerciales. Estas últimas únicamente fueron modeladas de forma representativa, con vistas isométricas y un número reducido de cotas, con el objetivo de englobar todos los elementos del dispositivo. Los planos se aprecian con mayor detalle en el Anexo I.

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN

CAPITULO 5.EVALUACION

En este capítulo se presentan los procesos de evaluación del dispositivo desarrollado, con el objetivo de comprobar su funcionalidad, resistencia y viabilidad. En primera instancia, se realiza una validación preliminar mediante análisis de elementos finitos (FEA), verificando que el dispositivo cumple con los requerimientos estructurales establecidos en la norma ASTM C368-88 y asegurando que las tensiones y deformaciones se mantienen dentro de rangos seguros. Posteriormente, se expone la visualización del sistema estructural y del ensamblaje, generada a través de modelado 3D en SolidWorks, lo que permite analizar con mayor detalle la interacción entre los componentes y su facilidad de montaje.

De igual manera, se presentan los resultados de pruebas obtenidos a partir de la simulación y modelado, destacando la importancia de este dispositivo como herramienta de apoyo para pequeñas empresas del sector cerámico. Finalmente, se establecen las conclusiones generales, en las cuales se resume el alcance del proyecto, las mejoras implementadas y la validación del diseño final respecto a los objetivos planteados.

5.1 Validación preliminar del dispositivo

A través del Análisis de Elementos Finitos (FEA), se verificó que el dispositivo, con las modificaciones implementadas, cumple teóricamente con los requerimientos estructurales y de ensamblaje. En particular, los resultados del análisis mostraron que las tensiones máximas no superan el límite elástico del material y que las deformaciones se mantienen dentro de un rango seguro, asegurando la integridad del dispositivo con un factor de seguridad dentro del rango 1.5 a 2 durante su funcionamiento.

Asimismo, se confirmó que los puntos de ensamblaje resisten adecuadamente las cargas previstas, sin presentar desplazamientos que comprometan el alineamiento o el correcto funcionamiento de los componentes. Además, en el mercado ya existen dispositivos similares que han demostrado su funcionalidad en aplicaciones reales. Esto respalda la viabilidad del diseño y su implementación, asegurando que las mejoras realizadas no comprometen su desempeño.

A través de los análisis realizados en SolidWorks se verificó que:

- El diseño mantiene la resistencia estructural del dispositivo
- La reducción de procesos de fabricación no afecta la funcionalidad
- Y se cumplen los estándares establecidos por la norma las cuales son:
 - ✓ Acero con dureza Rockwell C 55
 - ✓ Suspensión en "V"
 - ✓ Liberación de altura fija
 - ✓ Abrazadera de resorte
 - ✓ Soportes metálicos rígidos

Si bien no se realizó un cálculo detallado del costo de fabricación, el diseño propuesto permite reducir el número de piezas necesarias e integrar funciones en componentes únicos, lo que elimina procesos complejos o maquinados difíciles. En la Tabla 62 se detallan las mejoras obtenidas, destacando la reducción en el número de piezas, el peso total y las dimensiones máximas y mínimas del dispositivo. Asimismo, en la Tabla 63 se presentan los procesos de fabricación requeridos para cada dispositivo, evidenciando una disminución de 273 a 184 procesos, lo que representa una reducción del 32.5%."

Tabla 62

Comparación de reducción y optimización del dispositivo

Aspecto	Dispositivo de referencia	Propuesta de mejora	Reducción
No. de piezas	60	42	-18 piezas (30%)
Peso total	98.93kg	60.18kg	-38.75kg (32.2%)
Diámetro máximo del plato a testear	30cm	33cm	+3cm (10%)
Largo mínimo	122.5 cm	105.5 cm	-17 cm (13.9%)
Altura mínima	100cm	89cm	-11cm (11%)
Largo máximo del dispositivo	153cm	105.5cm	-47.5 cm (31%)
Altura máxima del dispositivo	115.6cm	108.4cm	-7.2cm (6.2%)
Ancho	40.64cm	40.64cm	0%

Fuente: Elaboración propia (2025).

Tabla 63

Procesos de fabricación y maquinado de la propuesta de mejora

Proceso	Dispositivo de referencia	Propuesta de mejora	Reducción
Procesos de arranque de material (maquinado)			
Fresado de desbaste	31	12	-19 (61.3%)
Perforado	124	119	-5 (4%)
Roscado interior	41	27	-14 (34%)
Torneado	4	2	-2 (50%)
Roscado exterior en torno	14	5	-9 (64.3%)
Procesos de corte			
Corte mecánico	9	7	-2 (22.2%)
Corte por cizallamiento	42	0	(100%)
Corte por laser	1	2	Aumento 1
Proceso de conformado			
Doblado	4	4	(0%)
Proceso de unión			
Soldadura	3	6	Aumento 3

Fuente: Elaboración propia (2025).

Esto implica una disminución de costos en comparación con la adquisición de un dispositivo comercial. Además, se seleccionaron materiales estandarizados y formatos comerciales que facilitan el abastecimiento, simplifican el ensamblaje y minimizan el desperdicio, optimizando así la producción de manera más eficiente.

La propuesta de mejora resulta más accesible en su construcción principalmente por la simplificación estructural y de procesos. En comparación con el dispositivo de referencia, se redujo el número de piezas de 60 a 42, lo que representa una disminución del 30%, y a la vez permitió una reducción del peso total en 32.2%.

Asimismo, los procesos de maquinado se optimizaron, destacando una reducción del 61.3% en operaciones de fresado de desbaste y del 64.3% en roscado exterior, eliminando por completo procesos como el corte por cizallamiento, lo que agiliza la fabricación. La propuesta también integra materiales más accesibles, como el acero dulce, y piezas comerciales que pueden adquirirse directamente en el mercado para posteriormente ensamblarse, disminuyendo así la necesidad de mecanizado especializado. En conjunto, estas mejoras favorecen una manufactura más rápida, económica y viable en comparación con el dispositivo original.

5.2 Visualización del sistema estructural y de su ensamblaje

La visualización del sistema estructural y su ensamblaje se realizó mediante modelado 3D en SolidWorks, permitiendo un análisis detallado de la resistencia y estabilidad del diseño. A través de la representación digital, se logró una mejor comprensión de la disposición de las piezas, sus uniones y la forma en que interactúan entre sí.

Para evaluar la solidez del dispositivo, se realizaron simulaciones estructurales en Análisis de Elementos Finitos (FEA), considerando factores como cargas, fuerzas y puntos críticos de tensión. Los resultados muestran que el diseño optimizado mantiene su integridad bajo condiciones normales de uso, asegurando su funcionalidad y durabilidad.

En cuanto al ensamblaje, el diseño fue simplificado utilizando materiales comerciales y procesos de fabricación accesibles, lo que facilita su producción y reposición de piezas en caso de fallas. La digitalización permitió representaciones dinámicas, con animaciones y videos que muestran el proceso de ensamblaje y el comportamiento del dispositivo.

Esta visualización no solo optimiza la fase de diseño y manufactura, sino que también representa una ventaja significativa para pequeñas empresas del sector cerámico, al proporcionar una herramienta accesible para analizar la resistencia de sus productos y mejorar su competitividad en el mercado.

5.3 Resultados de pruebas

En este ámbito de la cerámica, la producción sigue siendo predominantemente artesanal y no ha sido completamente industrializada. Esto ha generado que la atención y el desarrollo tecnológico en este sector sean limitados, ya que grandes empresas líderes en vajillas de mesa utilizan principalmente, vidrio, plástico porcelana y cerámica, desplazando la cerámica a un nicho más artístico y artesanal, además de percibirla frágil y reservadas para ocasiones especiales.

El principal aporte de esta investigación fue impulsar la digitalización en este sector, especialmente al tema de la fragilidad y resistencia de estos productos de cerámica, pero indirectamente, con el dispositivo para medir la tenacidad de las vajillas. Ya que el dispositivo se encuentra en planos en papel y escaneado, lo que limita su precisión y reproducción.

La primera ventaja es tener nuevos planos con modificaciones y mejoras respetando la norma. Con el uso del software SolidWorks logre transformar los planos en representaciones tridimensionales, modelando las piezas, facilitando su visualización y análisis.

Además, una creación de simulaciones y una animación que muestra su uso, permitiendo una mejor compresión del comportamiento del dispositivo. Esta digitalización no solo beneficia a la documentación técnica, sino que también puede ser una herramienta valiosa para ofrecer una solución accesible y económica para pequeñas empresas, para que obtengas datos y aproximaciones sobre la tenacidad y durabilidad de sus productos cerámicos. Esto permite mejorar la calidad de sus piezas y demostrar su resistencia de manera clara y convincente en el mercado, y así expandirse.

Este enfoque tecnológico abre nuevas oportunidades para este sector, permitiendo que los productos cerámicos sean más reconocidos no solo por su valor artístico, sino también por su resistencia y no perciban como frágil la cerámica.

CONCLUSIONES

Finalmente, el desarrollo de este proyecto ha llegado a su fin, cumpliendo el desarrollo de un dispositivo para realizar pruebas de impacto a productos cerámicos a partir de la norma ASTM C368-88 para tener datos cuantitativos de tenacidad, el desarrollo de este proyecto es con la finalidad de poder proporcionar este dispositivo, a empresas pequeñas de cerámica que buscan expandir su mercado respaldando la calidad de sus productos.

Se comenzó con una investigación documental que permitió establecer una base teórica sólida de temas clave relacionados con el dispositivo, además las delimitaciones y requerimientos legales llevaron a un análisis de productos similares (Benchmarking), lo que implicó examinar un análisis a diferentes productos a través de imágenes y visualización de videos que mostraban el uso del dispositivo, esto permitió identificar áreas de mejora y aportar elementos importantes a la investigación:

- **Marco legal:** requerimientos indispensables que debe cumplir el dispositivo
- **Benchmarking:** evaluación de eficiencia e innovación
- **Requerimientos de diseño:** Necesidades a cubrir en aspectos como mantenimiento, seguridad, practicidad, materias primas, y estandarización.

Además, al investigar dentro del benchmarking y el estado del arte, se encontró una gran similitud en el mercado para este dispositivo y dado que la norma marca la pauta de esta investigación y cuenta con un croquis del dispositivo, se tomó como referencia, ya que dicha norma a través del croquis y planos, muestran un diseño base. Por lo tanto, la matriz de selección permitió evaluar distintos productos para puntuar la opción más adecuada y determinar la similitud con el dispositivo. De esta manera, se obtuvo un porcentaje que indica hasta qué punto se pueden realizar modificaciones sin perder la coherencia con el diseño original, para mantener planos similares en un formato digital e incluso en 3D, tridimensional.

Esto permitió poder realizar modificaciones y mejoras sin comprometer la funcionalidad ni la integridad del producto final. Por lo tanto, se adquirió la norma y los planos para acceder a la información necesaria y modelar cada pieza digitalmente por medio del programa SolidWorks. Esto llevó a identificar los elementos que conforman al dispositivo, concluyendo que la mayoría de las piezas son de diseño específico y fabricación única, y como resultado su costo se incrementa y no se encuentra fácilmente en el mercado. Además, en caso de una falla, ruptura o accidente con alguna de estas piezas, la reposición se vuelve aún más complicada, prolongando tiempos de reparación y afectando la operatividad del dispositivo.

Por lo tanto, se llevó a cabo el ensamblaje y desarrollo del diseño del dispositivo, comenzando por definir la arquitectura del sistema y clasificando los subensambles según su mecanismo y función específica. Dado que el ensamble completo consta de múltiples piezas, esta agrupación proporciona ventajas para un análisis más detallado, facilitando la evaluación y optimización de cada componente del sistema.

Después de una exhaustiva búsqueda de información y análisis, se desarrolló un diseño preliminar que prioriza el uso de piezas estandarizadas y comerciales. Esto permitió reducir procesos complejos de

fabricación y, a su vez, disminuir los costos de producción con un número menor de piezas , logrando un diseño más eficiente y accesible.

Para verificar la efectividad de estos cambios, se realizaron análisis estáticos en los subensambles más críticos del modelo anterior, comparándolos con la versión final para evaluar sus diferencias y mejoras. Como resultado se elaboró una lista de especificaciones con las mejoras obtenidas de la versión final, además de contar con un modelo virtual ensamblado en SolidWorks, acompañado de imágenes para una mejor visualización del dispositivo y una animación que muestra su funcionalidad. Por último, se generaron los planos correspondientes de todas las piezas organizadas por su clasificación, incluyendo sus vistas principales, isométrica y explosiva, lo que facilita una mejor comprensión y previsualización de los ensambles.

Los resultados obtenidos confirman que el prototipo virtual fue evaluado conforme a la norma ASTM C368-88, validando así la investigación realizada. A través del análisis estructural y de funcionamiento, se comprobó que el diseño cumple con los requisitos establecidos, asegurando su resistencia y eficiencia. La información obtenida permitió optimizar el modelo, logrando un dispositivo más eficiente en términos de fabricación, costos y desempeño. En consecuencia, se puede concluir que los objetivos planteados fueron alcanzados satisfactoriamente, respaldando la viabilidad y funcionalidad del diseño final.

REFERENCIAS

Anfora (2017). *Cinco propiedades de la cerámica que quizás no conocías*. Blog Anfora.

<https://blog.anfora.com/cinco-propiedades-de-la-ceramica-que-quizas-no-conocias>

Asociación Española para la Calidad (AEC). 2019. Certificada según las normas UNE-EN ISO 9001:2008 y UNE ISO 14001:2004 <https://www.aec.es/web/quest/centro-conocimiento/normas-astm>

Askeland D. y Wright W. (2016) *Ciencia e Ingeniería de materiales*. (7ma ed)

https://www.academia.edu/44577486/Ciencia_e_ingenier%C3%ADa_de_materiales_7a_edici%C3%AD_3%2B3n?bulkDownload>thisPaper-topRelated-sameAuthor-citingThis-citedByThis-secondOrderCitations&from=cover_page

Anderen (2017), *Impact Tester – Portable*, Anderen Limited

<https://www.ceramictestingequipment.co.uk/product.php?product=92>

Buenaño J. (2012). *Estudio del ensayo de impacto y su incidencia en el comportamiento mecánico del acero AISI 8620 mediante la norma ASTM E 23*. [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. Archivo digital.

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/3704/1/Tesis%20I.%20M.%20156%20-%20Buena%C3%B1o%20Barreno%20Jackson%20Wilfrido.pdf>

Bustos Flores, C., (2009). *La producción artesanal*. Visión Gerencial

<https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545880009.pdf>

Costales F. y Olson D., (1983). *Cerámica para escuelas y pequeñas industrias*. México: CECSA.

<https://es.scribd.com/document/706240322/Ceramica-para-escuelas-e-industrias-Costales-y-Olson>

Escuela de Postgrado (S.f.). *Guía sobre los procesos de manufactura*. Postgrado UCSP.

<https://postgrado.ucsp.edu.pe/articulos/que-son-procesos-manufactura/>

E.j. payne ceramic (2018), *Impact Testing (Tableware)*. <https://ejpayne.com/wp-content/uploads/Impact-ASTM.pdf>

Faires, V. M. (1970). Diseño de elementos de máquinas (4^a ed.). Montaner y Simón.

https://www.academia.edu/15429123/Dise%C3%B1o_de_Elementos_de_M%C3%A1quinas_V_M_Faires_4ta_Edici%C3%AD%C3%83n

Figueroa C. (2016). *Ensayo de impacto*. Practica de impacto Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Ingeniería. proyecto PAPIME-PE102421.

http://www.punta.unam.mx/fi_papime_pe102421/pdfs/impacto.pdf

Futiantian Technology Co., Ltd. (s.f.), *Probador de impacto analógico de péndulo, máquina de prueba de resistencia a impactos (haz de apoyo simple)*, Amazon México. <https://www.amazon.com-/es/Probador-impacto-anal%C3%B3gico-resistenciaimpactos/dp/B07HLQSVFW>

Gabbrielli Technology (2005), *Impact test Tableware*. <https://www.gabbrielli.com/prodotto/impact-test-stoviglieria/>

García, E. y Suarez, M. (s.f.) *Las arcillas: propiedades y usos*. [Universidad Complutense (Madrid) y Universidad de Salamanca] <http://www.ingenieroambiental.com/nov/ga.pdf>

Galindo R. (2017). *Arcillas y pastas: clasificación de arcillas*. Rafa Galindo ceramics. https://rafagalindoceramica.com/wp-content/uploads/2019/06/Clasificacion_arcillas.pdf

Gómez E. (2007). *Rediseño de un plasticímetro de K. Pfefferkorn*. [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de la Mixteca]. Archivo digital. http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/10193.pdf

Groover, M. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. McGraw-Hill/Interamericana Editores. https://www.academia.edu/39088227/Fundamentos_de_Manufactura_Moderna_3era_edici%C3%B3n_Mikell_P_Groover

Guillem C. (1988). *Terminología cerámica. BOL.SOC.ESP.CERAM.VIDR.* 27(1988) 2, 89-92. <http://boletines.secv.es/upload/198827089.pdf>

Hispanyt Ceramica para construir. *Proceso de fabricación*. Asociación Española de Fabricantes de Ladrillos y Tejas de Arcilla Cocida. <https://www.hispanyt.es/es/ceramica-para-construir/proceso-de-fabricacion>

ICONTEC (1999), *Vajillería cerámica de uso institucional*, Instituto colombiano de Normas Técnicas y Certificación NTC 916. <https://www.deminimis.com.co/files/ntc-916-vajillas.pdf>

ICONTEC (1999), Instituto colombiano de Normas Técnicas y Certificación. <https://www.icontec.org/quienes-somos/>

Javier y Cristian. (s.f.). *El Gres Materiales de uso técnico*. <https://villalbaestano.wordpress.com/el-gres/>

Jueves 20 De diciembre de 2018 DIARIO OFICIAL (Segunda sección), secretaria de Economía. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/427917/publicaciones_dof_vajillas_201218.pdf

Lotha G. y Tikkanen A. (2011). Gres. CeraWiki. https://ceramica.fandom.com/wiki/Gres#cite_note-pdf-11

Mexpolimeros. (2016). Charpy vs. Izod: una comparación de prueba de impacto. Obtenido de: <https://www.mexpolimeros.com/charpy%20vs%20izod.html>

Morales J. (2012). *Tecnología de los materiales cerámicos*. (Ed), Diaz de santos.

Norma Técnica Colombiana, <https://www.deminimis.com.co/files/ntc-916-vajillas.pdf>

Mott, R. L. (2006). Diseño de elementos de máquinas (4^a ed.). Pearson Educación.

<https://www.udocz.com/apuntes/20762/diseno-de-elementos-de-maquinasy-robert-l-mott-4ta-ed>

Ortega Y. (2006), Prueba de impacto: ensayo Charpy, *Revista mexicana de física, E* 52 (1), 51–57.

<https://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v52n1/v52n1a8.pdf>

Pérez Pérez, Mariana Itzel. (2013). "Vajilla en cerámica con identidad mexicana". (Tesis de Licenciatura).

Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de

<https://repositorio.unam.mx/contenidos/451420>

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: Diccionario de la lengua española, 23.^a ed., [versión 23.6 en línea].<

[https://dle.rae.es/arcilla> \[07 de febrero 2023\].](https://dle.rae.es/arcilla)

Román, J. (2003). *La calidad en los productos del medio rural*. Acciones e Investigaciones Sociales, 18, pp. 191-195, Nov. 2003.

Sánchez Molina, J y DÍAZ GARCÍA, J. (2011). *Introducción a los Hornos utilizados en la industria cerámica tradicional*. Universidad Francisco De Paula Santander.

<https://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/6504>

Sarango, M. (2011). *Estudio de la densificación de una colección de arcillas ecuatorianas en función del tamaño de partículas y de la temperatura de sinterización*. [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. Bibdigital. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3771/1/CD-3552.pdf>

SEREV REAL (s.f.), *ASTM C368 Ceramics Impact Tester*, Made in china connecting buyers with chinese suppliers. <https://wxserverreal.en.made-in-china.com/productimage/UKPJLbQHsZRY-2f1j00URoYEcBKbwgn/China-ASTM-C368-Ceramics-Impact-Tester.html>

Shenzhen Intertek Quality Technology Service Co., Ltd. (2014). 一种陶瓷摆锤冲击测试 [Máquina de prueba de impacto de péndulo cerámico]. Patente CN203606244U. Fecha de publicación: 21 de mayo de 2014. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/CN203606244U/en>

Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales ASTM (1999), Standard Test Method for Impact Resistance of Ceramic Tableware1 (C 368 – 88). <https://www.astm.org/c0368-88r20.html>

Talleres Metalher s.l. (2022). Metales más usados en la industria. Obtenido de:

<https://www.metalher.es/metales-mas-usados/>

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), (1999). Norma Técnica Colombiana NTC 916. *Ceramic tableware for institutional use*. <https://www.deminimis.com.co/files/ntc-916-vajillas.pdf>

Visitmuseum, (s.f). *La cerámica industrial*. Terracotta Museo de Cerámica.

<https://visitmuseum.gencat.cat/es/terracotta-museu-de-ceramica/ambito/la-ceramica-industrial>

Wenger A. (2020). *African Pegmatite*. Mineralmilling. <https://mineralmilling.com/es/diferentes-tipos-de-arcilla-utilizada-en-la-fabricacion-de-ceramica/>

Zea, N., (2008), *Caracterización de las arcillas para la fabricación de ladrillos artesanales*, [Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil], archivo digital. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2549_C.pdf

ANEXOS

Anexo A

Documento completo de la norma ASTM C368-88 empleada como referencia para la propuesta de mejora y evaluación del dispositivo.

This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.



Designation: C368 – 88 (Reapproved 2024)

Standard Test Method for Impact Resistance of Ceramic Tableware¹

This standard is issued under the fixed designation C368; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the following tests:

- 1.1.1 Impact tests at the center of both flatware and hollow ware and at the rim of hollow ware, and
1.1.2 Chipping tests at the rim of flatware. Specimens may be either glazed or unglazed.

NOTE 1—The impact test at the center of the specimen is used to determine: (1) the magnitude of a blow that will produce initial fracture, and (2) the amount of energy necessary to produce complete failure. In the first case, the initial fracture shows on the side of the piece opposite from that being struck and appears to be a function of the square of the thickness and of the inherent brittleness of the body or body-glaze combination; it is relatively independent of the size or design of the specimen. The second factor is more dependent upon design and often is subject to wide variation within a given group of pieces.

NOTE 2—The impact test at the rim of hollow ware is similar to a chipping test, and the type of failure that is obtained is useful in evaluating the effect of the shape of the object.

NOTE 3—In addition to the inherent strength of the body, chipping test results are greatly affected by contour of rim and to a lesser extent by thickness of rim, inclination of leaf, and fit of glaze.

1.2 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard. The values given in parentheses are mathematical conversions to SI units that are provided for information only and are not considered standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.4 *This international standard was developed in accordance with internationally recognized principles on standardization established in the Decision on Principles for the Development of International Standards, Guides and Recommendations issued by the World Trade Organization Technical Barriers to Trade (TBT) Committee.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Adjuncts:*²

ADJC0368 Machine for Testing Chinaware

3. Significance and Use

3.1 The purpose of this test method is to predict product resistance to impact breakage in service.

4. Apparatus

4.1 *Impact Tester, Pendulum Type*—The impact test apparatus (Figs. 1 and 2)² shall consist of a device having the following essential features:

- 4.1.1 A steel tup of specified size and of hardness Rockwell C55,
4.1.2 Support of a tup by a V-suspension,
4.1.3 Provision for a means of release from fixed heights so as to give reproducible results, independent of the operator, and
4.1.4 Provision for holding the test specimen in place by spring clamps against rigid metal supports.

4.2 *Micrometer*—For measuring thickness of test specimens, a micrometer caliper that can be read to 0.001 in. (0.03 mm) shall be used.

5. Test Specimens

5.1 Specimens shall be selected so as to be representative of the lot being sampled. In general, impact tests shall be based on a minimum of ten specimens and chipping tests on at least five specimens. Specimens shall be inspected for soundness and obvious physical defects before testing.

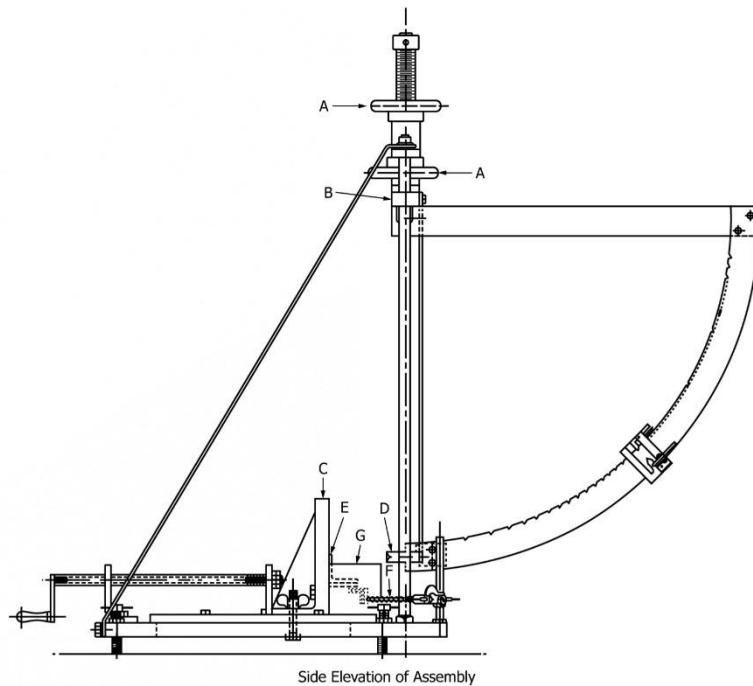
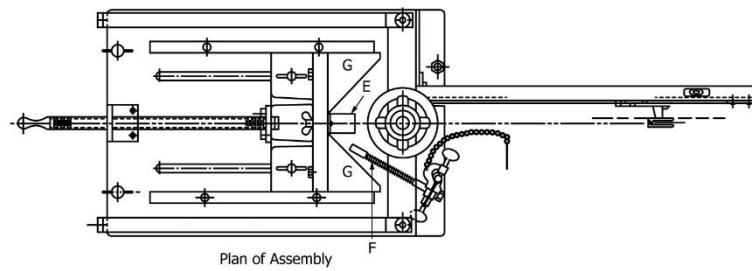
6. Procedure for Impact Testing of Flatware

6.1 Mount the cylindrical tube shown in Fig. 2 (Note 4) on the backstop, C, Fig. 1, and set at a height such that the three ball bearings mounted in the end of the cylindrical tube are in contact and symmetrical with the central portion of the specimen, which shall be stood on edge on the base plate. The specimen may be tested with either the face or the back toward the hammer; in general, a lower failure value is obtained when the face is struck. Adjust the backstop so that the *spherical surface* of the tup, D, just touches the surface of the specimen

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C21 on Ceramic Whitewares and Related Products and is the direct responsibility of Subcommittee C21.03 on Methods for Whitewares and Environmental Concerns.

Current edition approved Aug. 1, 2024. Published August 2024. Originally approved in 1955. Last previous edition approved in 2020 as C368 – 88 (2020). DOI: 10.1520/C0368-88R24.

² Detailed working drawings of the apparatus are available from ASTM International Headquarters. Order Adjunct No. ADJC0368.



A—Handwheels.
B—Pendulum support bar.
C—Backstop.
D—Tup.

E—Angle clamp.
F—Positioning arm.
G—Triangular castings for specimen supports.

FIG. 1 Impact Test Apparatus

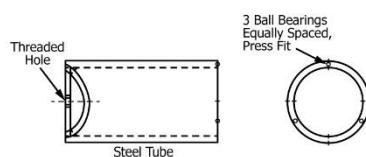


FIG. 2 Tube to Support Flatware Specimen

when the tup is hanging free (vertically). Tighten the two wing nuts at the base of the backstop.

NOTE 4—In this portion of the test, the cylindrical tube replaces the angle clamp, *E*, shown in position on the backstop, *C*, in **Fig. 1**.

6.2 Adjust the positioning arms, *F*, held in retracted position by means of their cotter keys so that the forward edges of the sleeve and of the clamp coincide. Adjust the clamps on the vertical posts to grip the specimen at the same height that the pendulum will strike it; that is, halfway up. Adjust the arms so that the rubber-covered surface at right angles to its rod will contact the rim of the sample; remove the cotter keys to permit the positioning arms to hold the specimen against the cylindrical tube. Adjust the pendulum support bar, *B*, and lock it in position by means of the handwheels, *A*, so that the tup strikes the center of the specimen.

6.3 With the preliminary adjustments completed, subject the specimen to a schedule of impacts starting at 0.02 ft-lbf (0.027 J) and increasing in increments of 0.01 ft-lbf (0.014 J) until initial fracture, and in increments of 0.02 ft-lbf thereafter to failure.

NOTE 5—The tests may be performed rapidly by grasping the portion of the releasing device that lies below the dial segment from beneath with the tip of the middle finger of the right hand and moving it back to the correct notch for the next blow immediately after the tup has been released. Catch the pendulum on the rebound with the left hand, reseat the tip of the tup into the jaws of the releasing clamp controlled by the thumb of the right hand, and repeat the above sequence of operations until failure of the specimen occurs.

7. Procedure for Impact Testing of Hollow Ware at Center

7.1 Follow the same procedure as described for flatware in **Section 6**, except remove the cylindrical tube (**Fig. 2**) and the two triangular castings, *G*, forming the V to permit the rim of the specimen to be in contact with the surface of the backstop. Strike specimens at the center of the back, and allow the positioning arms to contact the specimen at the foot rather than at the rim.

8. Procedure for Impact Testing of Hollow Ware at Rim

8.1 Place the test specimen in the apparatus so that it rests in the V formed by the two triangular prisms bolted to the backstop and is held by means of the angle clamp, *E*, resting lightly on the rim and by the two positioning arms adjusted so that their lines of pressure are exerted radially and also so that they exert no appreciable downward pressure on the rim. With tups, the handle should be kept out of contact with the apparatus. Adjust the backstop so that the eventual point of contact on the rim is in the same vertical plane as the spherical striking surface of the tup; tighten the wingnuts.

8.2 Adjust the height of the pendulum support bar so that the contact between the rim of the specimen and the end of the tup is at the center of the *spherical surface* of the tup.

8.3 With the preliminary adjustments completed, subject the specimen to a series of impacts starting at 0.02 ft-lbf (0.027 J) and increasing in increments of 0.01 ft-lbf (0.014 J). A straight crack or a symmetrical bow crack will ordinarily result if this test is performed properly.

9. Procedure for Chipping Test³

9.1 Place the test specimen in the apparatus as described in **8.1**, except use the *cylindrical end* of the tup as the striking surface and move the sleeves of the positioning arms forward in their clamps so that the back edges of each sleeve and its clamp coincide.

9.2 Adjust the pendulum support bar and lock it in position by means of the handwheels so that the center of the tup surface contacts the edge of the specimen.

9.2.1 Repeatedly strike rolled-edge specimens on the edge with the cylindrical end of the hammer with blows of increasing force until failure occurs, beginning with an initial blow of 0.10 ft-lbf (0.136 J) and increasing the force of each succeeding blow in the increments of 0.02 ft-lbf (0.027 J).

9.2.2 Test plain-edge specimens as described in **9.2.1**, except that the initial blow shall be 0.02 ft-lbf (0.027 J) with an increment of 0.01 ft-lbf (0.014 J).

10. Calculation

10.1 Calculate the strength factor for flatware tested for impact, as follows:

$$S = 12I/t^2 \quad (1)$$

where:

S = strength factor, psi,

I = average impact to produce initial fracture, ft-lbf, and

t = average thickness of specimens at point of impact, in.

11. Report

11.1 Report the following information:

11.1.1 Designation of the material tested, including information on type, shape, and whether glazed or unglazed,

11.1.2 Method of selection of specimens,

11.1.3 Identification of type of apparatus used, and

11.1.4 Data sheet showing:

11.1.4.1 Form and essential dimensions of a representative test specimen,

11.1.4.2 Test schedule used, that is, initial impact energy and subsequent increments,

11.1.4.3 Individual and average impact energies to produce initial fracture,

11.1.4.4 Thicknesses of specimens at points of impact and an average thereof,

11.1.4.5 For flatware, strength factor calculated from average impact energies and thicknesses of specimens (**Section 10**),

11.1.4.6 Individual and average impact energies to produce failure and descriptions of types of failure,

11.1.4.7 Chipping failure values and type of chip from each location of each specimen and average of all failure values, and

11.1.4.8 Representative rim thickness.

11.2 The report may also include:

11.2.1 Brief statement of observed differences, if any, among specimens of unusual characteristics.

³ See Federal Specification M-C-301, China Tableware, available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094 Attn: NPODS.

11.2.2 Inspector's opinion as to whether ware has passed or failed in respective tests.

13. Keywords

13.1 ceramic tableware; impact resistance

12. Precision and Bias

12.1 No justifiable statements can be made either on the precision or bias of this test method since the test result merely states whether there is conformance to the criteria for acceptance specified in this test method.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), or through the ASTM website (www.astm.org/contact). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the Copyright Clearance Center, 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923, Tel: (978) 646-2600; <http://www.copyright.com/>

Anexo B

En este anexo se presenta la descripción completa de los criterios de calificación asignados a cada componente de los dispositivos analizados en la matriz de selección.

Tabla B1

Asignación de puntajes

No.	Nombre del componente	Descripción
1	Base	E.J. Payne y Gabbrielli presentan una base rectangular de acero (3 pts.), mientras que Great Safe incluye una muesca que permite el desplazamiento del péndulo, lo que mejora su funcionalidad (4 pts.).
2	Poste vertical	Los tres dispositivos presentan una estructura vertical similar en forma y posición, con diferencias menores en grosor y altura (4 pts.).
3	Placas guía	Todos cuentan con placas guía que permiten el desplazamiento del soporte trasero (4 pts.).
4	Poste para brazo de posicionamiento	Los tres dispositivos presentan postes ubicados correctamente y con dimensiones similares (4 pts.).
5	Tornillo nivelador	E.J. Payne y Gabbrielli presentan una estructura simple similar a un tornillo (3 pts..), mientras que el de Great Safe es más robusto y con diseño distinto (1 pt.).
6	Segmento marcado	E.J. Payne y Gabbrielli tienen un segmento en forma de cuarto de círculo (4 pts.), mientras que Great Safe lo sustituye por una barra curvada, conservando la funcionalidad (4 pts.).
7	Soporte para dial	E.J. Payne y Gabbrielli carecen de esta pieza por un diseño estructural distinto (1 pt), mientras que Great Safe sí la incorpora (4 pts.).
8	Dispositivo de péndulo	E.J. Payne y Gabbrielli utilizan soportes básicos y distintos a los de la norma (1 pt), mientras que Great Safe cuenta con un soporte rectangular con pinzas, más cercano al diseño referencial (4 pts.).
9	Base del soporte para el péndulo	Los tres dispositivos incluyen esta pieza rectangular, aunque varían en grosor (4 pts.).
10	Manivela	E.J. Payne y Gabbrielli emplean manivelas de diseño circular tipo plato (2 pts.), mientras que Great Safe se asemeja más a una manivela comercial (3 pts.).
11	Soporte de manivela	E.J. Payne y Gabbrielli integran el soporte como parte de la manivela (3 pts.), mientras que Great Safe presenta una estructura independiente y definida (4 pts.).
12	Tornillo de avance vertical	Los tres dispositivos cuentan con un tornillo roscado funcional, aunque con menos accesorios que los planos de referencia (2 pts.).
13	Tirantes	E.J. Payne y Gabbrielli ubican los tirantes en los costados (2 pts.), mientras que Great Safe mantiene la posición referencial (4 pts.).
14	Tornillo de avance horizontal	E.J. Payne y Gabbrielli presentan manivelas en forma de "L", similares al diseño original (4 pts.), mientras que Great Safe utiliza una manivela circular (3 pts.).
15	Soporte en "L" del tornillo de avance horizontal	Todos presentan un soporte cúbico que difiere del diseño original en "L" (1 pt.).

16	Soporte del tornillo de avance horizontal	Los tres dispositivos tienen una placa de sujeción anclada al soporte trasero (3 pts.).
17	Soporte trasero	E.J. Payne y Gabbielli presentan un diseño recto con muescas laterales (3 pts.), mientras que el de Great Safe es curvo y más cercano al plano (4 pts.).
18	Tornillo de máquina y tuerca de mariposa	E.J. Payne y Gabbielli carecen de estas piezas (1 pt), mientras que Great Safe las incluye, con diferencias en el diseño del mango (3 pts.).
19	Tornillo mariposa	Los tres dispositivos cuentan con esta pieza, con ligeras diferencias en el mango (3 pts.).
19. A	Soporte angular	E.J. Payne y Gabbielli no incluyen esta pieza, reemplazada por otra alternativa (1 pt), mientras que Great Safe sí la conserva (4 pts.).
19. B	Tubo de acero	E.J. Payne y Gabbielli presentan un diseño diferente que cumple la misma función (3 pts.), mientras que Great Safe solo presenta un aumento en tamaño (4 pts.).
20	Prisma triangular	E.J. Payne y Gabbielli sustituyen esta pieza por formas cilíndricas (1 pt), mientras que Great Safe conserva el prisma triangular (4 pts.).
21	Tup	E.J. Payne y Gabbielli muestran diferencias en la forma del agarre (3 pts.), mientras que Great Safe es más fiel al diseño referencial (4 pts.).
22	Montura del Tup	Los tres dispositivos presentan un diseño similar en esta pieza (4 pts.).
23	Acero especial	E.J. Payne y Gabbielli carecen de esta pieza debido a un mecanismo distinto (1 pt), mientras que Great Safe sí la incorpora (4 pts.).
24	Suspensión del Tup	Todos presentan una cinta metálica para sostener el Tup, acorde al diseño (4 pts.).
25	Suspensión del Tup (Rodamiento)	Esta pieza está presente en los tres dispositivos (4 pts.).
26	Brazo de posicionamiento	E.J. Payne y Gabbielli presentan diferencias en la sujeción (3 pts.), mientras que Great Safe mantiene fidelidad al diseño referencial (4 pts.).

Fuente: Elaboración propia (2024)

Anexo C

ADJC0368 - Complemento del método de prueba C368 para la resistencia al impacto de la vajilla de cerámica. Máquina de impacto para probar vajilla de porcelana: 4 dibujos detallados (17 por 11 pulgadas y 26 por 17 pulgadas) para ensamblar aparatos de prueba.

Figura C 1
Plano 1 ADJC0368

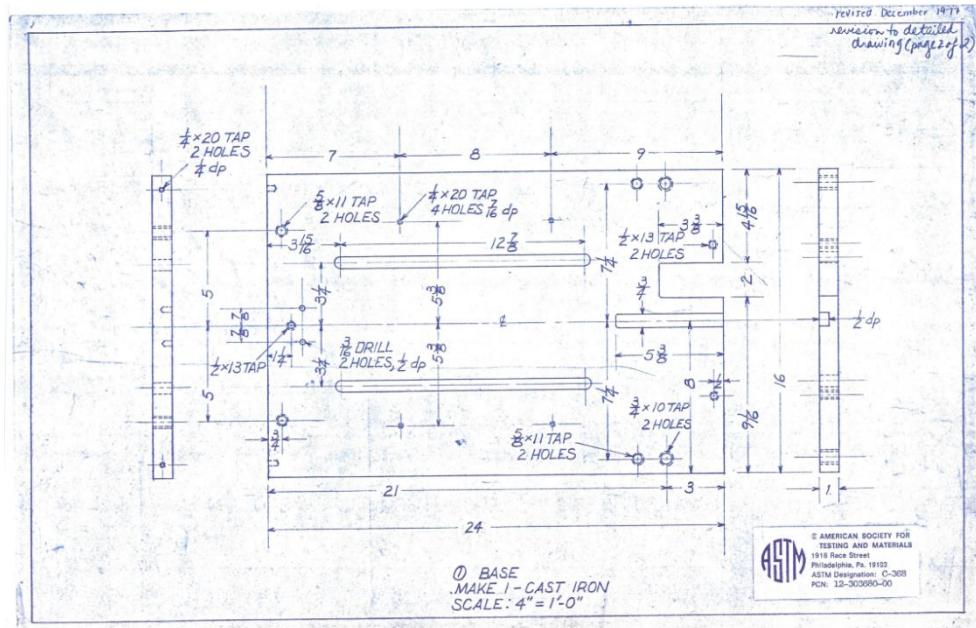


Figura C 2
Plano 2 ADJC0368

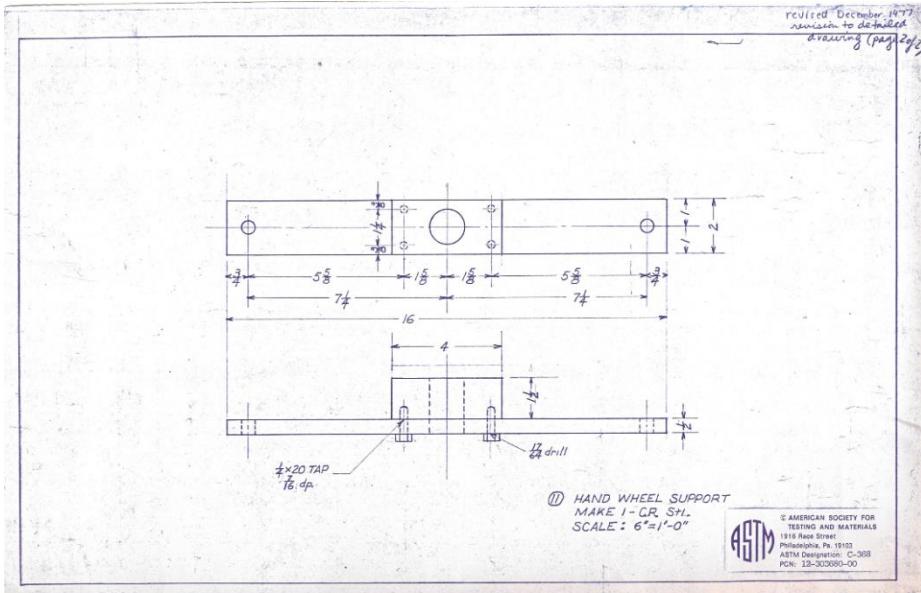


Figura C 3
Plano 3 ADJC0368

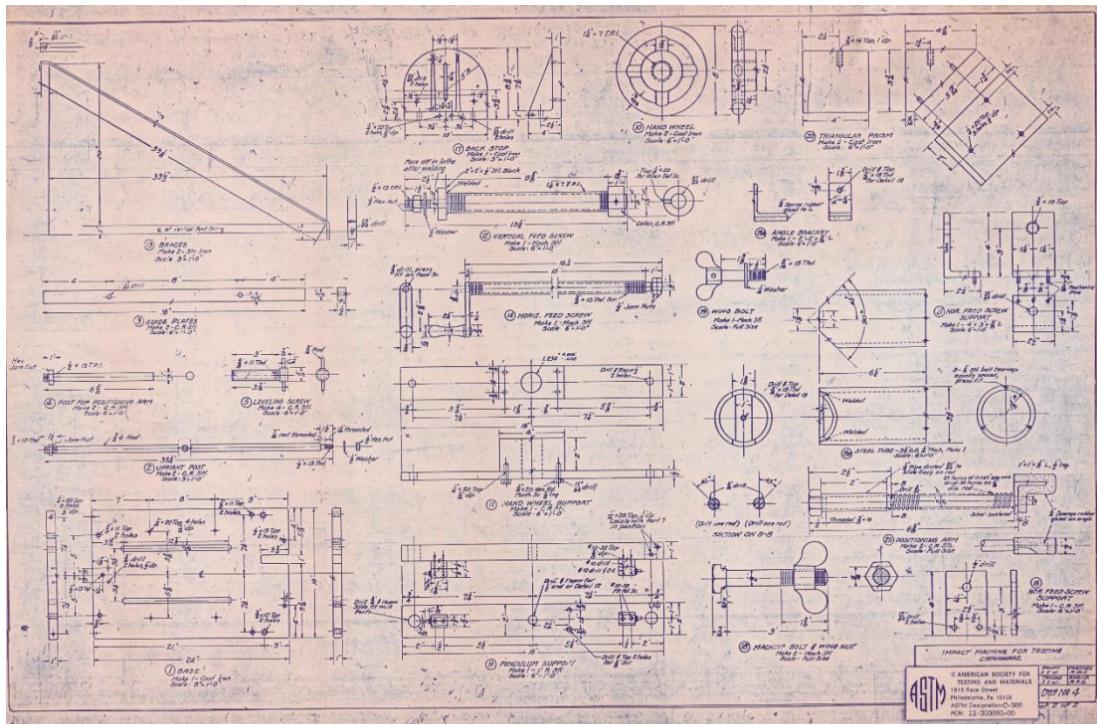
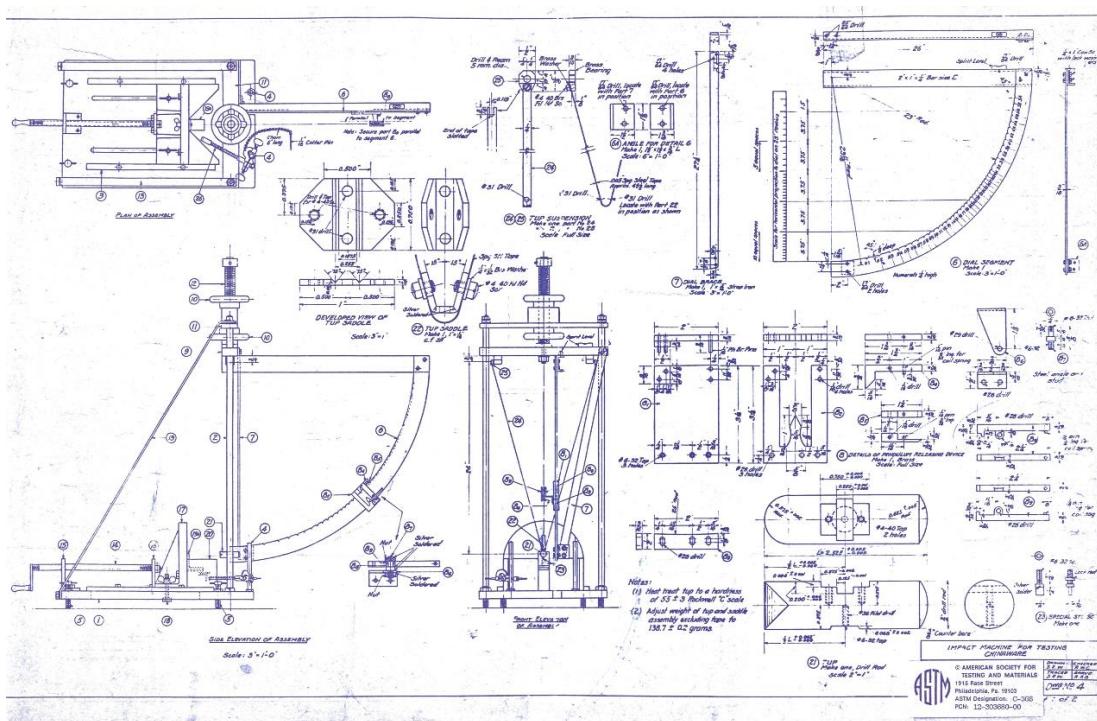


Figura C 4
Plano 4 ADJC0368

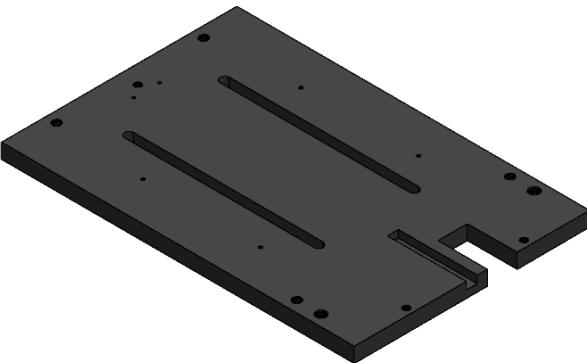


Anexo D

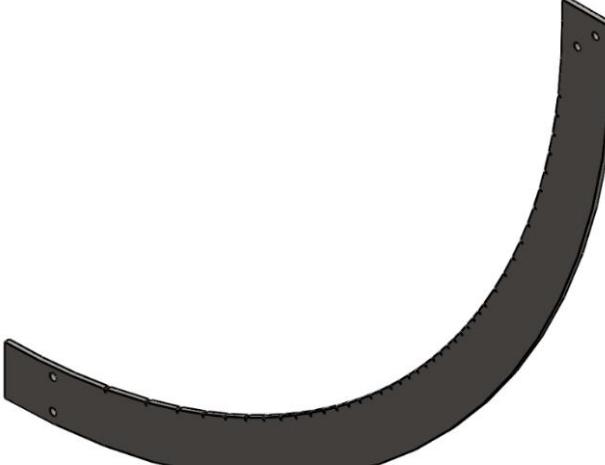
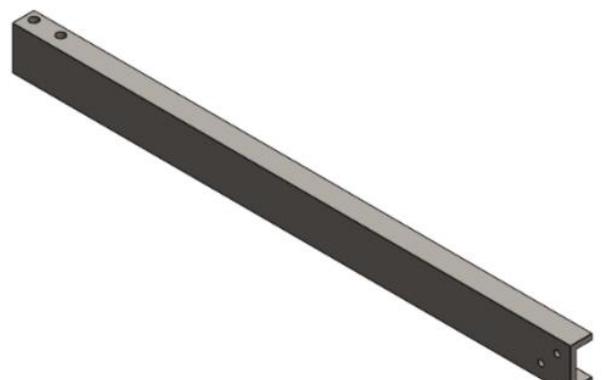
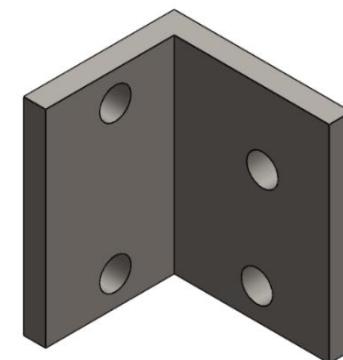
Modelado y análisis de piezas a partir de planos referenciales: tablas con la información técnica de cada componente modelado en CAD, que incluyen dimensiones, materiales sugeridos, peso estimado, procesos de manufactura e interacciones con otros elementos.

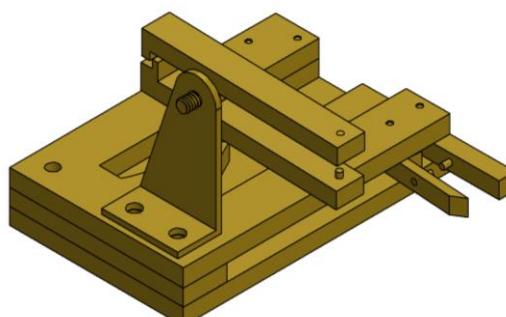
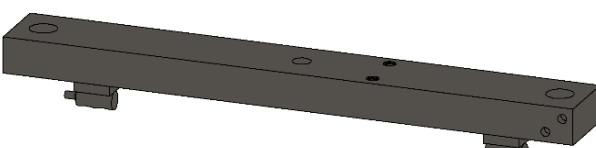
Tabla D

Detalles técnicos de las piezas de referencia modeladas

No. de pieza: 1	Nombre: Base	Material: Hierro colado								
		<p>Dimensiones (in): 24 x 16 x 1</p> <p>Peso: 41.94 kg</p> <p>No. de componentes directos: 17 Piezas: (2) poste vertical, (3) placas guías, (4) poste para brazo de posicionamiento, (5) tornillo nivelador, (20) prisma triangular, (17) soporte trasero, (18) tuerca de mariposa, (15) soporte en L y (16) soporte del tornillo de avance horizontal.</p>								
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fresado de desbaste</td><td>4</td></tr> <tr> <td>Roscado interior</td><td>15</td></tr> <tr> <td>Perforado</td><td>17</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Fresado de desbaste	4	Roscado interior	15	Perforado	17
Procesos	No. de veces									
Fresado de desbaste	4									
Roscado interior	15									
Perforado	17									
No. de pieza: 2	Nombre: Poste vertical	<p>Material: AISI 1045 Acero estirado en frio</p>								
		<p>Dimensiones (in): $\frac{3}{4} \times 35 \frac{1}{4}$</p> <p>Peso: 1.94 Kg</p> <p>No. de componentes directos: 4 Componentes: (1) Base, (9) Base del soporte para el péndulo, (11) Soporte de manivela y (13) Tirantes.</p> <p>Herrajes: Tuerca hexagonal $\frac{1}{2} - 13$, tuerca de seguridad $\frac{3}{4} - 10$ y arandela $\frac{1}{2}$</p>								
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Roscado exterior en torno</td><td>4</td></tr> <tr> <td>Torneado</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Roscado exterior en torno	4	Torneado	2		
Procesos	No. de veces									
Roscado exterior en torno	4									
Torneado	2									

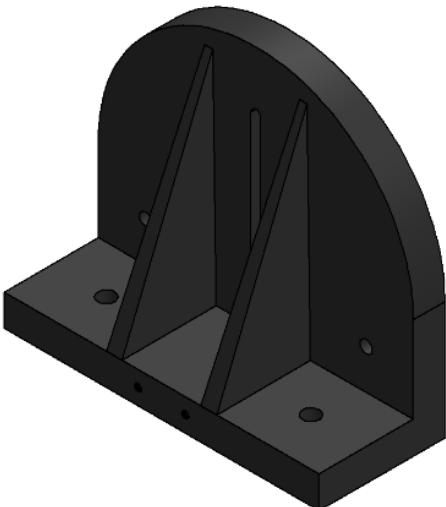
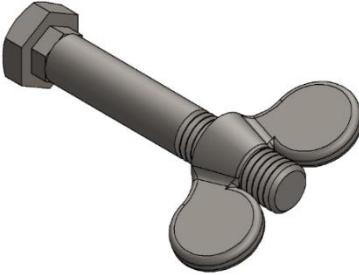
No. de pieza: 3	Nombre: Placas guía	Material: AISI 1035
		Dimensiones (in): 16 x 0.75 x 0.5 Peso: 0.76 kg
		No. de componentes directos: 4 Componentes: (1) Base, (17) Soporte trasero y (20) Prisma triangular derecho e izquierdo
		Herrajes: Tornillo $\frac{1}{4}$ – 20
		Procesos No. de veces
		Perforado 4
No. de pieza: 4	Nombre: Poste para posicionar el brazo	Material: AISI 1020 Acero laminado en frio
		Dimensiones (in): $\frac{1}{2} \varnothing 6 \frac{5}{8}$ Peso: 0.16 kg
		No. de componentes directos: 3 Componentes: (1) base y (27) prensa para posicionar
		Herrajes: Tuerca de seguridad hexagonal $\frac{1}{2}$ - 13
		Procesos No. de veces
		Roscado exterior en torno 2
No. de pieza: 5	Nombre: Tornillo de nivelación	Material: AISI 1045 Acero estirado en frio
		Dimensiones (in): $\frac{3}{4} \varnothing x 3 \frac{7}{16}$ Peso: 0.13 kg c/u
		No. de componentes directos: 1 Componentes: (1)Base
		Procesos No. de veces
		Cortes 4
		Roscado exterior en torno 4
		Perforado 4

No. de pieza: 6	Nombre: Segmento graduado	Material: AISI 1010								
		<p>Dimensiones (in): $39.2 \times 2 \times \frac{3}{16}$</p> <p>Peso: 1.85kg</p> <p>No. de componentes directos: 4 Componentes: (8) Instrumento del péndulo y (6) segmento marcado (barra en "C") y (6.A) segmento marcado (ángulo)</p> <p>Herrajes: Tornillos $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{5}{8}$, $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$, contratuercas $\frac{1}{4} - 28$ y arandela de seguridad $\frac{1}{4}$</p>								
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th> <th>No. de veces</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corte por cizallamiento</td> <td>42</td> </tr> <tr> <td>Corte por laser</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Perforado</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Corte por cizallamiento	42	Corte por laser	1	Perforado	4
Procesos	No. de veces									
Corte por cizallamiento	42									
Corte por laser	1									
Perforado	4									
No. de pieza: 6	Nombre: Segmento graduado (barra en "C")	<p>Material: AISI 1010</p> <p>Dimensiones (in): $2 \times 1 \times \frac{1}{4}$</p> <p>Peso: 2.92kg</p> <p>No. de componentes directos: 4 Componentes: (9) Base del soporte para el péndulo y (6) segmento marcado</p> <p>Herrajes: Tornillos $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$, $\frac{3}{8} - 24 \times 1 \frac{3}{4}$ y tuercas $\frac{1}{4} - 28$ y $\frac{3}{8} - 24$ y arandela $\frac{1}{4} - 28$</p>								
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th> <th>No. de veces</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Perforado	4				
Procesos	No. de veces									
Perforado	4									
No. de pieza: 6	Nombre: Segmento graduado	<p>Material: AISI 1010</p> <p>Dimensiones (in): $1 \frac{1}{2} \times 1 \frac{3}{16} \times 1 \frac{5}{8}$</p> <p>Peso: 0.104 kg</p> <p>No. de componentes directos: 2 Componentes: (6) segmento graduado y (7) Soporte del segmento graduado</p> <p>Herrajes: Tornillos; $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$, $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{5}{8}$ y contratuercas $\frac{1}{4} - 28$</p>								
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th> <th>No. de veces</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>Corte mecánico</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Perforado	4	Corte mecánico	1		
Procesos	No. de veces									
Perforado	4									
Corte mecánico	1									

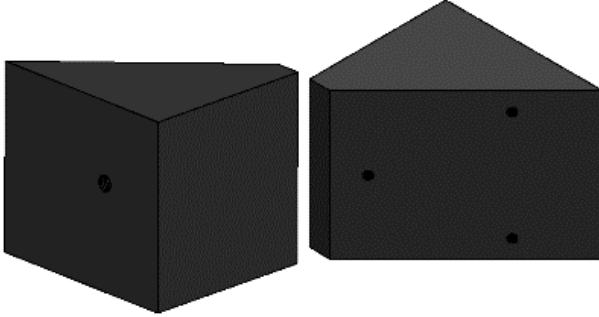
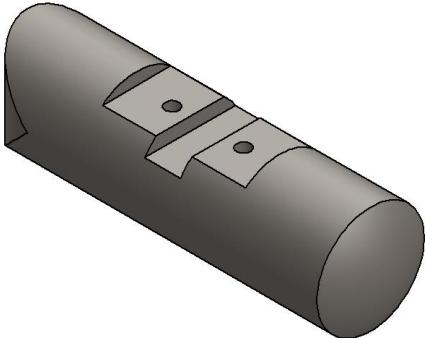
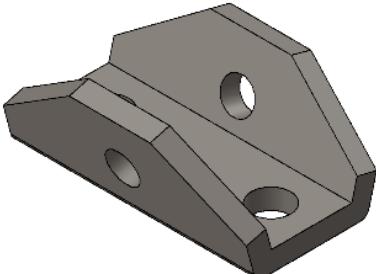
No. de pieza: 7	Nombre: Soporte del segmento graduado	Material: AISI 1010
		Dimensiones (in): $27\frac{1}{4} \times 1 \times \frac{5}{16}$ Peso: 1.08 kg
		No. de componentes directos: 2 (6) segmento graduado y (9) Base del soporte para el péndulo
		Herrajes: Tornillo de cabeza hueca abombada $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{1}{4}$, tornillo, $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$ y contratuerca $\frac{1}{4} - 28$
		Procesos No. de veces
		Corte mecánico 2
		Perforado 4
No. de pieza: 8	Nombre: Instrumento del péndulo	Material: Latón
		Dimensiones (in): $3\frac{1}{5} \times 3\frac{1}{16} \times 2\frac{1}{8}$ aproximadamente Peso: 0.37 kg
		No. de componentes directos: 2 Componentes: (6) segmento graduado y (21) tup
		Herrajes: Tornillos #6 - 32 $\times \frac{5}{8}$ y Tuerca hexagonal #8 - 32 y #6 - 32
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 8
		Roscado interior 3
		Perforado 25
No. de pieza: 9	Nombre: Soporte para el péndulo	Material: AISI 1020 laminado en frio
		Dimensiones (in): $16 \times 2 \times 2$ Peso: 4.1 kg
		No. de componentes directos: 7 (2) Poste vertical, (6) Segmento graduado, (7) Soporte del segmento graduado, (12) Tornillo de avance vertical y Suspensión del tup (Rodamiento)
		Herrajes: Tornillo $\frac{3}{8} - 24 \times 1\frac{3}{4}$, Tornillo con cabeza hueca avellanada #10 - 32 $\times 1\frac{3}{8}$ y Tornillo de cabeza hueca abombada $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{1}{4}$
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 2
		Roscado interior 8
		Perforado 11

No. de pieza: 10	Nombre: Manivela	Material: Hierro colado	
		Dimensiones (in): $5 \times 5 \times 1\frac{1}{2}$ Peso: 1.43 kg No. de componentes directos: 3 Piezas: (11) Soporte de manivela y (12) Tornillo de avance vertical Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$	
		Procesos	No. de veces
		Roscado interior	1
		Perforado	1
No. de pieza: 11	Nombre: Soporte para manivela	Material: AISI 1020 laminado en frio	
		Dimensiones (in): $16 \times 2\frac{1}{2} \times 2$ Peso: 3.68 kg No. de componentes directos: 6 Piezas: (2) Poste vertical, (10) Manivela y (13) Tirantes Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$	
		Procesos	No. de veces
		Roscado interior	4
		Perforado	7
No. de pieza: 12	Nombre: Tornillo de avance horizontal	Material: AISI 4340 Acero recocido	
		Dimensiones (in): $13\frac{1}{2} \times 1\frac{7}{8} \emptyset$ Peso: 1.95 kg No. de componentes directos: 5 Piezas: (9) Base del soporte para el péndulo, (10) Manivela y (11) Soporte de manivela Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$	
		Procesos	No. de veces
		Roscado exterior en torno	2
		Perforado	1
		Torneado	2
		Fresado de desbaste	2

No. de pieza: 13	Nombre: Tirantes	Material: AISI 1010
		Dimensiones (in): $42 \times 1 \times \frac{1}{4}$ aproximadamente
		Peso: 1.34 kg
		No. de componentes directos: 4 Piezas: (1) Base, (2) Poste vertical y (11) Soporte de manivela
		Herrajes: Tornillo de $\frac{1}{4} - 20 \times \frac{1}{4}$, tuercas y arandela de $\frac{1}{2} - 13$
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 2
		Doblado 4
		Perforado 2
No. de pieza: 14	Nombre: Tornillo de avance horizontal	Material: AISI 1045
		Dimensiones (in): $18\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \times \frac{3}{4}$
		Peso: 0.88 kg
		No. de componentes directos: 2 Piezas: (15) Soporte en "L" del tornillo de avance horizontal y (16) Soporte del tornillo de avance horizontal
		Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 1
		Roscado exterior en torno 1
		Perforado 2
		Torneado 3
No. de pieza: 15	Nombre: Soporte en "L" del tornillo de avance horizontal	Material: AISI 1020
		Dimensiones (in): $4 \times 3 \times \frac{3}{8} L$
		Peso: 0.68 kg
		No. de componentes directos: 2 Piezas: (1)Base y (14) Tornillo de avance horizontal
		Herrajes: Tornillo $\frac{1}{2} - 13$ y pernos $\frac{3}{4}$
		Procesos No. de veces
		Roscado interior 1
		Perforado 4

No. de pieza: 16	Nombre: Soporte del tornillo de avance horizontal	Material: AISI 1020 laminado en frio
		Dimensiones (in): $4 \times 2 \frac{1}{2} \times \frac{3}{8}$ Peso: 0.47 kg No. de componentes directos: 2 Piezas: (1)Base y (14) Tornillo de avance horizontal Herrajes: Tornillo $\frac{1}{4} - 20$
No. de pieza: 17	Nombre: Tope posterior	Material: Hierro colado
		Dimensiones (in): $4 \times 3 \times \frac{3}{8} L$ Peso: 13.35 kg No. de componentes directos: 13 Componentes: (1) Base, (3) Placas guía , (16) Soporte del tornillo de avance horizontal, (18) Tornillo de máquina y tuerca de mariposa, (19) Tornillo mariposa, (19.A) Soporte angular , (19.B) Tubo de acero y (20) Prisma triangular derecho e izquierdo Herrajes: Tornillo $\frac{1}{4} - 20$
No. de pieza: 18	Nombre: Tornillo de máquina y tuerca de mariposa	Material: Acero ASTM A36
		Dimensiones (in): $3 \frac{7}{16} \times 2 \frac{3}{16} \times \frac{3}{4}$ Peso: 136.27 g No. de componentes directos:2 Piezas: (1)Base y (17) Soporte trasero Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$
		Procesos No. de veces Fresado de desbaste 1 Roscado interior 2 Perforado 6
		Procesos No. de veces Fresado de desbaste 2 Roscado 1 Perforado 1 Torneado 2

No. de pieza: 19	Nombre: Tornillo mariposa	Material: Acero ASTM A36
		Dimensiones (in): $2 \times 1\frac{3}{8} \times \frac{1}{2}$
		Peso: 28.96 g
		No. de componentes directos: 3 Piezas: (17) Tope posterior , (19.A) Soporte angular , (19.B) Tubo de acero
		Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste Varios
		Roscado 1
		Torneado 1
No. de pieza: 19.A	Nombre: Soporte angular	Material: AISI 1010
		Dimensiones (in): $2 \times 1\frac{3}{4} \times 1\frac{3}{8}$
		Peso: 120.73 g
		No. de componentes directos: 2 Piezas: (17) Soporte trasero y (19) Tornillo mariposa
		Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$
		Procesos No. de veces
		Corte mecánico 1
		Roscado interior 1
		Perforado 1
No. de pieza: 19.B	Nombre: Tubo de acero	Material: AISI 1010
		Dimensiones (in): $6\frac{1}{2} \times 3\frac{1}{2} \emptyset$
		Peso: 2.09 kg
		No. de componentes directos: 2 Piezas: (17) Soporte trasero y (19) Tornillo mariposa
		Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 1
		Corte mecánico 1
		Roscado interior 1
		Perforado 1

No. de pieza: 20	Nombre: Prisma triangular	Material: Hierro colado
		Dimensiones (in): $4 \times 3\frac{3}{4} \times 4$ Peso: 4.3 kg c/u
		No. de componentes directos: 4 Piezas: (1)Base, (3) Placas guía y (17) Soporte trasero
		Herrajes: $\frac{1}{4} - 28 \times \frac{3}{4}$
		Procesos No. de veces
	Roscado interior	2
	Perforado	8
No. de pieza: 21	Nombre: Tup	Material: Acero ASTM A36
		Dimensiones (in): $2.525 \times \frac{3}{4} \times \frac{3}{4}$ Peso: 129.66 g
		No. de componentes directos: 2 Piezas: (22) Montura del Tup y (23) Tornillo especial de acero
		Herrajes: #4-40 $\times \frac{5}{16}$
		Procesos No. de veces
	Fresado de desbaste	3
	Roscado interior	3
	Perforado	3
No. de pieza: 22	Nombre: Montura del Tup	Material: 1023 chapa de acero al carbono
		Dimensiones (in): $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{3}$ Peso: 3.98 g
		No. de componentes directos: 2 Piezas: (21) Tup y (24) Montura del Tup
		Herrajes: #4-40 $\times \frac{5}{16}$, #4-40 $\times \frac{3}{8}$ y
		Procesos No. de veces
	Fresado de desbaste	4
	Roscado interior	2
	Perforado	4
	Soldadura	2

No. de pieza: 23	Nombre: Tornillo especial de acero	Material: Acero ASTM A36
		Dimensiones (in): $\frac{5}{8} \times \frac{1}{4} \times \frac{1}{4}$ aproximadamente
		Peso: 1.35 g
		No. de componentes directos: 2
		Piezas: (21) Tup y (8) Instrumento del péndulo
		Herrajes: Contratuerca #6-32
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 1
		Roscado exterior 1
		Soldadura 1
No. de pieza: 24	Nombre: Suspensión del Tup	Material: AISI 1010
		Dimensiones (in): $49 \times \frac{1}{2} \times 0.0055$
		Peso: 7.88 g
		No. de componentes directos: 2
		Piezas: (22) Montura del Tup y (25) Montura del Tup (rodamiento)
		Herrajes: Tornillo #4 – 40 x $\frac{3}{16}$ y
		Arandela de goma $\frac{1}{4} \times \frac{1}{32}$
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 2
		Perforado 2
No. de pieza: 25	Nombre: Montura del Tup (rodamiento)	Material: Latón
		Dimensiones (in): $\frac{5}{8} \times \frac{1}{2} \times \frac{13}{16}$
		Peso: 5.61 g c/u
		No. de componentes directos: 2
		Piezas: (9) Soporte para el péndulo y (24) Montura del Tup
		Herrajes: Tornillo #4 – 40 x $\frac{3}{16}$
		Procesos No. de veces
		Roscado interior 1
		Perforado 2

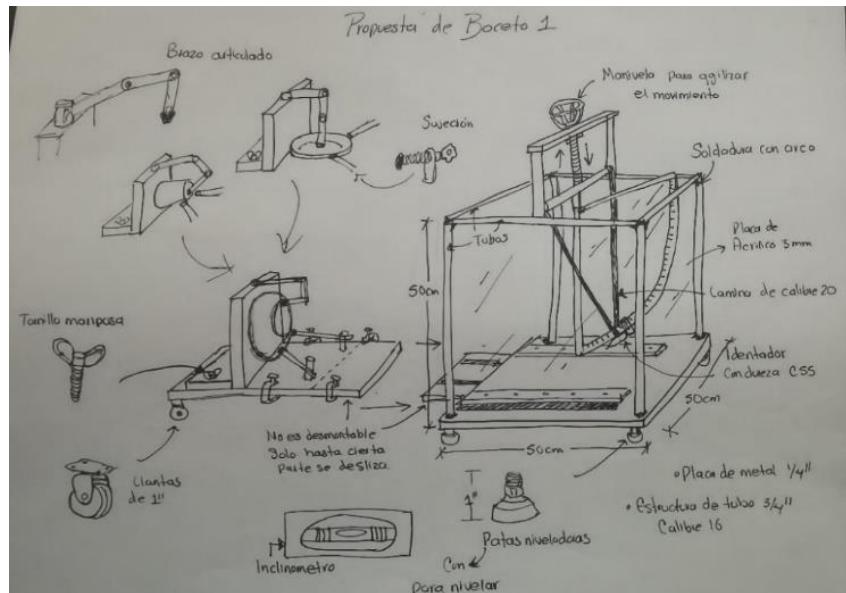
Fuente: Elaboración propia (2023)

Anexo E

Se presentan los bocetos preliminares del dispositivo, desarrollados con base en criterios funcionales de productos similares en el mercado, elaborados antes de contar con los planos oficiales.

Figura E1

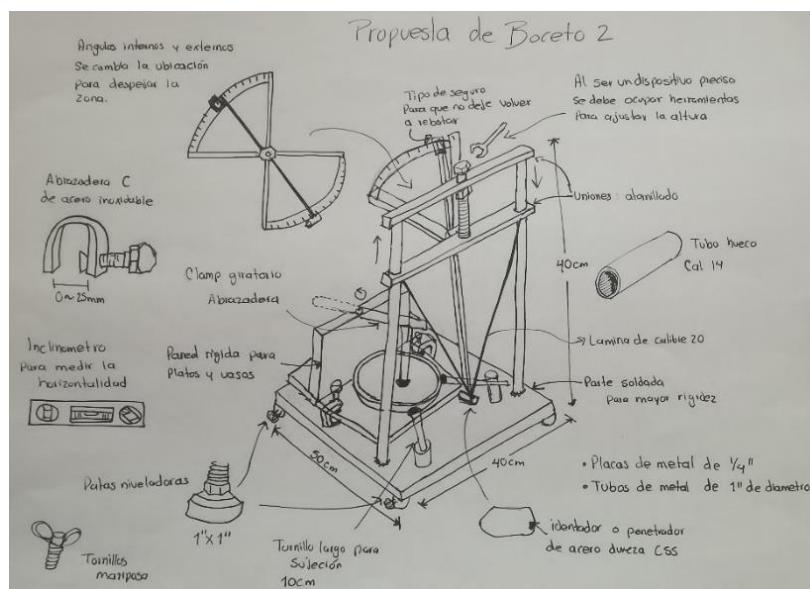
Boceto uno



Fuente: Elaboración propia (2023).

Figura E2

Boceto dos



Fuente: Elaboración propia (2023).

Anexo F

Datos generados para calcular la energía cinética con la formula básica $E_C = mgh$, además de cada posición (grados) indicada en los planos.

Grados θ	Radianes θ	$h = L(1-\cos(\theta))$ (metros)	$E = mgh$ (Joules)	$E = mgh$ (ft lbf)
10.36	0.1808	0.0100	0.0136	0.0100
14.67	0.2560	0.0200	0.0272	0.0201
17.99	0.3140	0.0300	0.0408	0.0301
20.81	0.3632	0.0400	0.0544	0.0401
23.3	0.4067	0.0500	0.0681	0.0502
25.55	0.4459	0.0600	0.0816	0.0602
27.64	0.4824	0.0700	0.0952	0.0702
29.59	0.5164	0.0800	0.1088	0.0803
31.43	0.5486	0.0900	0.1224	0.0903
33.18	0.5791	0.1000	0.1361	0.1003
34.85	0.6082	0.1100	0.1497	0.1104
36.45	0.6362	0.1200	0.1633	0.1204
37.93	0.6620	0.1296	0.1763	0.1300
39.49	0.6892	0.1400	0.1905	0.1405
40.94	0.7145	0.1500	0.2041	0.1505
42.34	0.7390	0.1600	0.2177	0.1605
43.71	0.7629	0.1700	0.2313	0.1706
45.05	0.7863	0.1800	0.2449	0.1806
46.35	0.8090	0.1900	0.2585	0.1906
47.63	0.8313	0.2000	0.2721	0.2007
48.89	0.8533	0.2101	0.2858	0.2108
50.12	0.8748	0.2201	0.2994	0.2208
51.33	0.8959	0.2301	0.3131	0.2309
52.51	0.9165	0.2400	0.3266	0.2409
53.68	0.9369	0.2501	0.3402	0.2509
54.83	0.9570	0.2600	0.3538	0.2609
55.97	0.9769	0.2701	0.3675	0.2710
57.09	0.9964	0.2801	0.3811	0.2811
58.19	1.0156	0.2900	0.3946	0.2910
59.29	1.0348	0.3001	0.4083	0.3011
61.41	1.0718	0.3198	0.4352	0.3209
63.54	1.1090	0.3400	0.4627	0.3412
65.61	1.1451	0.3601	0.4899	0.3613
67.65	1.1807	0.3801	0.5172	0.3814
69.65	1.2156	0.4000	0.5443	0.4014
71.63	1.2502	0.4200	0.5715	0.4215
73.59	1.2844	0.4401	0.5988	0.4416
75.53	1.3182	0.4601	0.6260	0.4617
77.45	1.3518	0.4801	0.6532	0.4817
79.36	1.3851	0.5001	0.6804	0.5018
81.25	1.4181	0.5200	0.7076	0.5218
83.13	1.4509	0.5400	0.7347	0.5418

Fuente: Elaboración propia (2024).

Anexo G

En las siguientes tablas se muestra una comparación del nombre de cada componente y el número de piezas de cada uno, dividido por su respectivo subensamble.

Tabla G1

Estructura de soporte

Versión ASTM C368			Propuesta		
Estructura de soporte					
No.	Nombre	No. de piezas	No.	Nombre	No. de piezas
1	Base	1	1	Base	1
2	Poste vertical	2	2	Postes verticales	2
4	Tornillo nivelador	4	3	Brazos de soporte	2
2	Tirantes	2	4	Niveladores	4
11	Soporte de manivela	1	5	Soporte del mecanismo vertical	1
Total		10	Total		10

Tabla G2

Mecanismo medidor de impacto

Versión ASTM C368			Propuesta		
Mecanismo medidor de impacto					
No.	Nombre	No de piezas	No.	Nombre	No de piezas
6	Segmento graduado	3	6	Dial (segmento marcado)	1
7	Soporte para dial	1	7	Soporte en L del dial	1
8	Dispositivo de péndulo	11	8	Soporte en J del dial	1
9	Base del soporte para el péndulo	5	9	Angulo del Dial	1
21	Tup	1	10	Soporte del mecanismo medidor de impacto	1
22	Montura del Tup	1	11	Angulo de suspensión	2
23	Acero especial	1	12	Ajustador	3
24	Suspensión del Tup	2	13	Rodamiento del péndulo	2
25	Suspensión del Tup (rodamiento)	2	14	Pasador de horquilla	2
Total		27	15	Suspensión en V	1
			16	Montura del Tup	1
			17	Cabezal C55 (Tup)	1
			Total		17

Tabla G3*Mecanismo de movimiento vertical*

Versión ASTM C368			Propuesta		
Mecanismo de movimiento vertical					
No.	Nombre	No. de piezas	No.	Nombre	No. de piezas
10	Manivela	2	18	Soporte de manivela	1
11	Soporte de manivela	1	19	Manivela	1
12	Tornillo de avance vertical	2	20	Tornillo de avance vertical	1
Total		5	Total		3

Tabla G4*Mecanismo de movimiento horizontal*

Versión ASTM C368			Propuesta		
Mecanismo de movimiento horizontal					
No.	Nombre	No. de piezas	No.	Nombre	No. de piezas
3	Placas guía	2	21	Tope posterior	1
14	Tornillo de avance horizontal	1	22	Angulo de soporte	1
15	Soporte del tornillo de avance horizontal	1	23	Angulo de avance	1
16	Soporte del tornillo de avance horizontal	1	Total		3
17	Soporte trasero	1			
18	Tornillo de maquina y tuerca mariposa	2			
Total		8			

Tabla G5*Mecanismo de soporte y sujeción*

Versión ASTM C368			Propuesta		
Mecanismo de soporte y sujeción					
No.	Nombre	No. de piezas	No.	Nombre	No. de piezas
4	Poste para brazo de posicionamiento	2	24	Angulo sujeción	1
19.A	Soporte angular	1	25	Soporte de tubo	1
19.B	Tubo de acero	1	26	Soporte de prisma triangular	2
20	Prisma triangular	2	27	Abrazadera	2
26	Brazo de posicionamiento	2	28	Brazo de posicionamiento	2
27	Conector para el poste y brazo de posicionamiento	2	29	Placa de neopreno	1
Total		10	Total		9

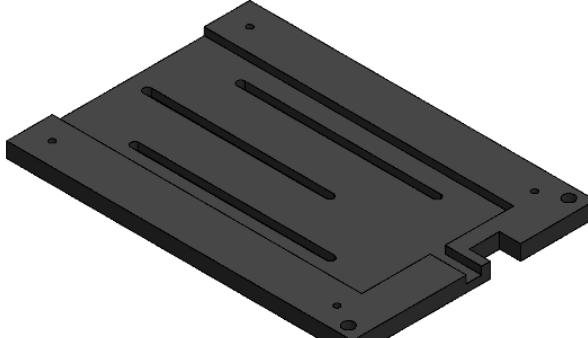
Fuente: Elaboración propia (2025).

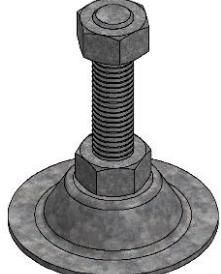
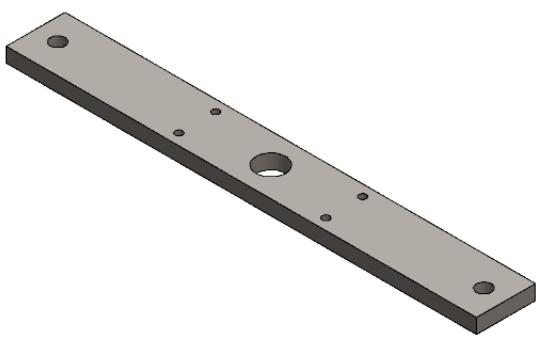
Anexo H

Modelado y análisis de piezas de la propuesta de mejora: tablas con la información técnica de cada componente modelado en CAD, incluyendo dimensiones, materiales sugeridos, peso estimado y procesos de fabricación y manufactura.

Tabla H

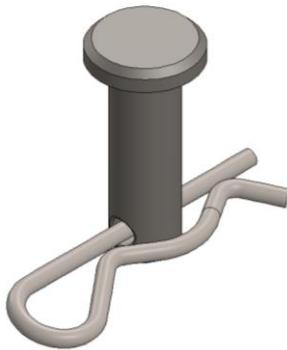
Detalles técnicos de las piezas de la propuesta de mejora

No. de pieza: 1	Nombre: Base	Material: Hierro colado
		Dimensiones: 22.75 x 16 x 1 in Peso: 29 kg Tipo de pieza: Pieza bajo diseño específico. Proceso de fabricación: Esta pieza se fabrica mediante un vaciado en molde de arena con hierro colado. Luego, se realiza un rectificado con fresa CNC para obtener el acabado deseado, y finalmente se aplican procesos de Perforado y roscado.
		Procesos No. de veces Fresado de desbaste 3 Roscado interno 8 Perforado 8
No. de pieza: 2	Nombre: Poste Vertical	Material: Acero AISI 1045
		Dimensiones: Ø0.75 x 31 in Peso: 1.7 kg c/u Tipo de pieza: Pieza estándar Proceso de fabricación: Se parte de un perfil redondo al cual se le realiza un roscado en un extremo. En el otro extremo, se reduce concéntricamente el diámetro mediante torneado, seguido de un segundo roscado, de acuerdo con el diseño técnico.
		Procesos No. de veces Torneado 2 Roscado exterior en torno 4

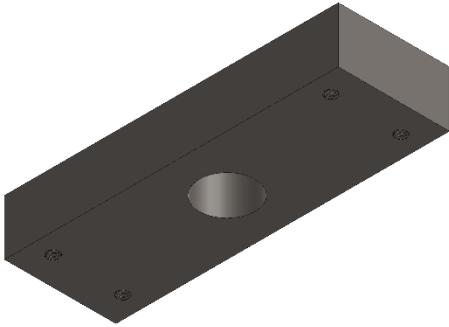
No. de pieza: 3	Nombre: Brazos de soporte	Material: Acero AISI1020								
		<p>Dimensiones: 39 x 1 x 0.25 in</p> <p>Peso: 1.24 kg c/u</p> <p>Tipo de pieza: Pieza estándar</p> <p>Proceso de fabricación: La pieza se obtiene a partir de una barra metálica recta. Posteriormente, se realizan dobleces en ambos extremos y se efectúan perforaciones en ubicaciones específicas.</p>								
		<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Procesos</th> <th>No. de veces</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fresado de desbaste</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Perforado</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Doblado</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Fresado de desbaste	2	Perforado	2	Doblado	4
Procesos	No. de veces									
Fresado de desbaste	2									
Perforado	2									
Doblado	4									
No. de pieza: 4	Nombre: Nivelador base	Material: Acero galvanizado								
		<p>Dimensiones: Ø2x 2.41</p> <p>Peso: 92 gramos c/u</p> <p>Tipo de pieza: Pieza comercial. Comprar y ensamblar</p> <p>Al tratarse de una pieza comercial, su fabricación puede variar según el fabricante. En particular esta pieza, se produce a partir de una chapa metálica que se conforma mediante troquelado para obtener la forma de la base. Esta se complementa con un tornillo y una tuerca ensamblados posteriormente.</p>								
No. de pieza: 5	Nombre: Soporte del mecanismo vertical	Material: Acero AISI 1020								
		<p>Dimensiones: 16 x 2 x 0.5 in</p> <p>Peso: 1.97 kg</p> <p>Tipo de pieza: Pieza estándar</p> <p>Proceso de fabricación: Se parte de una barra de metal que se corta a las dimensiones especificadas mediante un proceso de corte. Luego, se realizan perforaciones en ubicaciones específicas utilizando brocas de diferentes diámetros, de acuerdo con el diseño técnico.</p>								
		<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Procesos</th> <th>No. de veces</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Perforado	7				
Procesos	No. de veces									
Perforado	7									

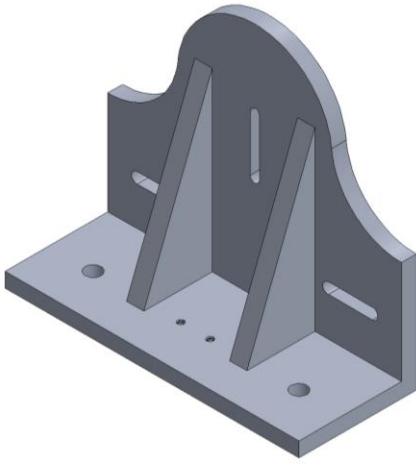
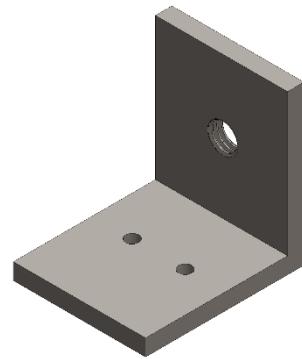
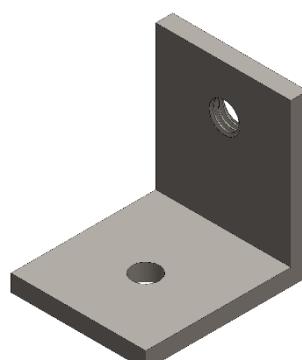
No. de pieza: 6	Nombre: Dial (segmento marcado)	Material: Acero AISI 1010						
		<p>Dimensiones: 20 X 19.25 X 0.19</p> <p>Peso: 1.37 kg</p> <p>Tipo de pieza: Pieza estándar</p> <p>Proceso de fabricación: La fabricación inicia con una placa metálica que se recorta siguiendo el contorno especificado en el diseño. Finalmente, se realizan una serie de perforaciones en ubicaciones determinadas.</p>						
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corte por laser</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Perforado</td><td>48</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Corte por laser	1	Perforado	48
Procesos	No. de veces							
Corte por laser	1							
Perforado	48							
No. de pieza: 7	Nombre: Soporte en L del dial	Material: Acero dulce o AISI 1018						
		<p>Dimensiones: Angulo 1 x 1 x 0.25 y largo de 20.25 in</p> <p>Peso: 1.13 kg</p> <p>Tipo de pieza: Pieza estándar</p> <p>Proceso de fabricación: Se utiliza un perfil en L que se corta a la longitud especificada. Luego, se le realizan perforaciones en puntos definidos, conforme a los requerimientos del plano.</p>						
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corte mecánico</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Perforado</td><td>4</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Corte mecánico	1	Perforado	4
Procesos	No. de veces							
Corte mecánico	1							
Perforado	4							
No. de pieza: 8	Nombre: Soporte en J del dial	Material: Acero AISI 1010						
		<p>Dimensiones: 20.38 x 6.5 x 0.19 in</p> <p>Peso: 0.83 kg</p> <p>Tipo de pieza: Pieza estándar</p> <p>Proceso de fabricación: Esta pieza puede fabricarse de dos maneras. Una opción es partir de una placa de acero que se recorta con la forma deseada. La otra consiste en cortar una barra al largo requerido y luego doblarla para obtener la curvatura especificada. En ambos casos, el proceso finaliza con la realización de las perforaciones indicadas según el diseño.</p>						
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corte por laser</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Perforado</td><td>4</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Corte por laser	1	Perforado	4
Procesos	No. de veces							
Corte por laser	1							
Perforado	4							

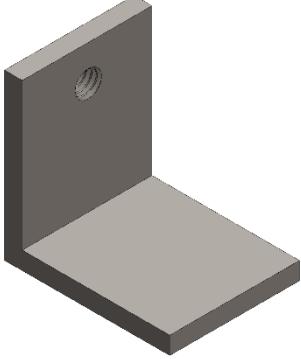
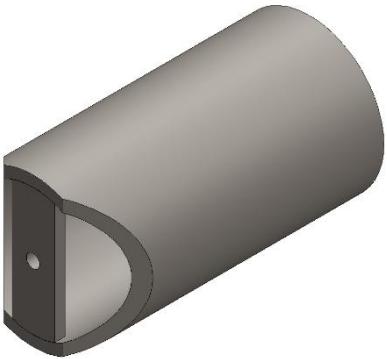
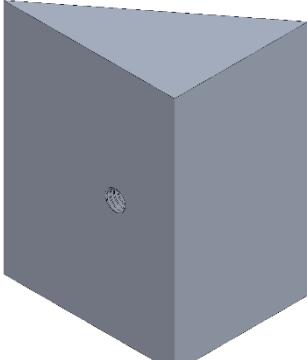
No. de pieza: 9	Nombre: Angulo del Dial	Material: Acero dulce o AISI 1018
		Dimensiones: ángulo 1.25 x1.25 x .1875 por 1.75 in de largo
		Peso: 93 gramos c/u
		Tipo de pieza: Pieza estándar
		Proceso de fabricación: A partir de un perfil angular, se realiza un corte a la longitud especificada en los planos. Posteriormente, se efectúan las perforaciones en las ubicaciones definidas por el diseño técnico.
		Procesos No. de veces
	Corte mecánico	1
	Perforado	4
No. de pieza: 10	Nombre: Soporte del mecanismo medidor de impacto	Material: AISI 1020
		Dimensiones: 16 x 2 x 0.75 in
		Peso: 2.9 kg
		Tipo de pieza: Pieza estándar
		Proceso de fabricación: Se parte de una barra metálica de sección rectangular. A lo largo de la pieza, se realizan perforaciones con brocas de distintos diámetros, según los planos
		Procesos No. de veces
	Perforado	7
	Roscado interior	2
No. de pieza: 11	Nombre: Angulo de suspensión	Material: Acero dulce o AISI 1018
		Dimensiones: ángulo 1.25 x1.25 x .1875 por 1 in de largo
		Peso: 54 gramos c/u
		Tipo de pieza: Pieza estándar
		Proceso de fabricación: Se utiliza un perfil angular que se corta según la longitud indicada en los planos. Luego, se realizan las perforaciones necesarias en las posiciones determinadas por el diseño
		Procesos No. de veces
	Perforado	3
	Corte mecánico	1

No. de pieza: 12	Nombre: Ajustador	Material: PLA o ABS						
		<p>Dimensiones: 3 x 2.9 x 2 in</p> <p>Peso: 56 gramos</p> <p>Tipo de pieza: Pieza bajo diseño específico Impresión 3D</p>						
		<p>La pieza se genera a partir de un modelo digital creado mediante software de diseño 3D. Posteriormente, se fabrica utilizando tecnología de impresión 3D, siguiendo las dimensiones y características definidas en el archivo.</p>						
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td><td>2</td></tr> <tr> <td>Roscado interior</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Perforado	2	Roscado interior	1
Procesos	No. de veces							
Perforado	2							
Roscado interior	1							
No. de pieza: 13	Nombre: Rodamiento del péndulo	Material: Latón						
		<p>Dimensiones: 1 x 0.5 x 0.19 in</p> <p>Peso: 10 gramos c/u</p> <p>Tipo de pieza: Pieza bajo diseño específico.</p>						
		<p>Proceso de fabricación: El proceso inicia con una placa de latón que se mecaniza para obtener la forma deseada. Finalmente, se realiza una perforación en la sección inclinada, conforme a las especificaciones del diseño</p>						
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Fresado de desbaste</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Perforado</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Fresado de desbaste	1	Perforado	2
Procesos	No. de veces							
Fresado de desbaste	1							
Perforado	2							
No. de pieza: 14	Nombre: Pasador de horquilla	Material: Acero						
		<p>Dimensiones: 0.92 x 0.65 x 0.31 in</p> <p>Peso: 3 gramos</p> <p>Tipo de pieza: Pieza comercial. Comprar y ensamblar</p>						
		<p>Proceso de fabricación: Al tratarse de una pieza comercial, su fabricación puede variar según el fabricante</p>						

No. de pieza: 15	Nombre: Suspensión en V	Material: Acero
		Dimensiones: 0.25 x 0.005 y 38in de largo
		Peso: 6 gramos
		Tipo de pieza: Pieza estándar
		Proceso de fabricación: La pieza consiste en una cinta metálica a la que se le realizan perforaciones en puntos específicos, destinados a su fijación según lo indicado en los planos
		Procesos No. de veces
		Perforado 4
No. de pieza: 16	Nombre: Montura del Tup	Material: Chapa de acero
		Dimensiones: 0.75 x 0.9 x 0.0625 in
		Peso: 4.36 gramos
		Tipo de pieza: Pieza estándar
		Proceso de fabricación: Se utiliza una placa metálica que se recorta con la forma especificada. Luego, se realizan pequeñas incisiones que permiten el doblado de la pieza según el diseño, y finalmente se efectúan las perforaciones en las ubicaciones indicadas.
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 1
		Roscado interior 2
		Perforado 4
		Soladura 1
No. de pieza: 17	Nombre: Cabezal C55 (Tup)	Material: Acero para herramientas tipo A2
		Dimensiones: Ø 0.75 x 2.53 in
		Peso: 130 gramos
		Tipo de pieza: Pieza bajo diseño específico.
		Proceso de fabricación: La pieza parte de un perfil redondo al que se le realiza un mecanizado de desbaste en la parte superior. Luego, se lleva a cabo un torneado en los extremos para obtener el diseño deseado.
		Procesos No. de veces
		Fresado de desbaste 1
		Perforado y roscado interior 2

No. de pieza: 18	Nombre: Soporte de manivela	Material: AISI 1020						
		<p>Dimensiones: 6 x 2 x 1 in</p> <p>Peso: 1.44 kg</p> <p>Tipo de pieza: Pieza estándar</p> <p>Proceso de fabricación: La fabricación inicia con una barra de acero que se corta a la longitud especificada. A continuación, se realiza una perforación central y otras perforaciones roscadas, destinadas al ensamblaje según el diseño.</p> <table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td><td>5</td></tr> <tr> <td>Roscado interior</td><td>4</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Perforado	5	Roscado interior	4
Procesos	No. de veces							
Perforado	5							
Roscado interior	4							
No. de pieza: 19	Nombre: Manivela	<p>Material: Hierro colado</p> <p>Dimensiones: Ø 5 x 1.25 in</p> <p>Peso: 1.14 kg</p> <p>Tipo de pieza: Pieza bajo diseño específico o podría encontrarse la pieza comercial</p> <p>Proceso de fabricación: Esta pieza se fabrica mediante un vaciado en molde de arena con hierro colado con una operación de roscado en la parte central.</p> <table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Roscado interior</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Roscado interior	1		
Procesos	No. de veces							
Roscado interior	1							
No. de pieza: 20	Nombre: Tornillo de avance vertical	<p>Material: Acero galvanizado</p> <p>Dimensiones: Ø 1 x 15 in de largo</p> <p>Peso: 1.3 kg</p> <p>Tipo de pieza: Pieza comercial</p> <p>Proceso de fabricación: Se trata de un tornillo roscado con un diámetro de 1" y paso de 8 hilos por pulgada. Al ser una pieza comercial, su proceso de fabricación puede variar según el fabricante, aunque generalmente se produce mediante procesos de maquinado de rosca en tornos o roscadoras industriales.</p> <table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Corte mecánico</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Corte mecánico	1		
Procesos	No. de veces							
Corte mecánico	1							

No. de pieza: 21	Nombre: Tope posterior	Material: Aluminio
	Dimensiones: 10 x 8.6 x 4 in	
	Peso: 2.5 kg	
	Tipo de pieza: Pieza bajo diseño específico.	
	Proceso de fabricación: La pieza se elabora a partir de placas de aluminio mecanizadas para obtener las formas requeridas, luego se ensamblan mediante soldadura y se realizan perforado y roscado según las especificaciones del diseño.	
	Procesos	No. de veces
	Fresado de desbaste	4
Perforado	4	
Roscado interior	2	
Soldadura	4	
No. de pieza: 22	Nombre: Angulo de soporte	Material: Acero dulce
	Dimensiones: Angulo de 3 x 3 x 0.3125 y 2.5 in de largo	
	Peso: 559 gramos	
	Tipo de pieza: Pieza estándar	
	Proceso de fabricación: fabricada a partir de un perfil angular, se corta a la longitud determinada. Luego, se realizan perforaciones y roscados en los puntos especificados por el diseño técnico.	
	Procesos	No. de veces
	Perforado	3
Roscado interior	1	
No. de pieza: 23	Nombre: Angulo de avance	Material: Acero dulce
	Dimensiones: Angulo de 3 x 3 x 0.3125 y 2.5 in de largo	
	Peso: 555 gramos	
	Tipo de pieza: Pieza estándar	
	Proceso de fabricación: A partir de un perfil angular, se realiza un corte a la longitud requerida. Luego, se ejecutan perforaciones y roscados en los puntos definidos por los planos	
	Procesos	No. de veces
	Perforado	2
Roscado interior	1	

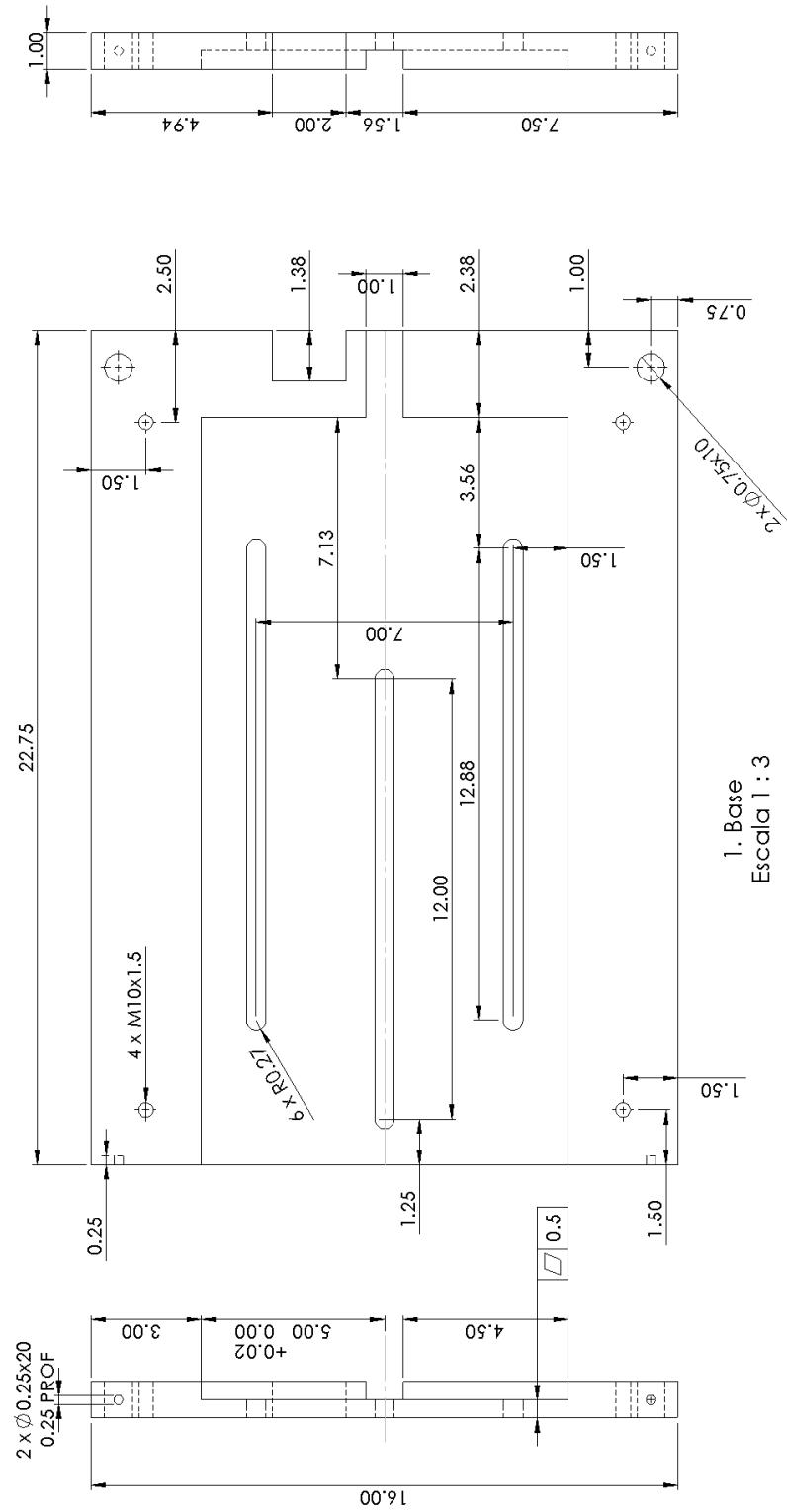
No. de pieza: 24	Nombre: Angulo sujeción	Material: Acero dulce						
		<p>Dimensiones: Angulo 1.75 x 1.75 x 0.1875 y 1.375 de largo</p> <p>Peso: 129 gramos</p> <p>Tipo de pieza: Pieza estándar</p> <p>Proceso de fabricación: esta se fabrica a partir de un perfil angular, cortado a la longitud indicada en los planos. Posteriormente, se realiza una perforación con rosca.</p>						
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Roscado interior</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Perforado	1	Roscado interior	1
Procesos	No. de veces							
Perforado	1							
Roscado interior	1							
No. de pieza: 25	Nombre: Soporte de tubo	Material: Aluminio						
		<p>Dimensiones: Ø3.5 x Ø3 x 6.5 de largo</p> <p>Peso: 720 gramos</p> <p>Tipo de pieza: Pieza estándar</p> <p>Proceso de fabricación: El proceso comienza con un tubo de aluminio, al cual se le realiza un mecanizado en uno de los extremos para darle la forma indicada en los planos. Finalmente, se suelda una pequeña placa, completando el ensamblaje según el diseño técnico.</p>						
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td><td>1</td></tr> <tr> <td>Corte mecánico</td><td>1</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Perforado	1	Corte mecánico	1
Procesos	No. de veces							
Perforado	1							
Corte mecánico	1							
No. de pieza: 26	Nombre: Soporte de prisma triangular	Material: Aluminio						
		<p>Dimensiones: 4 x 2.88 x 2.25 in</p> <p>Peso: 571 gramos c/u</p> <p>Tipo de pieza: Pieza bajo diseño específico</p> <p>Proceso de fabricación: La pieza se fabrica mediante colado en molde de arena con aluminio fundido. Una vez solidificada, se rectifica para mejorar el acabado y se realiza una perforación roscada según las especificaciones de los planos.</p>						
		<table> <thead> <tr> <th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Perforado</td><td>2</td></tr> <tr> <td>Roscado interior</td><td>2</td></tr> </tbody> </table>	Procesos	No. de veces	Perforado	2	Roscado interior	2
Procesos	No. de veces							
Perforado	2							
Roscado interior	2							

No. de pieza: 27	Nombre: Abrazadera	Material: Aluminio 6061						
		Dimensiones: 3.21 x 1.57 x 1.57 Peso: 143 gramos Tipo de pieza: Pieza comercial Comprar y ensamblar						
		Proceso de fabricación: Al ser una pieza de tipo comercial, su proceso de fabricación puede variar según el fabricante. No obstante, todo indica que se produce mediante fundición en molde, lo que permite obtener su forma con precisión y en volumen.						
No. de pieza: 28	Nombre: Brazo de posicionamiento	Material: Aceros						
		Dimensiones: Ø0.59 x 6.72 in Peso: 97 gramos Tipo de pieza: Pieza estándar La pieza principal se compone de un perfil redondo al que se le realiza un roscado en un extremo y un torneado en el otro, según el diseño técnico. Además, se ensamblan un tubo de acero y un resorte.						
		<table border="1"><thead><tr><th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr></thead><tbody><tr><td>Corte mecánico</td><td>1</td></tr><tr><td>Roscado exterior en torno</td><td>1</td></tr></tbody></table>	Procesos	No. de veces	Corte mecánico	1	Roscado exterior en torno	1
Procesos	No. de veces							
Corte mecánico	1							
Roscado exterior en torno	1							
No. de pieza: 29	Nombre: Placa de neopreno	Material: Neopreno						
		Dimensiones: 10 x 10 x 0.5 in Peso: 1 kg Tipo de pieza: Pieza estándar Proceso de fabricación: La pieza se obtiene a partir de una placa de neopreno que se corta a las dimensiones especificadas en el diseño.						
		<table border="1"><thead><tr><th>Procesos</th><th>No. de veces</th></tr></thead><tbody><tr><td>Corte mecánico</td><td>1</td></tr></tbody></table>	Procesos	No. de veces	Corte mecánico	1		
Procesos	No. de veces							
Corte mecánico	1							

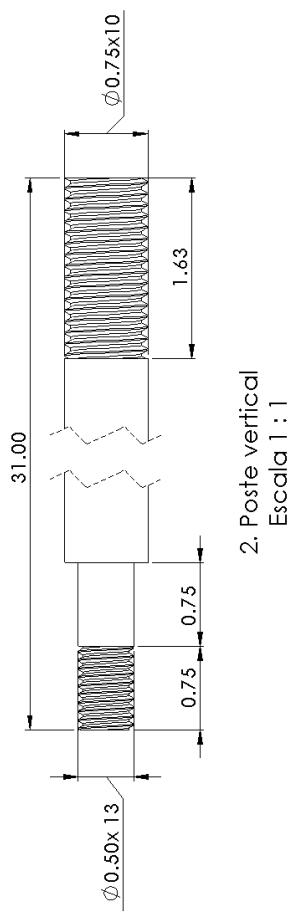
Fuente: Elaboración propia (2025).

Anexo I

Planos de la propuesta de mejora del dispositivo: se incluyen los planos constructivos detallados de todas las piezas y ensamblajes, desarrollados en CAD, que permiten visualizar la configuración completa del dispositivo y sus componentes. Cada plano se muestra a página completa para una mejor visualización.

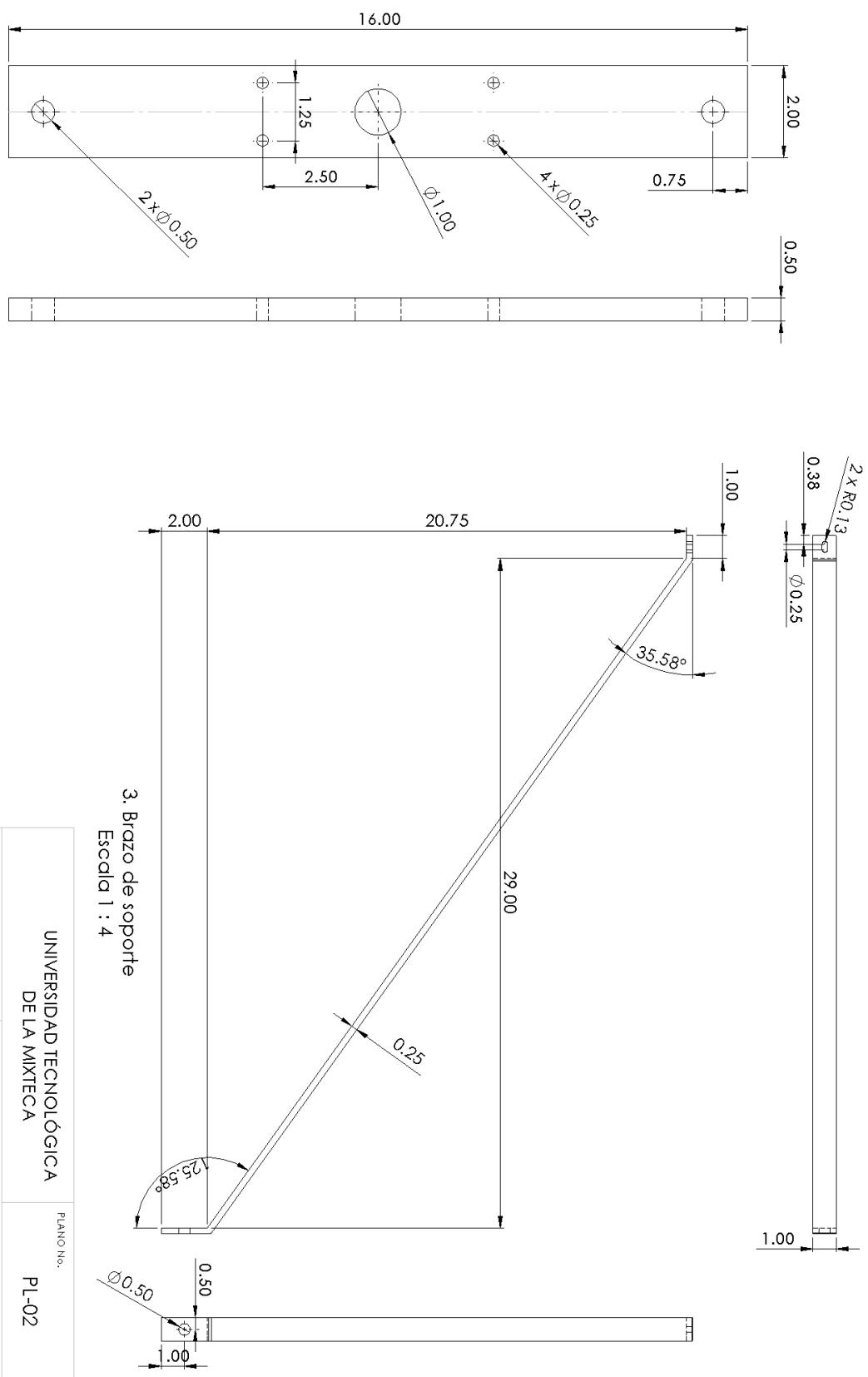


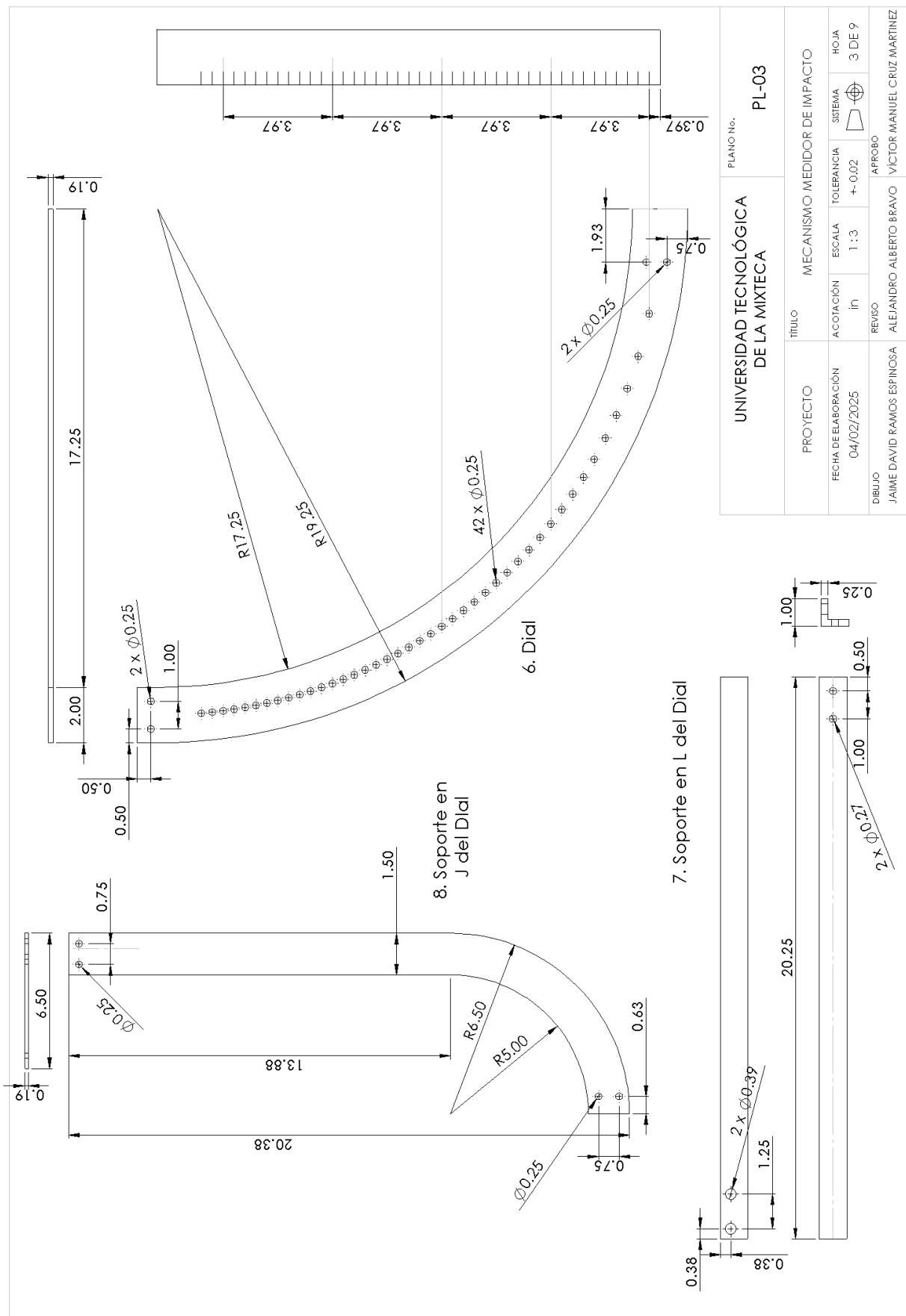
1. Base
Escala 1 : 3

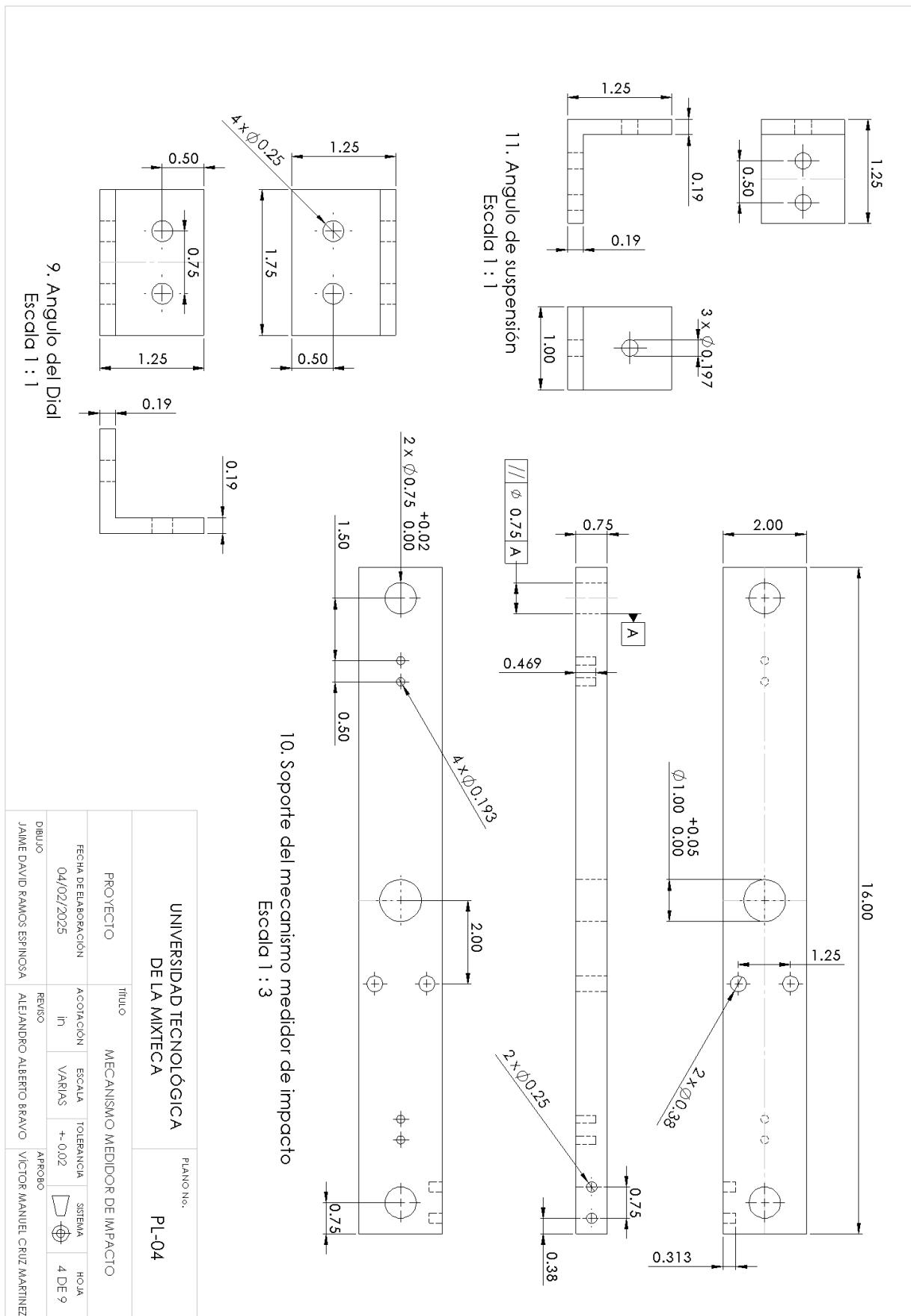


2. Poste vertical Escala 1 : 1

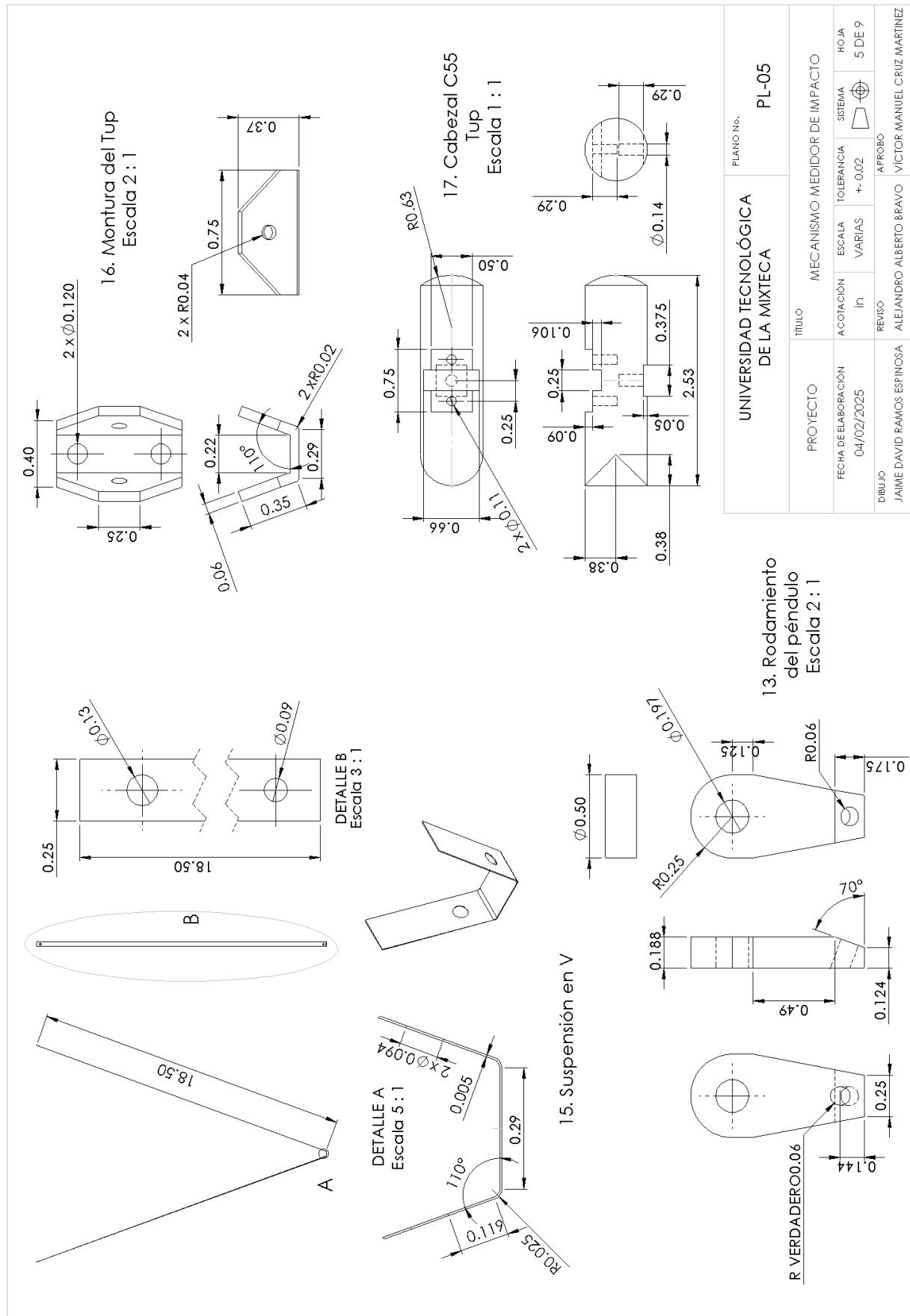
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		PL-01	
PLANO N°.		TÍTULO	
		ESTRUCTURA DE SOPORTE	
PROYECTO	ACOTACIÓN in	ESCALA VARIAS	TOLERANCIA +0.002
FECHA DE ELABORACIÓN 04/02/2025	REVISIÓN	SISTEMA 	HOJA 1 DE 9
DIBUJO	JAIME DAVID RAMOS ESPINOSA	ALEJANDRO ALBERTO BRAVO	VICTOR MANUEL CRUZ MARTINEZ

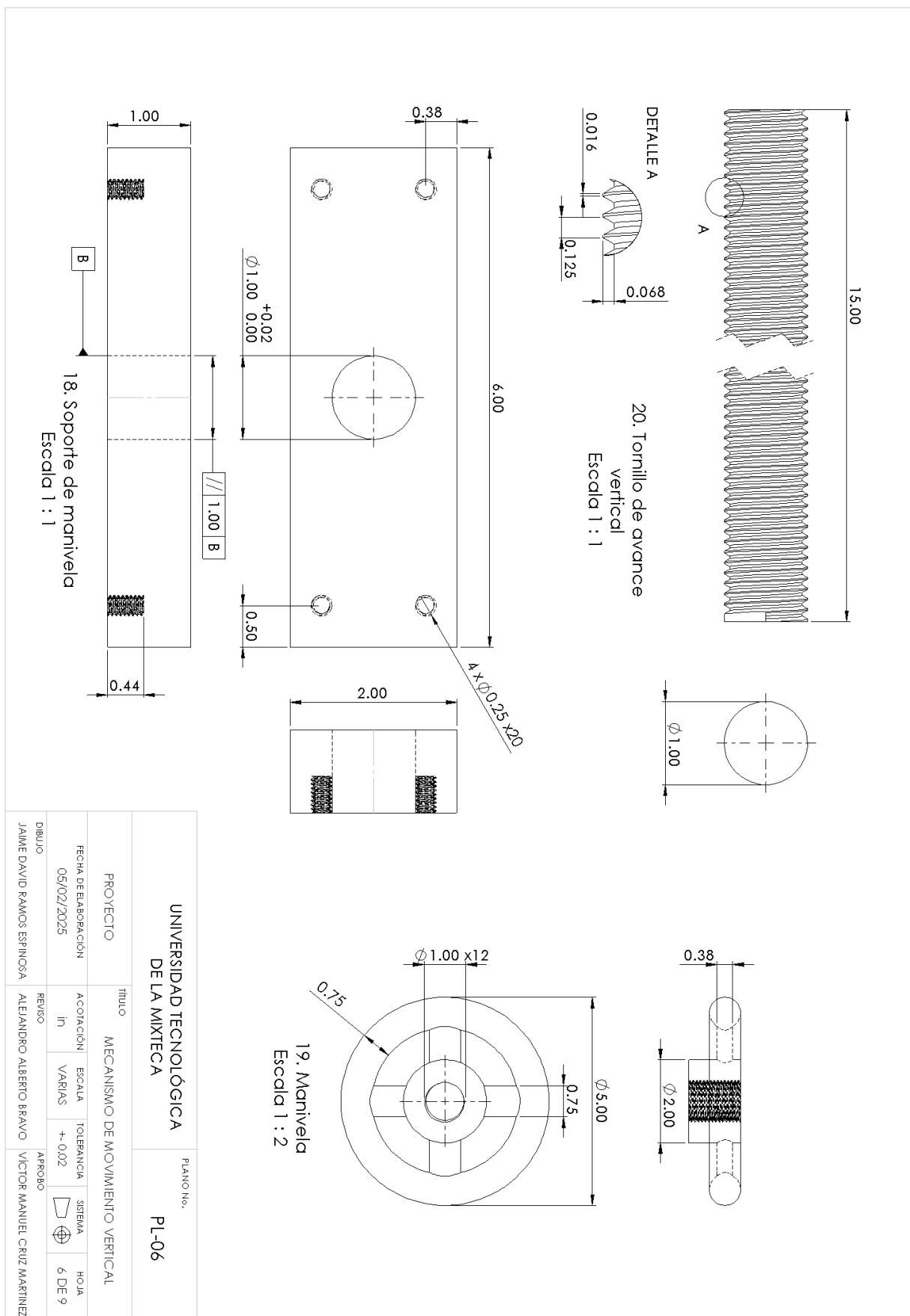


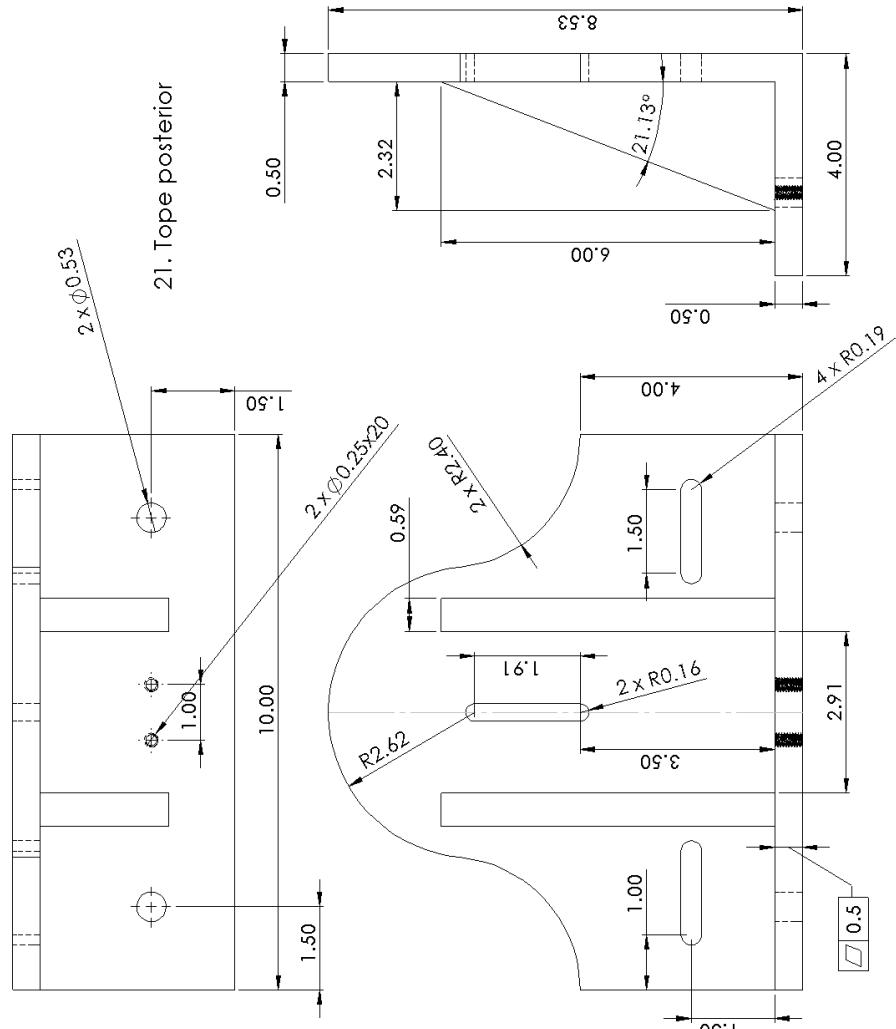




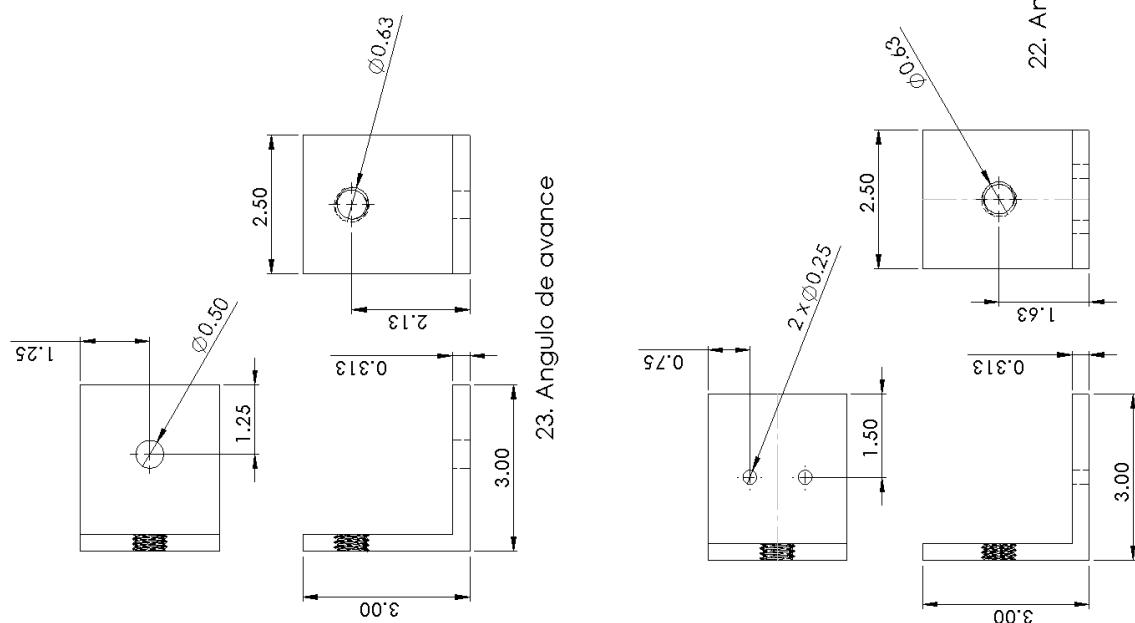
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		PLANO N°.	
PROYECTO	TÍTULO	MECANISMO MEDIDOR DE IMPACTO	
FECHA DE ELABORACIÓN	ACOTACIÓN in	ESCALA	TOLERANCIA
04/02/2025			$+0.02$
DIBUJO		SISTEMA 4 DE 9	
JAIME DAVID RAMOS ESPINOSA	REVISO	AIRBOO	
		ALEJANDRO ALBERTO BRAVO	VICTOR MANUEL CRUZ MARTINEZ







22. Angulo de soporte



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA		PL-07			
PROYECTO	TÍTULO	MECANISMO DE MOVIMIENTO HORIZONTAL			
FECHA DE ELABORACIÓN	ACOTACIÓN	ESCALA	TOLERANCIA	SISTEMA	HOJA
05/02/2025	In	1 : 2	+ .002		
DIBUJO	REVISÓ	APROBO			
JAIME DAVID RAMOS ESPINOSA	ALEJANDRO ALBERTO BRAVO	VICTOR MANUEL CRUZ MARTINEZ			

