

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**PROPUESTA DE DISEÑO DE LABORATORIO Y  
SELECCIÓN DE EQUIPO BÁSICO PARA ENSAYO DE  
MATERIALES IMPRESOS POR MANUFACTURA  
ADITIVA**

PRESENTADO POR:

**JULIO ALEXANDER RAMÍREZ AYALA  
DAVID MAURICIO RAMOS CASTRO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ENERO 2025

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR :

**M.Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA**

SECRETARIA GENERAL :

**Lic. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**Ing. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

SECRETARIO :

**Arq. RAÚL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR INTERINO :

**M.Sc. e Ing. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**PROPUESTA DE DISEÑO DE LABORATORIO Y  
SELECCIÓN DE EQUIPO BÁSICO PARA ENSAYO DE  
MATERIALES IMPRESOS POR MANUFACTURA  
ADITIVA**

Presentado por :

**JULIO ALEXANDER RAMÍREZ AYALA  
DAVID MAURICIO RAMOS CASTRO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**M.Sc. e Inga. LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY**

San Salvador, enero de 2025

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**M.Sc. e Inga. LEYLA MARINA JIMÉNEZ MONROY**

## **Agradecimientos.**

Julio Alexander Ramirez Ayala.

Quiero expresar mis agradecimientos, en primer lugar, a Dios por brindarme la salud, la fuerza y la sabiduría necesarias para completar este trabajo. A mi querida familia, especialmente a mi madre y a mi padre, quienes con su amor y apoyo incondicional han sido mi mayor inspiración. A mis hermanos, gracias por su constante ánimo y comprensión. Con profunda estima y reconocimiento, extendo mi más sincera gratitud a mi asesora de tesis, la M.Sc. e Inga. Leyla Marina Jiménez Monroy, por su valioso tiempo, sabios consejos y dedicación incansable, que guiaron este proceso y enriquecieron mi formación académica de manera significativa. Asimismo, agradezco a mi compañero de tesis, David Mauricio Ramos Castro, por su apoyo y colaboración constantes en este camino. A mi amiga sincera, la Arq. Fátima Graciela Serrano Aguirre, le agradezco su invaluable apoyo, por compartir su tiempo y reflexiones al revisar el diseño de la propuesta del Laboratorio. Finalmente, extendo mi gratitud a la Universidad de El Salvador por inculcarme el desarrollo de un espíritu crítico esencial para el análisis profundo de los desafíos que se presentaron en este trabajo.

David Mauricio Ramos Castro.

Quiero agradecer a Dios por permitirme culminar este trabajo de graduación, el cual marca el cierre de una etapa muy especial en mi vida. Sin su ayuda, no estaría aquí. A mi familia y amigos más cercanos, les expreso mi gratitud por su sacrificio durante todos estos años de arduo esfuerzo. Su comprensión, consejos y palabras de aliento, siempre llenos de cariño, han sido invaluable para mí.

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesora, la Ing. Leyla Marina Jiménez Monroy, cuyo apoyo ha sido esencial en este trabajo y en mi formación académica. A mis padres, gracias por su amor, esfuerzo constante, desvelos y palabras de ánimo. A mis tías, que han sido un pilar fundamental en mi vida, gracias por cuidarme y apoyarme incondicionalmente.

No puedo dejar de mencionar a mi compañero y amigo, Julio Alexander Ramírez Ayala, sin cuyo esfuerzo y dedicación este logro no hubiera sido posible. También agradezco a la Arq. Fátima Graciela Serrano Aguirre por su tiempo y disposición para revisar nuestra propuesta de laboratorio.

No encuentro palabras suficientes para expresar el sentimiento que me embarga en este momento. Simplemente, gracias.

## **Resumen.**

La fabricación de piezas mecánicas mediante manufactura aditiva está influenciada por múltiples factores, como la orientación de impresión, parámetros de impresión y el patrón de relleno. Tratamientos post-procesamiento y el uso de materiales compuestos pueden mejorar la resistencia y rigidez. La calidad de adhesión entre capas y la porosidad también juegan un papel crucial en la resistencia estructural. Además, la anisotropía inherente, es esencial para evaluar y comparar adecuadamente estos materiales. Esta investigación se centra en la propuesta de un diseño de un laboratorio y la selección del equipo básico para el ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva, tomando en cuenta el espacio adecuado para áreas de trabajo y para los equipos garantizando la calidad y la fiabilidad de los resultados y rendimiento para aplicaciones industriales y de investigación. Se exploran conceptos fundamentales de la manufactura aditiva, sus procesos y aplicaciones, y la importancia de los ensayos de tensión y flexión en los materiales impresos, analizando sus propiedades mecánicas. Además, se revisan normas y estándares internacionales relevantes, como la ASTM D638 para ensayos de tensión y la ASTM D790 para ensayos de flexión, así como normativas de laboratorio aplicables. La metodología de investigación incluye un análisis de necesidades y requerimientos técnicos y operativos, detallando las fases del proyecto desde la recolección de información hasta la ejecución del diseño. También se aborda la selección del equipo básico y especializado necesario para el laboratorio, considerando especificaciones técnicas y criterios de rendimiento. Finalmente, se presenta una propuesta detallada del diseño del laboratorio, incluyendo aspectos de infraestructura, disposición del equipo y medidas de seguridad, junto con la documentación necesaria para su implementación y operación.

## **Abstract.**

The manufacturing of mechanical parts through additive manufacturing is influenced by multiple factors, such as print orientation, printing parameters, and infill pattern. Post-processing treatments and the use of composite materials can enhance strength and stiffness. The quality of layer adhesion and porosity also play a crucial role in structural strength. Additionally, inherent anisotropy is essential for properly evaluating and comparing these materials. This thesis focuses on proposing the design of a laboratory and selecting basic equipment for testing materials printed by additive manufacturing. It develops a suitable space for testing and analyzing materials produced through additive manufacturing, ensuring their quality and performance for industrial and research applications. Fundamental concepts of additive manufacturing, its processes and applications, and the importance of tensile and flexural tests on printed materials are explored, analyzing their mechanical properties. Furthermore, relevant international standards and regulations, such as ASTM D638 for tensile testing and ASTM D790 for flexural testing, as well as applicable laboratory standards, are reviewed. The research methodology includes an analysis of needs and technical and operational requirements, detailing the project phases from information gathering to design execution. The selection of necessary basic and specialized equipment for the laboratory is also addressed, considering technical specifications and performance criteria. Finally, a detailed proposal for the laboratory design is presented, including infrastructure aspects, equipment layout, safety measures, along with the necessary documentation for implementation and operation.

## Índice General.

<b><i>Acrónimos y simbología.</i></b>	<b>21</b>
<b><i>Objetivos.</i></b>	<b>24</b>
<b><i>Introducción.</i></b>	<b>25</b>
<b><i>Antecedentes.</i></b>	<b>27</b>
<b><i>Capítulo 1. Marco teórico.</i></b>	<b>29</b>
1.1.1 La manufactura aditiva.	29
1.1.2 Teoría de la manufactura aditiva.	29
1.1.3 Historia de la manufactura aditiva.	31
1.1.4 Categorías de manufactura aditiva.	33
1.1.5 Materiales utilizados en la manufactura aditiva FDM.	40
<b>1.2 Ensayos a materiales de manufactura aditiva.</b>	<b>48</b>
1.2.1 Ensayos aplicados a materiales de manufactura aditiva.	49
1.2.2 Normativa aplicable para el ensayo de tensión y de flexión en materiales poliméricos.	51
<b>1.3 Laboratorio de materiales de manufactura aditiva.</b>	<b>55</b>
1.3.1 Requisitos de la norma ISO 17025:2017, aplicables a la competencia del laboratorio de ensayo de materiales.	55
<b><i>Capítulo 2. Metodología de la investigación.</i></b>	<b>59</b>
<b>2.1 Elaboración del cuestionario para entrevista.</b>	<b>62</b>
<b>2.2 Elaboración de entrevista a los LFD de centros de educación superior.</b>	<b>66</b>
<b>2.3 Muestra de laboratorios de fabricación digital.</b>	<b>70</b>
2.3.1 Universidad Don Bosco (UDB).	70
2.3.2 Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA).	71
2.3.3 Universidad Tecnológica de El Salvador (UTEC).	71
<b><i>Capítulo 3. Selección de equipo básico del Laboratorio.</i></b>	<b>72</b>
<b>3.1 Análisis e interpretación de resultados.</b>	<b>72</b>
3.1.1 Resultados y hallazgos en los datos.	73
3.1.2 Identificación de requisitos para la selección del equipo e instrumentos.	92

<b>3.2</b>	<b>Toma de decisión.</b>	<b>113</b>
3.2.1	Evaluación de requisitos.	113
3.2.2	Selección del equipo técnico.	118
3.2.3	Ficha técnica de la UTM seleccionada.	120
3.2.4	Presupuesto.	121
<b>Capítulo 4. Propuesta de diseño y financiamiento del Laboratorio.</b>		<b>124</b>
<b>4.1</b>	<b>Propuesta del área designada para planta.</b>	<b>124</b>
<b>4.2</b>	<b>Propuesta de distribución del mobiliario.</b>	<b>128</b>
<b>4.3</b>	<b>Propuesta de las instalaciones eléctricas en planta.</b>	<b>133</b>
4.3.1	Caracterización de luminarias para el Laboratorio.	133
4.3.2	Caracterización de equipo de climatización del Laboratorio.	143
4.3.3	Cuadro de cargas del Laboratorio.	145
<b>4.4</b>	<b>Financiamiento del Laboratorio.</b>	<b>150</b>
4.4.1	Entes de cooperación financiera en El Salvador.	150
4.4.2	Programa de soluciones tecnológicas creativas (CTS).	160
<b>Capítulo 5. Documentación.</b>		<b>171</b>
<b>5.1</b>	<b>Manual del usuario.</b>	<b>171</b>
<b>5.2</b>	<b>Manual de software.</b>	<b>183</b>
<b>5.3</b>	<b>Manual de guías prácticas.</b>	<b>215</b>
<b>Conclusiones.</b>		<b>233</b>
<b>Recomendaciones.</b>		<b>236</b>
<b>Referencias.</b>		<b>238</b>
<b>Bibliografía.</b>		<b>240</b>
<b>Anexos.</b>		<b>244</b>

## Índice de Figuras.

<i>Figura 1-1. Proceso completo de la fabricación aditiva en etapas, desde su concepción en un software CAD hasta la elaboración de la pieza física. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web:</i>	
<i><a href="https://advance3d.com/el-proceso-completo-de-la-fabricacion-aditiva/">https://advance3d.com/el-proceso-completo-de-la-fabricacion-aditiva/</a></i>	30
<i>Figura 1-2. Línea de tiempo de la impresión 3D. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web:</i>	
<i><a href="https://kumotica.es/blog/impresion-3d/historia-de-la-impresion-3d-ano-a-ano">https://kumotica.es/blog/impresion-3d/historia-de-la-impresion-3d-ano-a-ano</a></i>	31
<i>Figura 1-3. Esquema de la clasificación de las tecnologías de fabricación, agrupadas en aditivas y no aditivas. En la rama de las tecnologías no aditivas, se incluyen las tecnologías de herramientas rápidas (sustractivas y conformativas) y en la rama de las tecnologías aditivas, se incluyen las tecnologías de fabricación aditivas con más presencia en la actualidad. Fuente: Elaboración propia.</i>	32
<i>Figura 1-4. Esquema de la clasificación de las tecnologías de fabricación aditivas según la ISO/ASTM 52900:2021. Se señalan las tecnologías de fabricación aditivas con más presencia en la actualidad. Fuente: Información obtenida de la Página Web: Tipos de impresoras 3D: las 7 tecnologías de impresión 3D, (All3DP, 2022).</i>	33
<i>Figura 1-5. Tecnología de impresión 3D del tipo: Extrusión de material. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <a href="https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/">https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/</a></i>	34
<i>Figura 1-6. Tecnología de impresión 3D del tipo: Polimerización VAT (en tanque con láser). Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <a href="https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/">https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/</a></i>	34
<i>Figura 1-7. Tecnología de impresión 3D del tipo: Fusión en lecho de polvo o Powder Bed Fusion. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <a href="https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/">https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/</a></i>	35
<i>Figura 1-8. Tecnología de impresión 3D del tipo: Inyección de Material o Material Jetting. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <a href="https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/">https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/</a></i>	36
<i>Figura 1-9. Tecnología de impresión 3D del tipo: Inyección de Aglutinante o Binder Jetting. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <a href="https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/">https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/</a></i>	36
<i>Figura 1-10. Tecnología de impresión 3D del tipo: Disposición de Energía Directa con polvo. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <a href="https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/">https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/</a></i>	37
<i>Figura 1-11. Tecnología de impresión 3D del tipo: Microimpresión 3D. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <a href="https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/">https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/</a></i>	38

<i>Figura 1-12. Tecnología de impresión 3D del tipo: Laminación de hojas. Fuente: Imagen obtenida de la</i>	
<i>Página Web: <a href="https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/">https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/</a></i>	<i>39</i>
<i>Figura 1-13. Esquema de las principales tecnologías de fabricación aditivas en la actualidad según la</i>	
<i>UNE-EN ISO 17296-2:2017. Fuente: Información obtenida de la Página Web: Nomenclatura de la</i>	
<i>Fabricación Aditiva, (INGENIUS, 2019).</i>	<i>39</i>
<i>Figura 1-14. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PLA. Fuente: <a href="https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/">https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/</a></i>	<i>41</i>
<i>Figura 1-15. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del ABS. Fuente: <a href="https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/">https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/</a></i>	<i>41</i>
<i>Figura 1-16. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PA (Nylon). Fuente:</i>	
<i><a href="https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/">https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/</a></i>	<i>42</i>
<i>Figura 1-17. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del TPU. Fuente: <a href="https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/">https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/</a></i>	<i>43</i>
<i>Figura 1-18. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PC. Fuente: <a href="https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/">https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/</a></i>	<i>44</i>
<i>Figura 1-19. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PETG. Fuente:</i>	
<i><a href="https://spectrumfilaments.com/en/filament/pet-g-ptfe/">https://spectrumfilaments.com/en/filament/pet-g-ptfe/</a></i>	<i>44</i>
<i>Figura 1-20. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del ASA. Fuente:</i>	
<i><a href="https://spectrumfilaments.com/en/filament/asa-275/">https://spectrumfilaments.com/en/filament/asa-275/</a></i>	<i>45</i>
<i>Figura 1-21. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PP. Fuente:</i>	
<i><a href="https://spectrumfilaments.com/en/filament/pp/">https://spectrumfilaments.com/en/filament/pp/</a></i>	<i>45</i>
<i>Figura 1-22. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del HIPS. Fuente:</i>	
<i><a href="https://spectrumfilaments.com/de/filament/hips-x/">https://spectrumfilaments.com/de/filament/hips-x/</a></i>	<i>46</i>
<i>Figura 1-23. Guía de materiales de Impresión 3D en FDM. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web:</i>	
<i><a href="https://capasobrecapa.com/materiales-fdm/">https://capasobrecapa.com/materiales-fdm/</a></i>	<i>47</i>
<i>Figura 1-24. Esquema de la clasificación de los diferentes ensayos practicados a materia. Fuente:</i>	
<i>Información obtenida del libro: Introducción a la Metalurgia Física, (Avner, 1995).</i>	<i>48</i>
<i>Figura 1-25. Gráfico esfuerzo-deformación de probetas impresas en PLA en dirección axial y sometidas al</i>	
<i>ensayo de tensión. Fuente:</i>	
<i><a href="https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1703/Caracterizaci%C3%B3n%20mec%C3%A1nica%20a%20tensi%C3%B3n%20de%20impresiones%203D%20de%20PLA%20y%20ABS%20modeladas%20por%20deposici%C3%B3n%20fundida.pdf?sequence=2&amp;isAllowed=y">https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1703/Caracterizaci%C3%B3n%20mec%C3%A1nica%20a%20tensi%C3%B3n%20de%20impresiones%203D%20de%20PLA%20y%20ABS%20modeladas%20por%20deposici%C3%B3n%20fundida.pdf?sequence=2&amp;isAllowed=y</a></i>	<i>49</i>
<i>Figura 1-26. Resultados de ensayo de flexión realizado por la Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia a</i>	
<i>probetas de tetra pack. Fuente: <a href="https://www.researchgate.net/figure/Stress-strain-curves-of-the-Cu111-Al2Cu-1-bar1-10-Al111-model-at-different_fig7_359135993">https://www.researchgate.net/figure/Stress-strain-curves-of-the-Cu111-Al2Cu-1-bar1-10-Al111-model-at-different_fig7_359135993</a></i>	<i>50</i>

<i>Figura 1-27. Esquema resumen de la Norma ISO 17025:2017 – Requisitos Generales para la competencia de los Laborales de ensayo y calibración. Fuente: Información obtenida de la norma: ISO 17025:2017.</i>	56
<i>Figura 2-1. Flujograma de la metodología de la investigación a desarrollar para presentar una propuesta de diseño del laboratorio de ensayo de materiales de impresión 3D (Etapa 1 y 2). Fuente: Elaboración propia.</i>	60
<i>Figura 2-2. Flujograma de la metodología de la investigación a desarrollar para presentar una propuesta de diseño del laboratorio de ensayo de materiales de impresión 3D (Etapa 3 y 4). Fuente: Elaboración propia.</i>	61
<i>Figura 3-1. Línea de tiempo de los años de inauguración de los laboratorios de ensayos de materiales en ingeniería y los años en que estos adoptaron la fabricación digital. Fuente: Elaboración propia.</i>	74
<i>Figura 3-2. Objetivo de un Laboratorio de Fabricación Digital. Fuente: Elaboración propia.</i>	74
<i>Figura 3-3. Tipos de tecnologías empleadas en los LFD. Fuente: Elaboración propia.</i>	76
<i>Figura 3-4. Tipos de materiales utilizados en los LFD. Fuente: Elaboración propia.</i>	77
<i>Figura 3-5. Equipos con los que cuentan los LFD. Fuente: Elaboración propia.</i>	78
<i>Figura 3-6. Instrumentos utilizados en los ensayos realizados por los LFD. Fuente: Elaboración propia.</i>	79
<i>Figura 3-7. Desarrollo de proyecto de ingeniería en los LFD. Fuente: Elaboración propia.</i>	81
<i>Figura 3-8. Importancia de estudio de materiales de MA por ensayos. Fuente: Elaboración propia.</i>	83
<i>Figura 3-9. Capacidad técnica de las máquinas de ensayos de materiales. Fuente: Elaboración propia.</i>	84
<i>Figura 3-10. Normativas aplicadas por los laboratorios de fabricación digital. Fuente: Elaboración propia.</i>	86
<i>Figura 3-11. Formas en las que los LFD dan garantía de la comparabilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos de ensayos a materiales. Fuente: Elaboración propia.</i>	87
<i>Figura 3-12. Protocolos implementados por los LFD al ensayar materiales. Fuente: Elaboración propia.</i>	87
<i>Figura 3-13. Formas de pretratamiento de probetas previo a ensayo. Fuente: Elaboración propia.</i>	88
<i>Figura 3-14. Proceso de adquisición de una máquina de ensayo. Fuente: Elaboración propia.</i>	90
<i>Figura 3-15. Relevancia de la MA en Ingeniería. Fuente: Elaboración propia.</i>	91
<i>Figura 3-16. Dimensiones de una probeta tipo IV según la norma ASTM D680. Fuente: Elaboración propia.</i>	97
<i>Figura 3-17. Dimensiones de una probeta tipo I según la norma ASTM D680. Fuente: Elaboración propia.</i>	97
<i>Figura 3-18. Dimensiones de una probeta tipo I según la norma ASTM D790. Fuente: Elaboración propia.</i>	98
<i>Figura 3-19. Posibles derivaciones en una red trifásica a 120 / 240 V. Fuente: <a href="https://www.todoexpertos.com/preguntas/5wtslb5irs3ivx9j/que-es-trifasica-bifasica-y-monofasica-caracteristicas-ejemplos">https://www.todoexpertos.com/preguntas/5wtslb5irs3ivx9j/que-es-trifasica-bifasica-y-monofasica-caracteristicas-ejemplos</a></i>	111

<i>Figura 3-20. Servicios brindados por el proveedor al laboratorio de ensayos de materiales de MA. Fuente: Elaboración propia.</i>	111
<i>Figura 3-21. Máquina de prueba universal electrónica del control informático propuesta técnica. Equipo propuesto: modelo WDW-5E, HST. Fuente: Información obtenida de la Ficha Técnica proporcionada por HST (Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST)).</i>	119
<i>Figura 4-1. Espacio de trabajo para un nivel jerárquico de coordinador jefe. Fuente: Información obtenida del Manual de Estándares de Espacios de Trabajo del Estado Nacional de la República de Argentina (Agencia de Administración de Bienes del Estado Argentino (AABE), 2022).</i>	127
<i>Figura 4-2. Delimitación del área de seguridad mínima para la ejecución de ensayos.</i>	127
<i>Figura 4-3 Lista de proyectos desarrollados por el JICA a lo largo del 2008 al 2023 en El Salvador.</i>	152
<i>Figura 4-4 Infografía tomada de la revista oficial JICA del desarrollo de proyectos en la región y El Salvador.</i>	153
<i>Figura 4-5 Sectores de apoyo del AECID en El Salvador.</i>	155
<i>Figura 4-6 Principales áreas de apoyo del CONACYT.</i>	156
<i>Figura 4-7. Mapa de monto total de financiamiento de KOICA a países aliados en la región Centro y Sur Americana. Fuente: Informe anual de KOICA (KOICA, 2022).</i>	158
<i>Figura 4-8. Tabla de proyectos desarrollados por instituciones nacionales en colaboración con KOICA en El Salvador. Fuente: Informe anual de KOICA (KOICA, 2022).</i>	159
<i>Figura 4-9. Programas de financiamiento hábiles en KOICA. Se destaca la rama de financiamiento a la que es viable su solicitud y probable su aprobación. Fuente: Información obtenida de la Página Web: <a href="https://www.koica.go.kr/koica_en/3446/subview.do#n">https://www.koica.go.kr/koica_en/3446/subview.do#n</a></i>	161
<i>Figura 4-10. Procedimiento de promoción del financiamiento del proyecto solicitante. Fuente: (KOICA, 2015).</i>	163

## Índice de Tablas.

<i>Tabla 1. Cuestionario para recopilación de datos de los LFD. Fuente: Elaboración propia.</i>	62
<i>Tabla 2. Determinación de la carga máxima en una máquina de ensayo, según los materiales utilizados en los LFD y sus diferentes proveedores. Fuente: Elaboración propia.</i>	101
<i>Tabla 3. Determinación de la longitud nominal en una máquina de ensayo, según los materiales utilizados en los LFD y sus diferentes proveedores. Fuente: Elaboración propia.</i>	107
<i>Tabla 4. Designaciones para velocidades de ensayo de tensión. En texto negro se resaltan las velocidades utilizadas para los materiales utilizados en los LFD. Fuente: Información obtenida de la norma ASTM D638: Propiedades de tracción plástico, (ASTM, 2022).</i>	108
<i>Tabla 5. Análisis comparativo de las características normativas, técnicas y de suministro de diferentes proveedores de UTM en el mercado internacional. Fuente: Elaboración propia.</i>	114
<i>Tabla 6. Ficha técnica de la UTM de HST modelo WDW - 5E. Fuente: Información obtenida de la Ficha Técnica proporcionada por HST (Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST)).</i>	120
<i>Tabla 7. Presupuesto de equipo técnico, instrumentos e insumos primarios y logística de adquisición de los mismos, del Laboratorio de ensayo de materiales . Fuente: Información obtenida de la Cotización proporcionada por HST (Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST), 2024).</i>	121
<i>Tabla 8. Presupuesto de equipo mobiliario y equipos auxiliares. Fuente: Información obtenida de las cotizaciones de distribuidores de mobiliario nacionales.</i>	130
<i>Tabla 9. Nivel de iluminancia media en un espacio arquitectónico (Em). Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	133
<i>Tabla 10. Temperatura del color del alumbrado del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	134
<i>Tabla 11. Tipo de luminarias según la clasificación de la CIE. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	134
<i>Tabla 12. Tipo de lámparas empleadas en el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	135
<i>Tabla 13. Método de alumbrado del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	135
<i>Tabla 14. Altura de suspensión de las luminarias. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	136
<i>Tabla 15. Índice de Iluminancia del local. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	136
<i>Tabla 16. Coeficientes de reflexión según los materiales empleados en el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	137
<i>Tabla 17. Factor de utilización de luminarias. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	137
<i>Tabla 18. Factor de mantenimiento (aseo) del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	138
<i>Tabla 19. Flujo luminoso total necesario para iluminar el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	138
<i>Tabla 20. Cálculo del número de luminarias a emplear al Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	139
<i>Tabla 21. Emplazamiento de las luminarias en el espacio arquitectónico. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	139
<i>Tabla 22. Distancia entre las luminarias del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	140

<i>Tabla 23. Comprobación de resultados obtenidos por el método de los lúmenes y tablas. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	141
<i>Tabla 24. Zonas climáticas de El Salvador y Ubicación del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	143
<i>Tabla 25. Área o espacio de trabajo a climatizar. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	144
<i>Tabla 26. Carga térmica a evacuar según el método de unidades de potencia frigorífica. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	144
<i>Tabla 27. Capacidad total del equipo de climatización. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	145
<i>Tabla 28. Corriente de los sistemas eléctricos empleadas en el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	146
<i>Tabla 29. Generalidades de los sistemas eléctricos empleados en el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).</i>	146
<i>Tabla 30. Cuadro de distribución de cargas eléctricas. (Conexiones y espacios en el sub tablero y Balance de cargas). Fuente: Información obtenida del NEC (NFPA, 2017).</i>	147
<i>Tabla 31. Presupuesto de las Instalaciones eléctricas: Climatización, Luminarias y Tomacorrientes. Información obtenida de las cotizaciones de distribuidores de mobiliario nacionales. Fuente: Elaboración propia.</i>	148
<i>Tabla 32. Formato de la lista de equipos solicitados para financiamiento por parte del programa CTS de KOICA. Fuente: Programa de soluciones creativas (KOICA, 2015).</i>	164
<i>Tabla 33. Tabla de tarifas impuestas por el CIM para la certificación de instrumentos de metrología dimensional. Fuente: El Diario Oficial de la fecha 16 de mayo del 2022, Sección de certificación de instrumentos y equipos de Laboratorios, (Organismo Salvadoreño de Acreditación, 2022).</i>	167
<i>Tabla 34. Tabla de tarifas impuestas por el OSA para la certificación de instrumentos de metrología dimensional. Fuente: El Diario Oficial de la fecha 16 de mayo del 2022, Sección de servicio de acreditación de Laboratorios de ensayo, (Organismo Salvadoreño de Acreditación, 2022).</i>	168
<i>Tabla 35. Costos de operación anuales solicitados para financiamiento por parte del programa CTS de KOICA. Fuente: Programa de soluciones creativas (KOICA, 2015).</i>	169
<i>Tabla 36. Formato de detalle de aplicación para financiamiento del programa CTS por KOICA. Fuente: Programa de soluciones creativas (KOICA, 2015).</i>	170

## Índice de Planos.

<i>Plano 1. Propuesta del área designada para planta y área mínima para la ejecución de ensayos. Fuente: Elaboración propia.</i>	<u>126</u>
<i>Plano 2. Propuesta de la Ubicación del área designada para planta de ensayos. Fuente: Elaboración propia.</i>	<u>129</u>
<i>Plano 3. Propuesta de distribución de mobiliario y dimensiones del mismo. Fuente: Elaboración propia.</i>	<u>132</u>
<i>Plano 4. Propuesta de las instalaciones eléctricas (luminarias) en Planta. Fuente: Elaboración propia.</i>	<u>142</u>
<i>Plano 5. Propuesta de las instalaciones eléctricas (tomacorrientes de una y dos fases) en Planta. Fuente: Elaboración propia.</i>	<u>149</u>

## Índice de Anexos.

<i>Anexo 1. Resultados de la entrevista al Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad Don Bosco, guiada por el Ing. Rafael Pimentel.</i>	244
<i>Anexo 2. Resultados de la entrevista al Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, guiada por la Inga. Connie Paredes.</i>	245
<i>Anexo 3. Resultados de la entrevista al Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad Tecnológica de El Salvador, guiada por el Técnico David Medina.</i>	245
<i>Anexo 4. Infografía de la vista Noreste de la propuesta de diseño del Laboratorio. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 5. Infografía de la vista Suroeste de la propuesta de diseño del Laboratorio. Fuente: Elaboración propia</i>	245
<i>Anexo 6. Infografía de la vista Sur de la propuesta de diseño del Laboratorio. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 7. Infografía de la vista Oeste de la propuesta de diseño del Laboratorio. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 8. Ficha técnica de la Máquina Universal de Ensayos (equipo propuesto) de HST: modelo WDW-5E.</i>	245
<i>Anexo 9. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos de Zwick / Roell: modelo Z5.0 TS / 059006.</i>	245
<i>Anexo 10. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos de Liangong: modelo CMT-5L.</i>	245
<i>Anexo 11. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos de Cheng Yu: modelo WDW-5D.</i>	245
<i>Anexo 12. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos de Chantillion: modelo LD-5.</i>	245
<i>Anexo 13. Cotización del servicio de calibración de la célula de carga de la Máquina Universal de Ensayos de 5 kN y viáticos.</i>	245
<i>Anexo 14. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos de United Test: modelo WDW-5Y.</i>	245
<i>Anexo 15. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos (equipo propuesto) de HST: modelo WDW-5E.</i>	245
<i>Anexo 16. Fotografía de probetas de TPU elaboradas para pruebas de caracterización de propiedades mecánicas según el patrón de relleno, CIDIM. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 17. Fotografía de la viñeta de calibración computadora de control de la Máquina Universal de Ensayos del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 18. Fotografía de la Máquina Universal de Ensayos del CIDIM, capacidad de 100 toneladas. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 19. Fotografía de barra de Nylon (PA) ensayada a tensión sin alcanzar la ruptura por su alto rango de deformación, CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245

<i>Anexo 20. Fotografía de equipo Metro Com para ensayos de dureza (Brinell 2.5 y 5, Rockwell y Vickers), del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 21. Fotografía de equipo Newags para ensayos de dureza (Brinell 2.5 y 5) del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 22. Fotografía de equipo New Age para ensayos de dureza Rockwell del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 23. Fotografía de máquina de ensayos de impacto (Charpy y con modificaciones puede ensayar Izod) del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 24. Horno Heraeus para tratamientos térmicos de probetas y piezas de acero del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 25. Fotografía de impresora 3D Lulzbot Taz del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 26. Fotografía de prototipo de alabe y rodete de turbina Francis impresos en Nylon con FDM, en el CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 27. Fotografía de impresora 3D MakertBot Method X (multi-material) del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 28. Fotografía de probetas de TPU elaboradas para pruebas de caracterización de propiedades mecánicas según el patrón de relleno, CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 29. Fotografía de probetas de TPU, una ensayada y la otra sin ensayar, notándose la deformación por esfuerzos axiales, CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 30. Fotografía de prototipo de alabe de turbina Francis impresa en Resina con Polimerización VAT, en el CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 31. Fotografía de Máquina Universal de Ensayos del CEDITEC, capacidad de 100 toneladas, electrohidráulica. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 32. Fotografía de Máquina Universal de Ensayos del CEDITEC, capacidad de 100 toneladas y con accesorios para ensayos de flexión, electrónica. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 33. Fotografía de extensómetro para ensayos de tensión del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 34. Fotografía de probetas de acero del tipo I y III, CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 35. Fotografía de acople de mordaza para indentador del ensayo de flexión, del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 36. Fotografía de accesorios de ensayo de flexión (Soportes e indentador) del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.</i>	245
<i>Anexo 37. Fotografía de Impresora 3D Prusa i3 MK3 imprimiendo una pieza en PLA del 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.</i>	245

<i>Anexo 38. Fotografía de Impresora 3D estereolitográfica Formlabs Form2 del 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>245</i>
<i>Anexo 39. Fotografía de Impresora 3D Ultimaker 3 Extended del 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>245</i>
<i>Anexo 40. Fotografía de Impresora 3D Witbox2 del 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>245</i>
<i>Anexo 41. Fotografía de probetas de PLA, elaboradas para pruebas de caracterización de propiedades mecánicas según el patrón de relleno, 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>245</i>
<i>Anexo 42. Fotografía de pieza impresa en 3D en PLA, su aplicación requiere bajos esfuerzos mecánicos. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>245</i>
<i>Anexo 43. Fotografía del Divino Salvador del Mundo impreso en 3D en PLA, su aplicación es decorativa y no realiza ningún esfuerzo mecánico. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>245</i>
<i>Anexo 44. Fotografía de pieza impresa en 3D en PLA, su aplicación requiere altos esfuerzos mecánicos. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>245</i>
<i>Anexo 45. Fotografía de brazo mecánico impreso en 3D en PLA, su aplicación requiere altos esfuerzos mecánicos en especial las piezas de transmisión de movimiento. Fuente: Elaboración propia.</i>	<i>245</i>

## **Acrónimos y simbología.**

- *2PP, TPP: Two Photon Polymerization (Polimerización de Dos Fotones).*
- *3D: Tres dimensiones.*
- *3DLAB: Laboratorio 3D de la Universidad Tecnológica de El Salvador.*
- *A/D (Conversión Analógica a Digital): Conversión de señales analógicas a señales digitales con el fin de facilitar su procesamiento y reducir el ruido causante de interferencia.*
- *ABS: Acrylonitrile Butadiene Styrene (Acronitrilo butadiene estireno).*
- *AECID: Agencia Española de Cooperación Internacional Para El Desarrollo*
- *ASA: Acrylonitrile Styrene Acrylate (Acrilato de acrylonitrilo estireno).*
- *ASTM: American Society for Testing and Materials.*
- *BJ: Binder Jetting (Inyección de aglutinante).*
- *CAD: Computer – Aided Design (Diseño Asistido por Ordenador).*
- *CEDITEC: Centro de Diseño, Innovación y Tecnología de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.*
- *CF: Carbon Fiber (Fibra de Carbono).*
- *CIDIM: Centro de Innovación en Diseño Industrial y Manufactura de la Universidad Don Bosco.*
- *CIE: Comisión Internacional de Iluminación.*
- *CIM: Centro de Investigaciones de Metrología de la Universidad de El Salvador.*
- *CONACYT: Consejo Nacional De Ciencia Y Tecnología.*
- *CTS: Creative Technology Solution (Programa de Soluciones Tecnológicas Creativas).*
- *DIN: Deutsches Institut für Normung (Instituto alemán de normalización).*
- *DOD: Drop on Demand (Deposición por demanda).*
- *EBAM: Electron Beam Additive Manufacturing (Fabricación aditiva por haz de electrones).*
- *E/S (Entrada/Salida): Capacidad de un sistema de controlar y comunicarse con otros dispositivos mediante señales digitales*
- *FDM: Fused Deposition Modeling (Modelado por deposición fundida).*
- *FS (Full Scale): Límite superior del rango de medición de un dispositivo.*

- *GB: Conjunto de normas y métodos de prueba desarrollados por la Administración de Normalización de China (SAC).*
- *HIPS: High Impact Polystyrene (Poliestireno de alto impacto).*
- *ICT: Tecnologías de la Información y Comunicación.*
- *IEC: International Electrotechnical Commission.*
- *ISO: International Organization for Standardization.*
- *ITCA: Instituto Tecnológico Centroamericano.*
- *JICA: Japan International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional de Japón).*
- *JIN: Japanese Industrial Standards (Estándares industriales japoneses).*
- *KOICA: Korea International Cooperation Agency (Agencia de Cooperación Internacional de Corea).*
- *KRW: Korean Won (Moneda de curso legal en Corea del Sur).*
- *LAN: Local Area Network (Red de área local).*
- *LENS: Laser Engineered Net Shaping (Conformación de redes por ingeniería laser).*
- *LMM: Laser Metal Melting (Fundición por láser de metal).*
- *LOM: Laminated Object Manufacturing (Fabricación mediante laminado de objetos).*
- *MA, FA: Manufactura Aditiva, Fabricación Aditiva.*
- *MJ: Material Jetting (Inyección de material).*
- *MJF: Multi – Jet Fusion (Fusión por chorro múltiple).*
- *NEC: National Electrical Code (Código de Electricidad Nacional).*
- *OSA: Organismo Salvadoreño de Acreditación.*
- *PμSL: Projection Micro - Stereolithography (Microstereolitografía de proyección).*
- *PA: Polyamid (Poliamida – Nylon).*
- *PC: Polycarbonate (Policarbonato).*
- *PETG: Polyethylene Terephthalate Glycol (Tereftalato de polietileno con glicol).*
- *PLA: Polylactic Acid (Ácido poliláctico).*
- *PP: Polypropylene (Polipropileno).*
- *PVA: Polyvinyl Alcohol (Alcohol Polivinílico).*
- *PWM: Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso).*

- *SLA, VAT, MSLA,  $\mu$ SLA: Stereolithography (Proceso de curado de un polímero fotosensible mediante un láser ultravioleta).*
- *SLM, EBM: Selective Laser Melting (Proceso de fusión selectiva por láser).*
- *SLS: Selective Laser Sintering (Sinterización por láser selectiva).*
- *STL: Stereolithography extention (Extensión de archivos “. STL”, describe la superficie geométrica de un objeto 3D usando triángulos).*
- *TPU: Thermoplastic Polyurethane (Poliuretano Termoplástico).*
- *UACI: Unidad de Adquisiciones y Contrataciones Institucional.*
- *UC: Ultrasonic Consolidation (Consolidación por ultrasonidos).*
- *UCA: Universidad Centroamericana José Simeón Cañas*
- *UDB: Universidad Don Bosco.*
- *USD: United States Dollar (Moneda de curso legal en Estados Unidos de América).*
- *UTEC: Universidad Tecnológica de El Salvador.*
- *UTM: Universal Test Machine (Máquina de prueba universal).*

## **Objetivos.**

### Objetivo general.

- Proponer el diseño de un Laboratorio y la selección del equipo básico para la caracterización de materiales impresos por manufactura aditiva.

### Objetivos específicos.

- Determinar los ensayos básicos establecidos bajo normas, para la evaluación de las propiedades de los materiales fabricados mediante manufactura aditiva.
- Identificar los materiales comúnmente aplicados en la manufactura aditiva que serán la base de estudio para el Laboratorio de ensayos de materiales impresos por manufactura aditiva.
- Determinar los equipos e instrumentos necesarios para la realización de los ensayos.
- Seleccionar equipos e instrumentos necesarios para la ejecución de los ensayos.
- Identificar los posibles proveedores de equipos, instrumentos e insumos necesarios para el laboratorio.
- Elaborar la propuesta de diseño del laboratorio basándose en las “Normas Técnicas y Administrativas del Consejo de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador”.
- Detallar los procedimientos estandarizados para realizar los ensayos de manera precisa y confiable, garantizando la repetibilidad y comparabilidad de resultados.

## **Introducción.**

Recientemente la impresión 3D se ha posicionado como una de las más relevantes entre las nuevas tecnologías, gracias a la colaboración activa de usuarios que hacen uso del software libre y aprovechan el bajo costo del hardware y la materia prima, para la elaboración de proyectos. Sin embargo, el acelerado desarrollo de la impresión 3D ha llevado a una proliferación de materiales para su uso, sin la correspondiente documentación e investigación sobre sus propiedades. Esta falta de datos técnicos ha limitado el avance de la impresión 3D más allá del ámbito doméstico y creativo, impidiendo su adopción en aplicaciones industriales, como la fabricación de piezas y mecanismos finales y funcionales. Es por ello que este documento aborda el estudio específico de los materiales utilizados en la impresión 3D del Laboratorio de fabricación digital, centrándose en la tecnología de modelado por deposición fundida (FDM).

La presente investigación aborda los aspectos generales del funcionamiento de la impresión 3D FDM, la determinación de los materiales, ensayos clave para el laboratorio, la selección de equipos, instrumentos e insumos básicos en un laboratorio de ensayos de materiales de manufactura aditiva basándose en a los ensayos a realizar, la normativa vigente de los mismos, la geometría de la muestra a ensayar, el funcionamiento del equipo, componentes, rango de cargas aplicables en los ensayos, variables de control, precisión y exactitud de los resultados, disponibilidad de servicio técnico, accesorios y repuestos, entre otros criterios específicos. Asimismo, propone el diseño y distribución en planta mínima del laboratorio, la definición de procedimientos estandarizados para garantizar resultados precisos y confiables, garantizando la repetibilidad y comparabilidad de resultados. Finalmente propone posibles fuentes de financiamiento que implementen la investigación, considerando que la investigación tiene un enfoque académico y se toma como documento guía las “Normas Técnicas y Administrativas del Consejo de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador”.

Dado que la Industria 4.0 ha revolucionado la forma en que las empresas producen, mejoran y distribuyen sus productos, los fabricantes se ven en la necesidad de descubrir, desarrollar y aplicar nuevas tecnologías en sus instalaciones de producción y en todas sus operaciones como lo es la impresión 3D FDM. Por lo tanto, existe una necesidad apremiante de comprender y aprovechar al máximo los materiales y tecnologías disponibles. Esta investigación aborda estos desafíos desde una perspectiva académica y se adhiere a las normativas pertinentes para garantizar la calidad y la relevancia de los resultados.

## **Antecedentes.**

Tradicionalmente, en la Universidad de El Salvador se han realizado ensayos a materiales de manufactura en su mayoría metálicos y cerámicos, como método de estudio de sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Se realizan dichas prácticas con fines didácticos, aunque estas también verifican el cumplimiento las características de los materiales de manufactura acorde a los estándares de calidad y fichas técnicas que los acompañan, asegurando la fiabilidad en los mismos. Para llevar a cabo con éxito los ensayos, se aplican normas internacionales según el material a ensayar, que especifican requisitos técnicos que se deben cumplir como: la geometría de las probetas, variables de control, procedimientos a utilizarse entre otros, garantizando precisión, exactitud, repetibilidad y comparabilidad de la información recopilada del material.

Actualmente la Universidad de El Salvador cuenta, en diferentes Laboratorios, con equipos para ensayos de tensión y flexión en metales, cerámicos, compuestos y materiales de empaque. En la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en la Escuela de Ingeniería Industrial, se ubica el Laboratorio de Fabricación Digital, que potencia novedosas competencias en el sector estudiantil y en el sector empresarial del país. Sin embargo, no se posee un área especializada para analizar materiales aditivos. El resto de universidades e institutos tecnológicos del país, tampoco cuentan con equipo para realizar dichos ensayos.

Recientemente la Universidad de El Salvador desarrolló una tesis titulada: “Estudio sobre el efecto de la orientación de las capas de fabricación en la resistencia a la tensión y a la flexión en impresiones 3D MDF”, estudio en el cual, el investigador se enfrentó a la limitante de acceder a un laboratorio de ensayo de materiales de manufactura aditiva, ya que como se mencionó, el país no cuenta con instituciones que posean instalaciones que realicen este tipo de ensayos. El investigador recurrió a medidas de solución como: modificaciones en las dimensiones de las probetas, considerar la sensibilidad de la máquina en el

registro de cargas, fabricar mayor cantidad de probetas debido al alto riesgo de fractura por el mecanismo de sujeción por mordazas y otros factores que inciden en los resultados, afectando la confiabilidad en los mismos.

La presente investigación es un paso más en el proceso de establecer el primer laboratorio de ensayo de materiales de manufactura aditiva en El Salvador.

## **Capítulo 1. Marco teórico.**

### 1.1 La manufactura aditiva.

La MA revolucionó la forma en que se fabrican componentes y sistemas mecánicos, gracias a la innovadora tecnología de crear piezas capa por capa, lo que permite elaborar piezas de manera precisa y controlada. A diferencia de los métodos tradicionales que implican la eliminación de material, la manufactura aditiva brinda ventajas como la personalización, la eficiencia de diseño y la reducción del desperdicio de material.

La MA aplicada a la disciplina de la ingeniería mecánica ofrece ventajas como la producción de prototipos de manera rápida y eficiente, la fabricación de componentes ligeros y resistentes, entre otras; y abre un abanico de posibilidades que anteriormente parecían inalcanzables. En este contexto, el presente capítulo enuncia el concepto de la manufactura aditiva, expone brevemente la historia de la manufactura aditiva, y los tipos de manufactura aditiva, para establecer un criterio objetivo de cómo esta nueva tecnología puede asociarse con la ingeniería mecánica.

#### 1.1.1 Teoría de la manufactura aditiva.

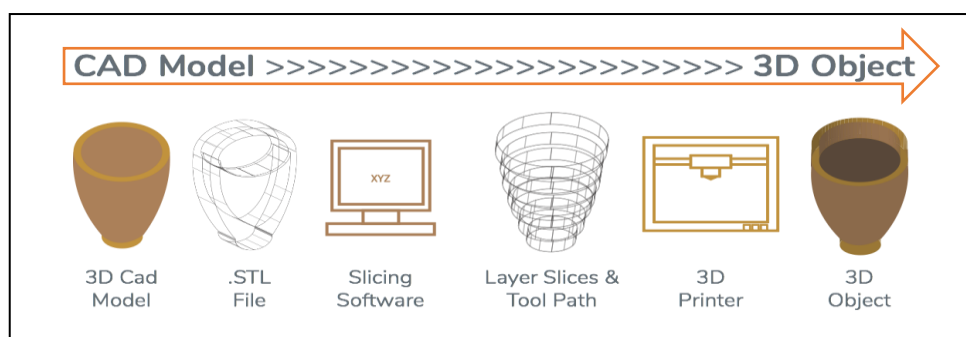
Los procesos de manufactura se pueden clasificar en las siguientes tecnologías:

- Conformativas, son aquellas que utilizan pre formas para obtener la geometría requerida como inyección de plástico y metales, etc.
- Sustractivas, son aquellas donde la geometría final se obtiene sustrayendo material de una superficie mayor como mecanizado, electroerosión, corte por agua o láser, etc.
- Aditivas, son aquellas donde se obtiene la geometría añadiendo material a partir de un programa de diseño, sin el uso de preformas y sin sustraer material.

El Ingeniero español Manuel Zahera Pérez<sup>1</sup>, en su libro *La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y desarrollo de productos*, describe la manufactura aditiva como:

*“La manufactura aditiva consiste en manipular material a escala micrométrica y depositarlo de forma muy precisa para construir un sólido.” (Zahera, 2012).*

En este sentido, se entiende por fabricación aditiva a un conjunto de tecnologías que permiten crear una pieza mediante el proceso de unión de capas de material añadidas de forma sucesiva, donde se emplea una amplia gama de materiales, tales como polímeros, cerámicos, metales, hormigón, incluso alimentos y células. Las piezas elaboradas por fabricación aditiva siguen cinco etapas previas, presentadas en la *Figura 1-1*. Proceso completo de la fabricación aditiva en etapas, desde su concepción en un software CAD hasta la elaboración de la pieza física. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://advance3d.com/el-proceso-completo-de-la-fabricacion-aditiva/>, las cuales son críticas para asegurar la calidad de la pieza final, se inicia modelando la pieza en un entorno CAD, este archivo es convertido a formato .STL el cual permite la creación rápida de prototipos, el archivo es introducido en el Software de impresión, para poder seleccionar el camino de impresión más eficiente y las capas del prototipo y finalmente la máquina de impresión elabora la pieza física.



*Figura 1-1. Proceso completo de la fabricación aditiva en etapas, desde su concepción en un software CAD hasta la elaboración de la pieza física. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://advance3d.com/el-proceso-completo-de-la-fabricacion-aditiva/>*

<sup>1</sup> Ingeniero, escritor y consultor. Fue director en proyectos de innovación como GHESA, EUREKA, CITIUS y dirigió la Fundación Cotec.

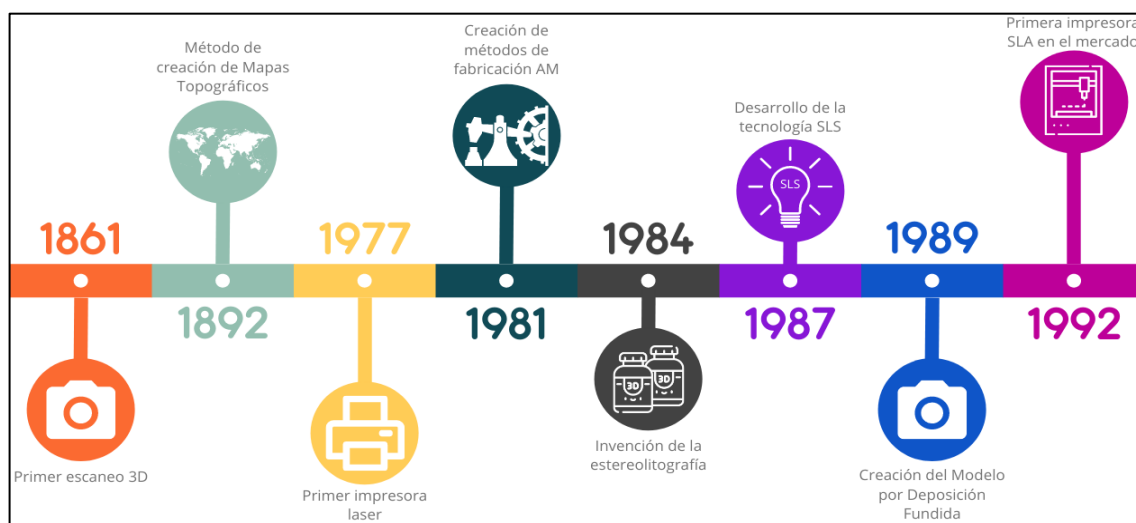
### 1.1.2 Historia de la manufactura aditiva.

La evolución de la manufactura aditiva, desde sus inicios hasta la actualidad, queda plasmada de manera cronológica en la línea de tiempo ilustrada en la *Figura 1-2*. Los hitos y desarrollo clave de la manufactura aditiva se detallan a continuación:

El primer registro de la impresión 3D utilizando tecnología aditiva fue atribuido al inventor japonés Hideo Kodama en el año 1981. Kodama diseñó una máquina que utilizaba un haz de luz ultravioleta para endurecer una resina de un polímero fotosensible y de esta manera crear objetos sólidos.

Charles Hull inventó la estereolitografía, utilizó el método de impresión capa por capa que luego se aclara con un disolvente y este es curado por medio de un haz de luz ultravioleta. El proceso utiliza diseños asistidos por ordenador para modelado 3D (CAD).

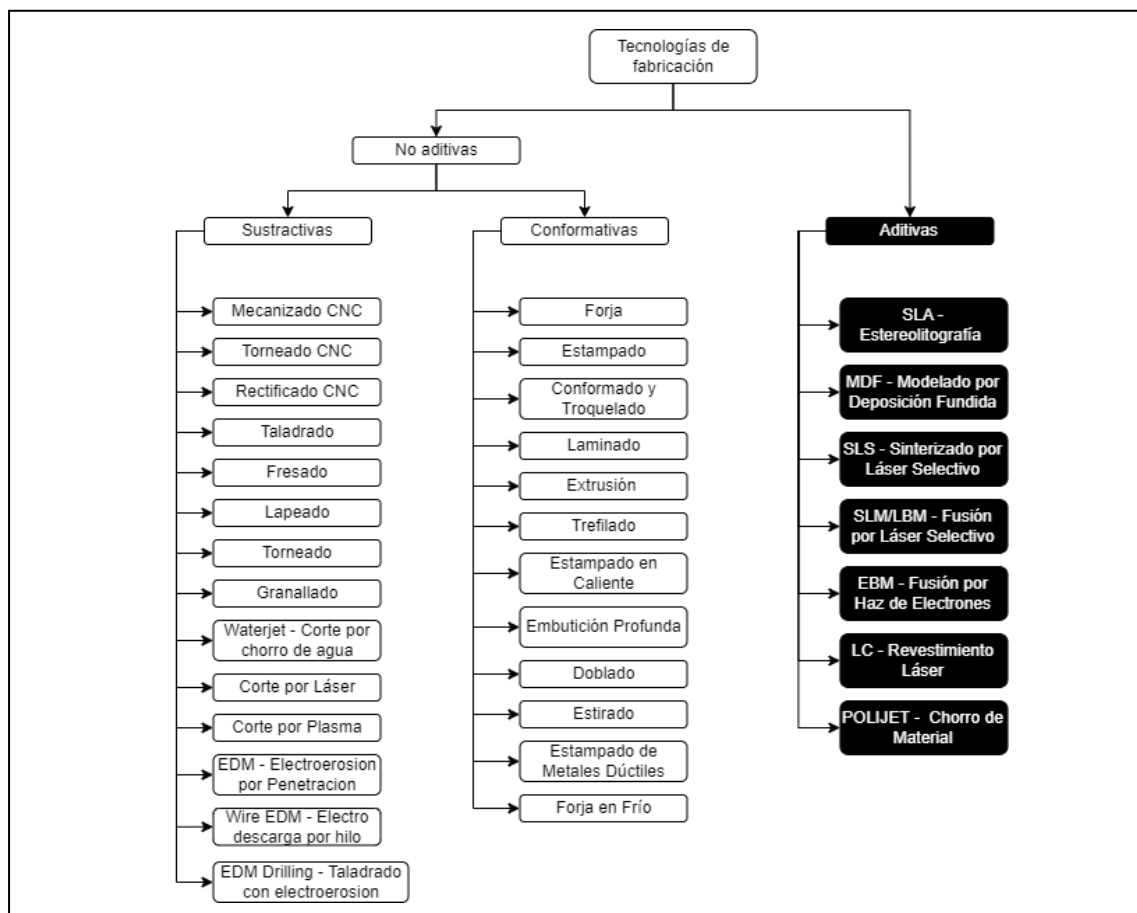
El sinterizado selectivo por láser (SLS) nace como una forma avanzada de impresión 3D, este método utiliza la fabricación aditiva y un polímero de polvo que comúnmente es nylon, para la creación de objetos. La tecnología SLS utiliza un láser ultravioleta para fusionar el polvo capa por capa, en formas más complejas que las que puede crear el SLA.



*Figura 1-2. Línea de tiempo de la impresión 3D. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://kumotica.es/blog/impresion-3d/historia-de-la-impresion-3d-ano-a-ano>*

El modelado por deposición fundida (FDM), fue desarrollado por Scott Crump, y es la forma más común de impresión 3D en la actualidad. Para formar un objeto, la impresora calienta un cable termoplástico en forma líquida y lo extruye depositándolo capa por capa.

La alta demanda de diseños personalizados, la búsqueda de mayor eficiencia y la necesidad de optimizar recursos han permitido una diversificación en las tecnologías de fabricación como se muestra en la *Figura 1-3*. Desde las tecnologías de fabricación sustractivas y conformativas, que tradicionalmente han dominado la industria, hasta las tecnologías de fabricación aditivas, que han emergido como una fuerza innovadora. Hoy en día, el proceso de fabricación de un componente requiere la aplicación de una o más tecnologías de fabricación, dependiendo de la complejidad de la geometría de la pieza, el material a utilizar y los recursos disponibles, entre otros factores.



*Figura 1-3. Esquema de la clasificación de las tecnologías de fabricación, agrupadas en aditivas y no aditivas. En la rama de las tecnologías no aditivas, se incluyen las tecnologías de herramientas rápidas (sustractivas y conformativas) y en la rama de las tecnologías aditivas, se incluyen las tecnologías de fabricación aditivas con más presencia en la actualidad. Fuente: Elaboración propia.*

## 1.2 Categorías de manufactura aditiva.

La impresión 3D es el conjunto de los métodos de fabricación aditiva, por lo que el panorama de la FA a menudo se ve plagado de términos complejos. Desde términos impuestos por fabricantes a sus tecnologías y sus correspondientes acrónimos, hasta materiales. Es por ello que en la norma *ISO/ASTM 52900:2021* agrupa en una clasificación de ocho categorías tecnológicas aditivas básicas de las que se ramifican las tecnologías propias de los fabricantes o sus nombres genéricos como se muestra en la *Figura 1-4*.

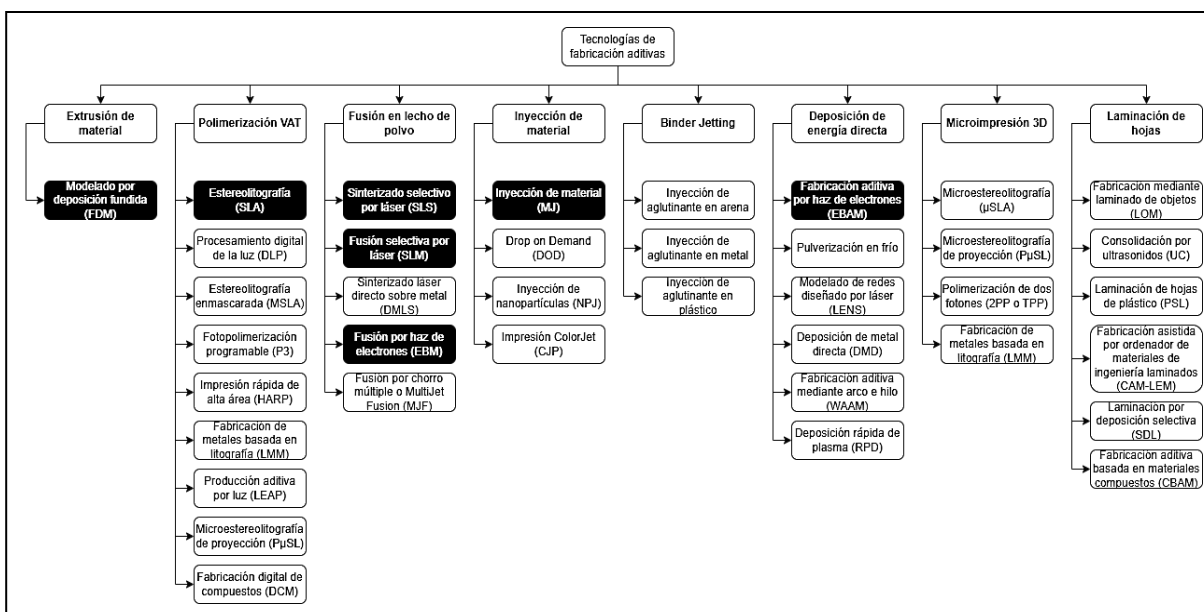


Figura 1-4. Esquema de la clasificación de las tecnologías de fabricación aditivas según la ISO/ASTM 52900:2021. Se señalan las tecnologías de fabricación aditivas con más presencia en la actualidad. Fuente: Información obtenida de la Página Web: Tipos de impresoras 3D: las 7 tecnologías de impresión 3D, (All3DP, 2022).

Las ocho categorías son las siguientes:

### 1.2.1 Extrusión de material.

La extrusión de material implica la aplicación de fuerza para empujar el material a través de un perfil, alterando así su forma, tal como se ilustra en la *Figura 1-5*.

- *Tipos de tecnologías de impresión 3D:* Modelado por Deposición Fundida (FDM).

- *Precisión dimensional:*  $\pm 0.5$  % (límite inferior  $\pm 0.5$  mm).
- *Aplicaciones comunes:* Carcasas eléctricas, pruebas de forma y ajuste, plantillas y fijaciones, patrones de fundición de precisión.
- *Ventajas:* Gama de colores variada, disposición de múltiples materiales y tecnología económica.

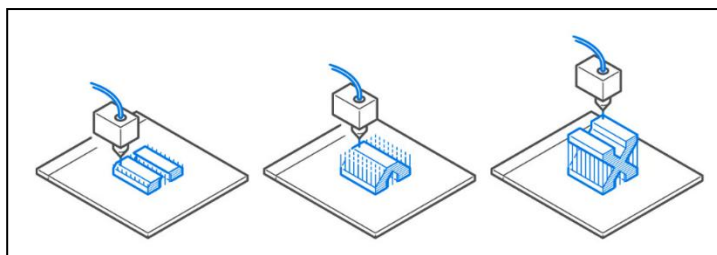


Figura 1-5. Tecnología de impresión 3D del tipo: Extrusión de material. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

### 1.2.2 Polimerización VAT.

La polimerización VAT es un proceso de fabricación aditiva que se basa en la tecnología de resina fotosensible. En este método, una resina líquida se solidifica capa por capa mediante la exposición selectiva a la luz ultravioleta, como se muestra en la *Figura 1-6*.

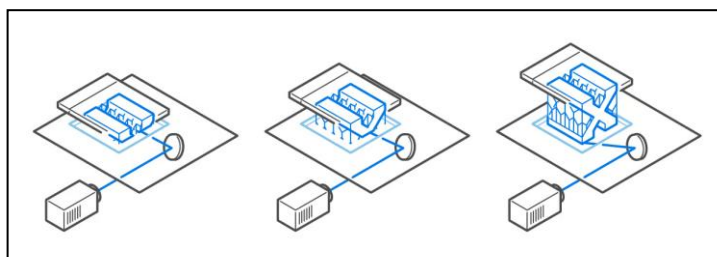


Figura 1-6. Tecnología de impresión 3D del tipo: Polimerización VAT (en tanque con láser). Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

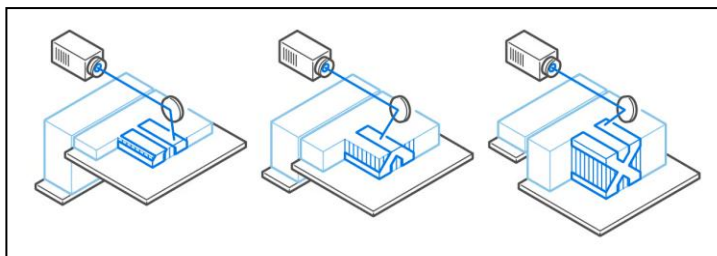
- *Tipos de tecnologías de impresión 3D:* Estereolitografía (SLA), Estereolitografía Enmascarada (MSLA), Micro estereolitografía ( $\mu$ SLA), entre otras.
- *Precisión dimensional:*  $\pm 0.5$  % (límite inferior  $\pm 0.15$  mm o en el caso de la  $\mu$ SLA  $\pm 0.005$   $\mu$ m).

- *Aplicaciones comunes:* Prototipos de polímero en forma de molde de inyección, fundición de joyas, aplicaciones dentales.
- *Ventajas:* Acabado superficial de alto detalle y precisión.

### 1.2.3 Fusión en lecho de polvo.

La fusión en lecho de polvo es un proceso de fabricación aditiva en el que capas sucesivas de polvo metálico o de otro material se fusionan mediante un láser o haz de electrones, como se muestra en la *Figura 1-7*.

- *Tipos de tecnologías de impresión 3D:* Sinterizado Selectivo por Láser (SLS), Fusión Selectiva por Láser (SLM), Fusión por Haz de Electrones (EBM), Fusión por chorro múltiple o Multi-Jet Fusión (MJF), entre otras.
- *Precisión dimensional:*  $\pm 0.1$  mm
- *Aplicaciones comunes:* Piezas metálicas funcionales (para el sector aeroespacial y automovilístico), piezas médicas y dentales
- *Ventajas:* Piezas funcionales más robustas, geometrías complejas.



*Figura 1-7. Tecnología de impresión 3D del tipo: Fusión en lecho de polvo o Powder Bed Fusion. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>*

### 1.2.4 Inyección de material.

La inyección de material es un proceso en el que un material fundido se inyecta en un molde o boquilla para crear capas sucesivas y construir un objeto tridimensional. Este método, utilizado en tecnologías como la impresión 3D por inyección de resina fotosensible, la cual es curada inmediatamente por una fuente de luz ultravioleta, como se muestra en la *Figura 1-8*.

- *Tipos de tecnologías de impresión 3D:* Inyección de material (MJ), Drop on Demand (DOD), entre otras.

- *Precisión dimensional:*  $\pm 0.1$  mm
- *Aplicaciones comunes:* Prototipos de productos a todo color, prototipos similares a moldes de inyección, moldes de inyección de poca tirada, modelos médicos.
- *Ventajas:* Acabado de superficie óptimo, gama completa de colores y múltiples materiales disponibles.

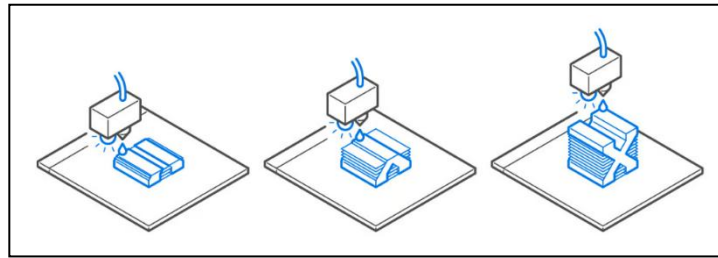


Figura 1-8. Tecnología de impresión 3D del tipo: Inyección de Material o Material Jetting. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

#### 1.2.5 Binder jetting.

El binder jetting es una técnica de manufactura aditiva que utiliza un polvo como material base. En este proceso, un aglutinante líquido se aplica selectivamente sobre capas de polvo, uniendo partículas para formar la geometría deseada. Este método versátil permite la creación de objetos complejos y se utiliza en la producción de piezas con diversos materiales, como se muestra en la *Figura 1-9*.

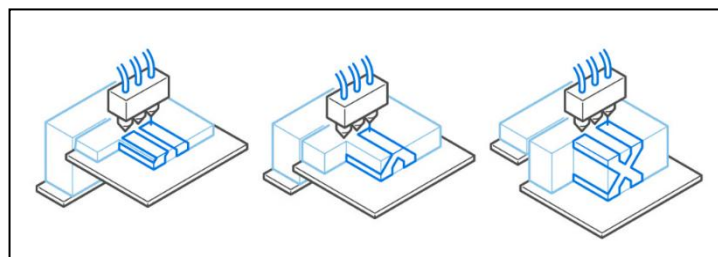


Figura 1-9. Tecnología de impresión 3D del tipo: Inyección de Aglutinante o Binder Jetting. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

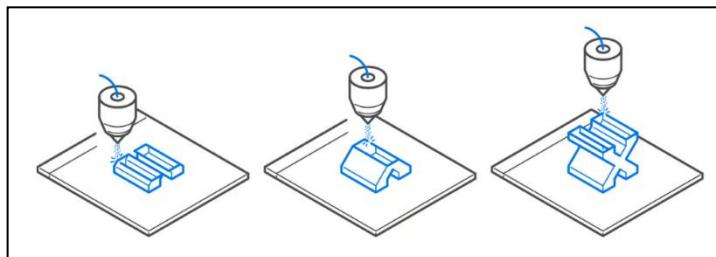
- *Tipos de tecnologías de impresión 3D:* Inyección de Aglutinante (BJ) en plástico, arena o metal.
- *Precisión dimensional:*  $\pm 0.2$  mm (metal) o  $\pm 0.3$  mm (arena).

- *Aplicaciones comunes:* Piezas metálicas funcionales, modelos a todo color, fundición en arena.
- *Ventajas:* Bajo coste, grandes espacios de construcción, piezas metálicas funcionales.

#### 1.2.6 Deposición de energía directa.

La deposición de energía directa es un método de manufactura aditiva en el cual un cabezal de impresión deposita material fundido capa por capa para construir la pieza tridimensional, como se ilustra en la *Figura 1-10*.

- *Tipos de tecnologías de impresión 3D:* Conformación de redes por ingeniería Láser (LENS), Fabricación Aditiva por Haz de Electrones (EBAM), Pulverización en frío, entre otras.
- *Precisión dimensional:*  $\pm 0.1$  mm
- *Aplicaciones comunes:* Reparación de componentes de automoción y aeroespaciales de alta gama, prototipos funcionales y piezas finales.
- *Ventajas:* No son muy necesarias las estructuras de soporte, permite mezclar metales, capacidad de trabajo tridimensional.



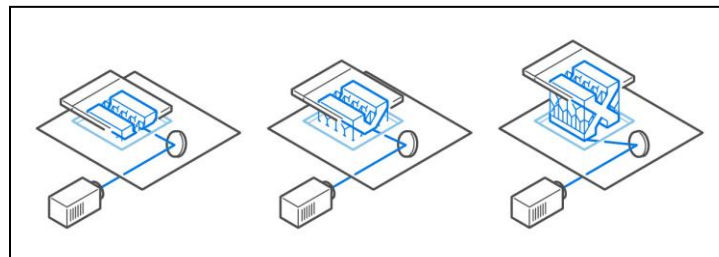
*Figura 1-10. Tecnología de impresión 3D del tipo: Disposición de Energía Directa con polvo. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>*

#### 1.2.7 Microimpresión 3D.

La microimpresión 3D es una técnica avanzada de fabricación aditiva que se centra en la creación de estructuras tridimensionales a una escala microscópica. Utilizando tecnologías de alta precisión, como la estereolitografía y la polimerización de vatios, la microimpresión 3D permite la producción de

objetos minúsculos con detalles extremadamente finos, como se ilustra en la *Figura 1-11*.

- *Tipos de tecnologías de impresión 3D:* Microstereolitografía ( $\mu$ SLA), Microstereolitografía de Proyección (P $\mu$ SL), Polimerización de Dos Fotones (2PP o TPP), Fabricación de Metales basada en la litografía (LMM).
- *Precisión dimensional:*  $\pm 30 \mu\text{m}$
- *Aplicaciones comunes:* Parches de micro agujas, implantes médicos, circuitos, etc.
- *Ventajas:* Piezas fuertes pero diminutas, más rentables que mediante la micro fabricación tradicional.



*Figura 1-11. Tecnología de impresión 3D del tipo: Microimpresión 3D. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>*

### 1.2.8 Laminación de hojas.

La impresión 3D por laminación de hojas es un proceso que construye objetos tridimensionales capa por capa utilizando láminas de material. Cada capa, generalmente delgada y plana, se une a las capas adyacentes para formar la estructura final, como se muestra en la *Figura 1-12*.

- *Tipos de tecnologías de impresión 3D:* Fabricación mediante laminado de objetos (LOM), consolidación por ultrasonidos (UC), entre otras.
- *Precisión dimensional:*  $\pm 0.1 \text{ mm}$
- *Aplicaciones comunes:* Prototipos no funcionales, impresiones multicolor, moldes de fundición.

- **Ventajas:** Bajo coste, permite producir piezas con rapidez, impresiones compuestas.

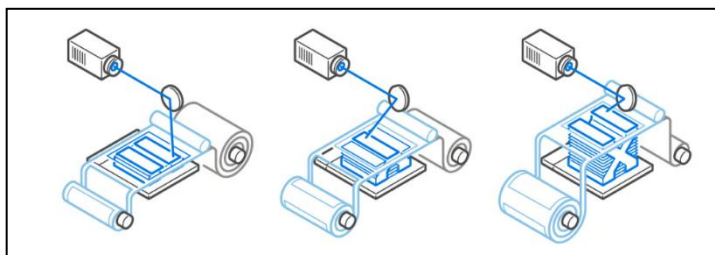


Figura 1-12. Tecnología de impresión 3D del tipo: Laminación de hojas. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

Estos ocho procesos de impresión 3D han dado lugar a más de treinta métodos diferentes que las impresoras 3D utilizan hoy en día<sup>2</sup>. De esta amplia gama de tecnologías de impresión 3D, en la *Figura 1-13* se presentan las más extendidas por el mundo según la norma *UNE-EN ISO 17296-2:2017*.

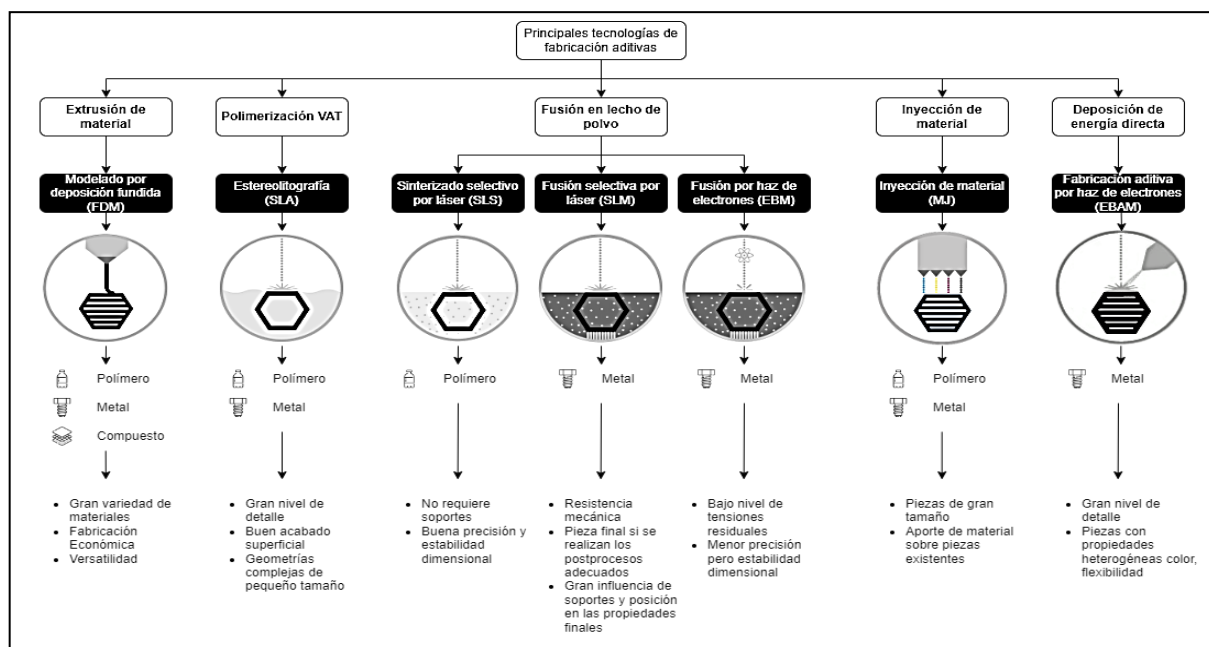


Figura 1-13. Esquema de las principales tecnologías de fabricación aditiva en la actualidad según la *UNE-EN ISO 17296-2:2017*. Fuente: Información obtenida de la Página Web: *Nomenclatura de la Fabricación Aditiva*, (INGENIUS, 2019).

<sup>2</sup> All3DP. (2022). Tipos de impresoras 3D: Las 7 tecnologías de impresión 3D. All3DP. <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

### 1.3 Materiales utilizados en la manufactura aditiva FDM.

El desarrollo de materiales impulsa la evolución de la manufactura aditiva, debido a la amplia oferta de materiales en el mercado. Gracias a esta variedad, es posible encontrar materiales específicos para aplicaciones que requieran características concretas.

En el caso de la tecnología de extrusión de filamento (FDM), hay una amplia gama de materiales y máquinas disponibles en el mercado. Además, tiene aplicaciones industriales, pero muchos usuarios no profesionales pueden no estar dispuestos a invertir recursos en estudiar la correcta aplicación de un material de manufactura aditiva. Para este tipo de usuarios, puede ser útil revisar los principales materiales y sus características como se propone a continuación:

Con el objetivo de dirigir la investigación hacia los materiales empleados en el Laboratorio de Fabricación Digital, en esta sección se presentan los materiales enfocados en el método de impresión 3D en el proceso FDM.

#### 1.3.1 PLA - Ácido Poli-Láctico.

Es un biopolímero termoplástico cuya molécula precursora es el ácido láctico. Puede obtenerse por dos vías: la química o la biotecnológica. La producción química se basa en la reacción de acetaldehído con ácido cianhídrico para dar lacto nitrilo, el cual se hidroliza para obtener ácido láctico. La parte biotecnológica está basada en la fermentación de sustratos ricos en carbohidratos por microorganismos.

El PLA se puede producir mediante la polimerización por condensación directa de su ácido láctico, que se deriva de la fermentación de glucosa de fuentes de carbohidratos como el maíz, la caña de azúcar, el trigo y la papa.

Es fácil de imprimir. Da lugar a piezas rígidas, relativamente resistentes (a tensión), pero frágiles y se degradan con el tiempo. Poca resistencia al calor y a la humedad. Disponible en prácticamente cualquier color, es además un material orgánico y biodegradable que no emite gases nocivos. Las características más relevantes del PLA se presentan en la *Figura 1-14*.

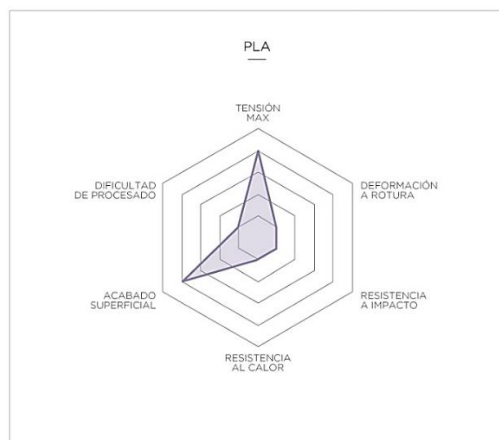


Figura 1-14. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PLA. Fuente: <https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/>

### 1.3.2 ABS - Acrilonitrilo Butadieno Estireno.

También es conocido como plástico de ingeniería debido a que su elaboración y procesamiento son más complejos que los plásticos comunes, como las poliolefinas (polietileno, polipropileno). Sus siglas indican los tres monómeros utilizados para producirlo: acronitrilo, butadieno y estireno. El bloque de butadieno, que es un elastómero, proporciona tenacidad a cualquier temperatura. Esto es relevante para aplicaciones en ambientes fríos, en los que otros plásticos se vuelven quebradizos. El bloque de estireno aporta resistencia mecánica y rigidez.

Las características más relevantes del ABS se presentan en la *Figura 1-15*. Este material posee mejores propiedades mecánicas, sobre todo resistencia a la temperatura y una mayor durabilidad. Más dificultad a la hora de

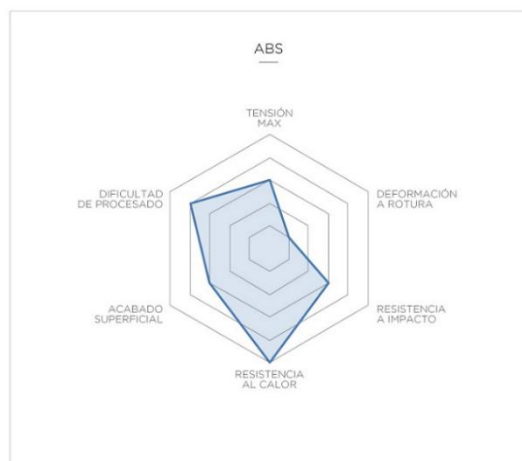


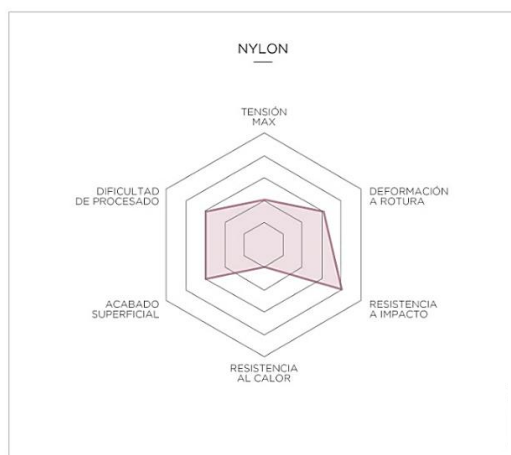
Figura 1-15. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del ABS. Fuente: <https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/>

imprimir: altas temperaturas y una mala adhesión a la cama provocan un efecto warping considerable, además emite gases nocivos.

### 1.3.3 PA – Poliamida / Nylon.

Las poliamidas, designadas con las siglas PA, son polímeros que contienen enlaces de tipo amida y pueden ser naturales, como la lana o la seda, o sintéticas, como el nylon o el Kevlar. El nylon, la poliamida más reconocida, es un sólido opaco y blanco, que puede tomar diversas formas, siendo las más conocidas la rígida y la fibra. Este material es resistente al rozamiento, al desgaste y a agentes químicos, y se obtiene a partir de derivados de productos petrolíferos y aceites, generando monofilamentos continuos que se utilizan en la fabricación de tejidos resistentes y ligeros.

El nylon posee buenas propiedades mecánicas, particularmente la resistencia al impacto y a la corrosión y por tanto duradero. Las bobinas comerciales son en realidad un termoplástico cargado de poliamida, lo que facilita en gran medida la extrusión de un material que sin embargo no mantiene todas las propiedades del nylon como tal. Destaca su poca resistencia a la temperatura. Las características más relevantes del PA se presentan en la *Figura 1-16*.



*Figura 1-16. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PA (Nylon). Fuente: <https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/>*

### 1.3.4 TPU - Poliuretano Termoplástico.

Es un elastómero termoplástico procesable por fusión con una excelente flexibilidad, durabilidad y resistencia a la abrasión. Destaca por su durabilidad, alta capacidad de amortiguación y resistencia a la deformación, superior a otros

materiales. Es un material con gran resistencia al impacto, temperatura y corrosión. Duradero y flexible, lo que lo convierten en un material interesante. Difícil de imprimir.

El TPU es resistente a temperaturas ambientales de hasta 80 grados centígrados, alta resistencia a la abrasión, puede soportar impactos y es resistente a muchos productos químicos.

Hay diferentes versiones de material de TPU, pero en general se pueden clasificar en dos tipos. Primero conocido como Poliéster Poliuretano y segundo Poliéster Poliuretano. Las características más relevantes del TPU se presentan en la Figura 1-17.

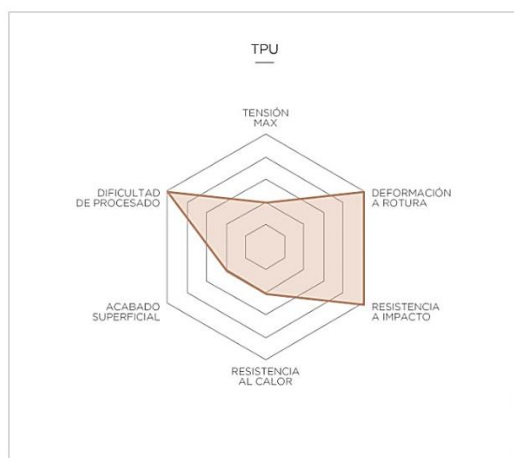


Figura 1-17. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del TPU. Fuente: <https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/>

### 1.3.5 PC – Poli Carbonato.

El policarbonato es un termoplástico que se obtiene mediante la policondensación de bisfenol A y fosgeno, lo que resulta en un material con propiedades valiosas para diversas aplicaciones industriales. Es un material rígido, de dimensión estable, resistente altas temperaturas (hasta 100 °C sin deformarse) y con buena resistencia al impacto. Su rigidez y estabilidad permiten que las piezas que imprima conserven su forma y la precisión dimensional. La resistencia de alto impacto hace que sea un material rígido, idóneo para aplicaciones de alta durabilidad, como el prototipado funcional y herramientas de manufactura. Las características más relevantes del PC se presentan en la Figura 1-18.

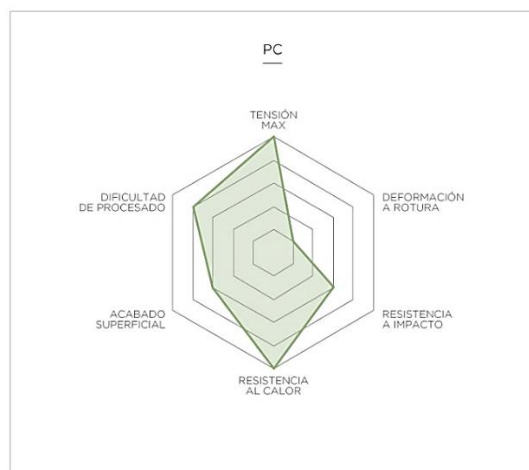


Figura 1-18. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PC. Fuente: <https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/>

### 1.3.6 PETG – Polietileno Tereftalato modificado con Glicol.

Poco habitual como único polímero, es común encontrarlo en el mercado como PETG, una combinación del PET con glicol. El glicol crea cadenas más largas, que no se unen con otras. Esto detiene la cristalización del PET. Las piezas obtenidas con el filamento PETG tienen unas propiedades mecánicas similares al ABS tanto a flexión como a tensión o a impacto, pero con la facilidad de impresión similar a la del PLA. Las características más relevantes del PETG se presentan en la *Figura 1-19*.

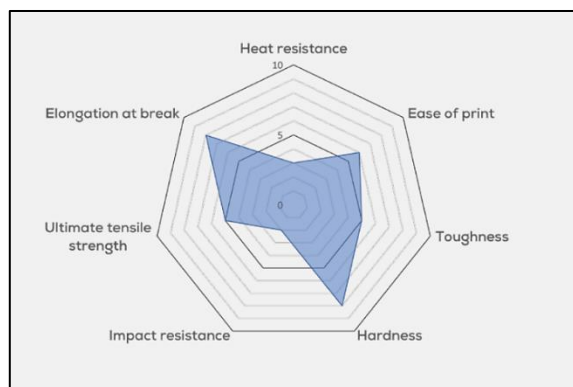
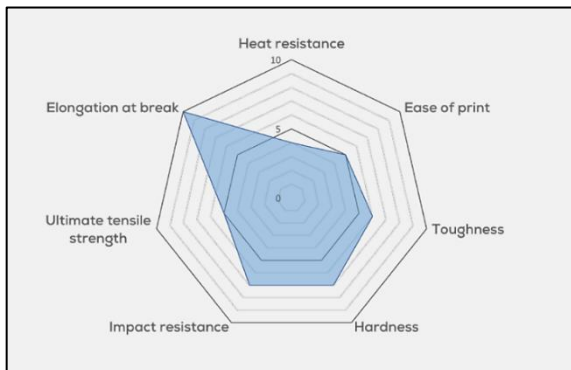


Figura 1-19. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PETG. Fuente: <https://spectrumfilaments.com/en/filament/pet-g-ptfe/>

### 1.3.7 ASA - Acrilonitrilo Estireno Acrilato.

Es un termoplástico formado por acrilato, estireno y acrilonitrilo usado en impresión 3D, tiene propiedades similares a las del ABS. Este material combina propiedades de resistencia y durabilidad, siendo resistente a la intemperie y a los rayos UV. Además, el ASA posee una buena estabilidad dimensional y es adecuado para aplicaciones que requieren resistencia al impacto y a las

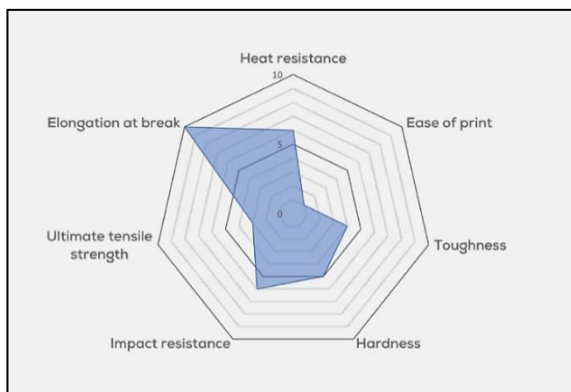
condiciones climáticas adversas. Aunque tiene una mayor dificultad de impresión comparada con otros filamentos. Las características más relevantes del ASA se presentan en la *Figura 1-20*.



*Figura 1-20. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del ASA. Fuente: <https://spectrumfilaments.com/en/filament/asa-275/>*

### 1.3.8 PP – Poli Propileno.

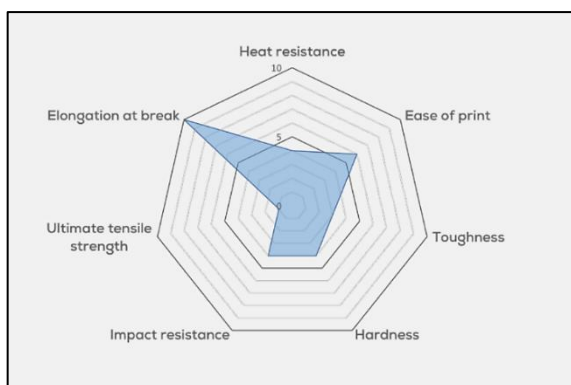
Es un polímero termoplástico ampliamente utilizado en la industria, conocido por su versatilidad, ligereza, resistencia química y a la humedad, así como su capacidad para resistir altas temperaturas. El PP se utiliza en una variedad de aplicaciones, desde envases y textiles hasta componentes automotrices. Su impresionante resistencia a la tensión lo convierte en una opción ideal para la fabricación de elementos que requieren durabilidad sin sacrificar la flexibilidad, como contenedores sellados y mangos, entre otros. El PP se puede emplear tanto en proyectos de ingeniería avanzada como en aplicaciones de uso doméstico. Las características más relevantes del PP se presentan en la *Figura 1-21*.



*Figura 1-21. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del PP. Fuente: <https://spectrumfilaments.com/en/filament/pp/>*

### 1.3.9 HIPS - Poliestireno de alto impacto.

Es un polímero termoplástico que se deriva del estireno y el butadieno. Es conocido por su resistencia al impacto y su capacidad para absorber energía en situaciones de choque o impacto, lo que lo hace ideal para aplicaciones donde se requiere una mayor tenacidad. El HIPS es un material versátil que se utiliza en la fabricación de juguetes, envases, componentes automotrices y otros productos. El HIPS es apreciado por su capacidad para disolverse en limoneno, un solvente no tóxico, lo que facilita la creación de modelos de soporte que se pueden eliminar de manera efectiva. Las características más relevantes del HIPS se presentan en la *Figura 1-22*.



*Figura 1-22. Diagrama de radar de las propiedades mecánicas del HIPS. Fuente: <https://spectrumfilaments.com/de/filament/hips-x/>*

Identificar todos los materiales aplicados en la tecnología FDM no es sencillo debido a su variedad y a que cada uno de ellos tiene sus propias características y propiedades según su fabricante. Sin embargo, es posible obtener un panorama general al organizar los materiales comúnmente empleados en la manufactura aditiva, tal como se muestra en la *Figura 1-23*.

GUIA DE MATERIALES DE IMPRESIÓN 3D EN FDM													
	MATERIAL	PLA	PLA +ADITIVO	PETG	ABS	ASA	NYLON	PP	PC	TPU	PVA	HIPS	
TEMPERATURA	Tª cabezal	180-210°	200-220°	230-250°	220-250°	220-245°	220-270°	220-250°	260-310°	225-245°	185-200°	230-245°	
	Tª cama	0-50°	50°	75-90°	90-110°	90-110°	70°-90°	85-100°	80-120°	0-60°	45-60°	100°	
	Tª servicio	51°	Variable	73°	98°	95°	80-95°	100°	121°	60-74°	75°	100°	
	TOXICIDAD	Inocuo		Inocuo	muy toxico	toxico	Inocuo	toxico	toxico		Inocuo	muy toxico	
IMPRESIÓN	DIFICULTAD	facil	media	media	difícil	difícil	difícil	complicado	complicado	difícil	media	media	
	COMPLICACIONES			stringing	warping	warping	warping	stringing higroscopico	warping higroscopico	stringing	higroscopico		
PREPARACIÓN	SUPERFICIE	Vidrio	Vidrio	Vidrio	Vidrio PEI	PET	Carbolita PEI	PP	PEI	PEI	Vidrio	PEI Vidrio	
	CINTA	Azul	Azul	Azul	Kapton	Kapton		Embalaje		Kapton	Azul	Kapton	
	TRATAMIENTO	LACA	LACA	COCA	acetona con ABS		COCA		COCA		LACA	COCA	
	AÑADIDO				brim y raft	brim y raft	brim y raft	brim y raft					
	ESPECIAL		nozzle acero							extrusor directo			
	AMBIENTE	abierta	abierta		cerrada		cerrada	cerrada	cerrada	cerrada		abierta	cerrada
	VENTILADOR DE CAPA	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	
CARACTERÍSTICAS	DIFERENCIACIÓN	bioplástico	compuesto	versatil	buena mecanica	buena mecanica	excelente mecanica	lijero	duro y resistente	deformable	soluble agua	soluble limoneno	
	MECANICAS			resistencia quimica	resistencia temperatura	resistencia temperatura		resistencia temperatura	resistencia temperatura			resistencia temperatura	
		fragil		resistente fatiga	resistente impacto	resistente impacto	resistente impacto	resistente impacto	resistente impacto	resistente fatiga	resistente fatiga		
	duro		impermeable	mecanizable	resistencia luz UV		impermeable	resistente impacto	blando	elastico	blando	blando	
ACABADOS	ACABADOS SUPERFICIALES	pulido pintura resina	pulido	pulido	pulido vapor acetona	pulido			pulido				

Figura 1-23. Guía de materiales de Impresión 3D en FDM. Fuente: Imagen obtenida de la Página Web: <https://capasobrecapa.com/materiales-fdm/>

#### 1.4 Ensayos a materiales de manufactura aditiva.

La presente investigación propone el diseño del Laboratorio de ensayo de materiales de manufactura aditiva, y para que esta sea conveniente, se toma un enfoque en los ensayos clave de materiales que describen una o más propiedades, esenciales para emplearlos correctamente. Es por ello que en esta sección se desarrolla de forma resumida, la teoría y las normas referente a:

- *Ensayo de Tensión*
- *Ensayo de Flexión*

Cabe mencionar que los ensayos mencionados se describen exclusivamente para materiales de manufactura aditiva, debido a que las propiedades de estos materiales responden de manera única ante las fuerzas externas que actúan sobre él. Varían según el tipo de polímero, variables de fabricación de la muestra, variables de control en el ensayo y del proceso de transformación al que se somete. Para una mejor comprensión de los tipos de ensayos a revisar, se ha elaborado el esquema presentado en la *Figura 1-24*.

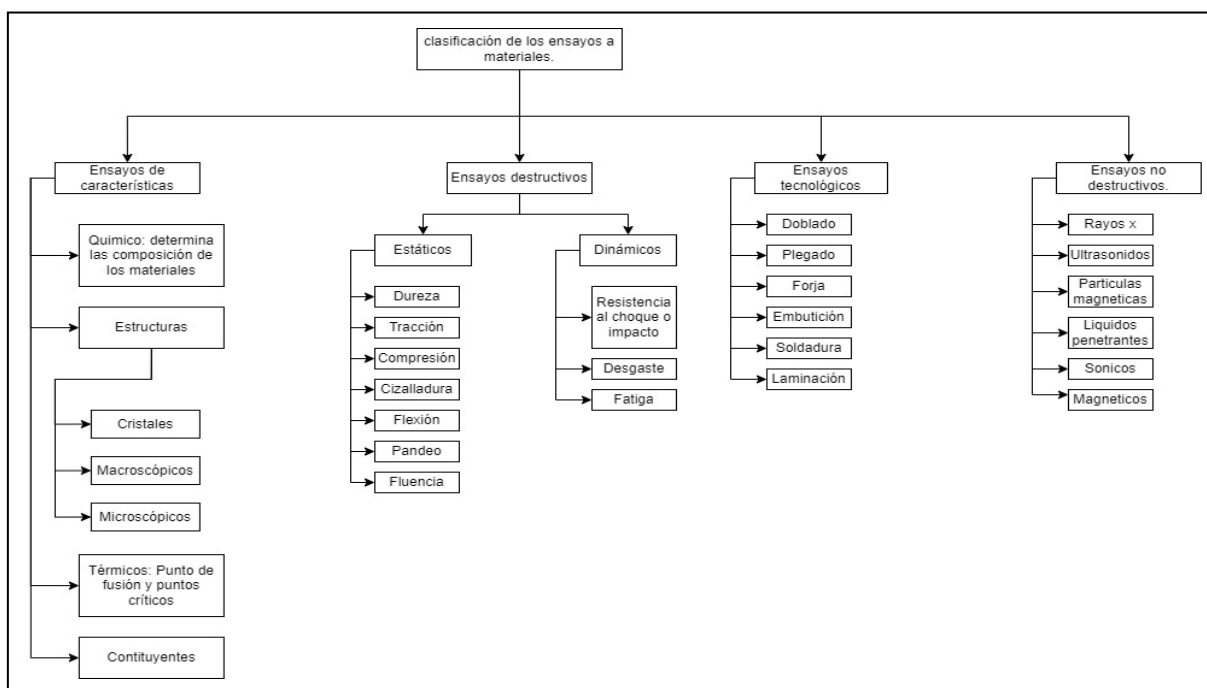


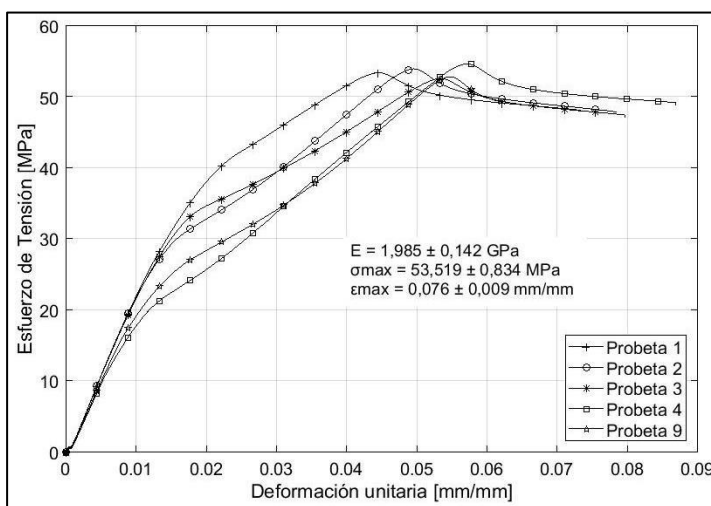
Figura 1-24. Esquema de la clasificación de los diferentes ensayos practicados a materia. Fuente: Información obtenida del libro: *Introducción a la Metalurgia Física*, (Avner, 1995).

#### 1.4.1 Ensayos aplicados a materiales de manufactura aditiva.

##### 1.4.1.1 Ensayo de tensión.

Los ensayos de tensión en polímeros se llevan a cabo con el propósito de investigar las propiedades mecánicas que constantemente se mejoran mediante experimentación en compuestos poliméricos. Estos ensayos proporcionan información precisa sobre la resistencia y tenacidad de los polímeros. Los polímeros tienen la capacidad de dar lugar a componentes de alta resistencia mecánica, ligereza y ductilidad, como la fibra de carbono. La aplicación de estos ensayos se enfoca en la determinación de esfuerzos y en la matriz termoestable de manera natural y específica.

El ensayo consiste en someter una probeta con dimensiones estandarizadas, a una fuerza creciente de tensión, ocasionando que la probeta se alargue hasta que se deforme y por último se rompa. Se mide la relación entre el esfuerzo y la deformación que experimenta la muestra, y los resultados se presentan mediante una gráfica de esfuerzo-deformación, como se muestra en la *Figura 1-25*, la cual refleja la capacidad y el comportamiento del material al interactuar con las cargas.



*Figura 1-25. Gráfico esfuerzo-deformación de probetas impresas en PLA en dirección axial y sometidas al ensayo de tensión. Fuente: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/handle/001/1703/Caracterizaci%C3%B3n%20mec%C3%A1nica%20a%20tensi%C3%B3n%20de%20impresiones%203D%20de%20PLA%20y%20ABS%20modeladas%20por%20deposici%C3%B3n%20fundida.pdf?sequence=2&isAllowed=y>*

El ensayo puede tardar unos minutos y es destructivo, es decir, la probeta es deformada hasta que ceda el material, lo que significa rotura. Si bien es cierto el ensayo de tensión es importante, en la práctica la magnitud real de los esfuerzos y deformaciones es diferente a los que se pueden llegar a obtener en

un ensayo de este tipo. Esto se debe a que en el desarrollo de este ensayo se realizan con condiciones controladas que están acorde a la exigencia de la norma que lo rige.

#### 1.4.1.2 Ensayo de flexión.

Los ensayos de flexión se llevan a cabo en polímeros con el objetivo de determinar las propiedades mecánicas de los materiales relacionadas con los esfuerzos y deformaciones en los puntos máximos y de rotura, así como el módulo elástico en flexión. Para el estudio de polímeros, es indispensable que este ensayo se realice bajo el método de los tres puntos, el cual consiste en una probeta apoyada en sus extremos, sin tensión, y cargada en la mitad de su longitud.

El ensayo de tres puntos consiste en aplicar una fuerza perpendicular a la parte superior de la probeta en el centro entre los apoyos, dicha fuerza y la deformación de la probeta se mide para poder determinar el módulo de flexión y la resistencia a la flexión.

Los resultados más típicos que este ensayo proporciona son el módulo de flexión, que es una medida de la rigidez del material e indica su capacidad para resistir cargas en flexión. Además de esto, se obtiene información sobre la resistencia a la flexión, que indica la carga máxima que el material puede soportar en flexión antes de la ruptura, como se muestra en la *Figura 1-26*.

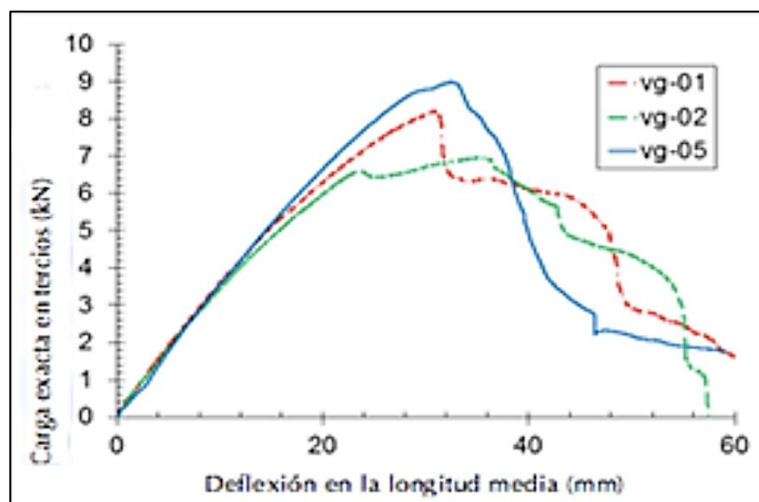


Figura 1-26. Resultados de ensayo de flexión realizado por la Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia a probetas de tetra pack.  
Fuente:  
[https://www.researchgate.net/figure/Stress-strain-curves-of-the-Cu111-Al2Cu-1-bar1-10-Al111-model-at-different\\_fig7\\_359135993](https://www.researchgate.net/figure/Stress-strain-curves-of-the-Cu111-Al2Cu-1-bar1-10-Al111-model-at-different_fig7_359135993)

#### 1.4.2 Normativa aplicable para el ensayo de tensión y de flexión en materiales poliméricos.

En este apartado se explican las normativas aplicables para ensayos de tensión y flexión en materiales plásticos que desempeñan un papel fundamental en la industria de la fabricación e investigación de materiales, dichas normas proporcionan parámetros, procedimientos, restricciones y condiciones para evaluar las propiedades mecánicas de los materiales plásticos, entre las normativas relevantes a destacar en esta investigación se tiene:

- ASTM – D638: Método de ensayo estándar para propiedades de tensión en plásticos.
- ASTM – D412: Métodos de prueba estándar para elastómeros de caucho vulcanizado y termoplásticos: tensión.
- ISO – 527: Plásticos – determinación de las propiedades tensiles.
- ASTM – D790: Método de ensayo estándar para propiedades de flexión de plásticos no reforzados y reforzados y materiales aislantes eléctricos.
- ISO – 178: Plásticos – determinación de las propiedades de flexión.

##### 1.4.2.1 *ASTM – D638: Método de ensayo estándar para propiedades de tensión en plásticos.*

La prueba de propiedades de tensión del plástico ASTM D638 mide la fuerza requerida para romper una probeta de plástico y cuanto se estira o alarga la probeta hasta su punto de ruptura. En esta prueba se busca determinar las propiedades mecánicas básicas del material de moldeo, tomando en cuenta las condiciones de pretratamiento, temperatura, humedad y velocidad del ensayo.

El método de prueba implementado por la ASTM D638 está diseñado para determinar las propiedades de tensión de los materiales plásticos y se pueden utilizar para probar materiales de un espesor máximo de 14 *mm*. Todos los materiales con un espesor superior a los 14 *mm* se debe reducir el espesor por medio de mecanizado para que este método sea aplicable.

En la prueba de tensión estándar, los resultados se basan en una velocidad de tensión de muestra definida. Sin embargo, las cargas sobre un componente o estructura en servicio real pueden superar en un rango muy amplio las tasas de deformación. Debido a las propiedades viscoelásticas de los polímeros, las propiedades mecánicas diferentes de las medidas en una muestra de prueba estandarizada normalmente resultan bajo diferentes velocidades de deformación. Por tanto, los valores característicos determinados en una prueba de tensión tienen una relevancia limitada para el diseño de componentes, pero proporciona una base muy confiable para las comparaciones de materiales.

#### *1.4.2.2 ASTM– D412: Métodos de prueba estándar para elastómeros de caucho vulcanizado y termoplásticos: tensión.*

La norma ASTM D412 es una variante de la norma ASTM D638. La norma ASTM D412 está orientada a la determinar las propiedades de tensión del caucho vulcanizado (termo endurecible) y los elastómeros termoplásticos. La norma mide la elasticidad de un material cuando está sometido a tensión, así como su comportamiento después de la prueba cuando el material ya no está sometido a tensión. La norma ASTM D412 se lleva a cabo en una máquina de prueba universal a una velocidad de  $500 \pm 50 \text{ mm/min}$  hasta que la muestra falla. Aunque la norma ASTM D412 mide muchas propiedades de tracción diferentes, las siguientes son las más comunes:

- Resistencia a la tracción.
- Esfuerzo de tracción en un alargamiento determinado.
- Elongación máxima.
- Deformación por tracción.

La prueba ASTM D412 se realiza en una máquina de ensayos universal, utilizando probetas con forma de mancuerna (método A) o anulares (método B). Se aplica una fuerza de tensión a la probeta a una velocidad constante hasta que se produce la rotura. Los datos obtenidos se utilizan para calcular las propiedades mecánicas del material.

#### 1.4.2.3 ISO – 527: Plásticos – determinación de las propiedades tensiles.

La norma especifica los principios generales de cómo se deben determinar las propiedades en ensayos a tensión de plásticos y compuestos plásticos. Los métodos descritos en la norma se utilizan para investigar el comportamiento a tensión de las probetas, así como la resistencia a tensión, el módulo de elasticidad en tensión y otros aspectos de la relación Esfuerzo – Deformación en las probetas.

Esta propuesta realizada por la norma ISO – 527 son adecuados para los materiales termoplásticos rígidos y semirrígidos para moldeo, extrusión y colado, incluidos los materiales compuestos cargados y reforzados.

Los métodos son selectivamente ajustables para utilizarse con los siguientes materiales:

- Materiales termoplásticos rígidos y semi – rígidos para moldeo, extrusión y colado, incluidos los materiales compuestos cargados y reforzados además de los tipos no cargados; hojas y películas de termoplásticos rígidos y semi – rígidos.
- Materiales termoestables rígidos y semi – rígidos para moldeo, incluidos los materiales compuestos cargados y reforzados; hojas termoestables rígidas y semi – rígidas, incluido los laminados.
- Materiales compuestos termoplásticos y termoestables reforzados con fibra, que incorporan refuerzos unidireccionales o multidireccionales, tales como fieltros, tejidos, telas tejidas, fibras cortadas, combinación y refuerzo híbridos, mechas continuas y fibras molidas; hojas fabricadas con materiales pre – impregnados.
- Polímeros de cristal líquido termo trópico.

Una de las limitantes de esta normativa es que su uso no es adecuado para materiales celulares rígidos o con estructura tipo sándwich que contengan material celular. Tampoco son adecuados para películas e hijas flexibles, de espesor inferior a un milímetro.

#### *1.4.2.4 ASTM – D790: Método de ensayo estándar para propiedades de flexión de plásticos no reforzados y reforzados y materiales aislantes eléctricos.*

La ASTM D790 mide las propiedades de flexión de un material mientras está bajo una deformación o deformación de flexión. Es un método de prueba para determinar las propiedades de flexión de plásticos reforzados y no reforzados, materiales compuestos de alto módulo y materiales de aislamiento eléctrico (que no forman parte del estudio) utilizando un sistema de carga de tres puntos para aplicar la carga a la probeta.

Las propiedades de flexión determinadas por los métodos de prueba proporcionados por la norma son útiles para fines de control de calidad y especificaciones.

Los resultados de aplicar la norma son los siguientes:

- Módulo de flexión.
- Tensiones y deformaciones en el límite elástico, en la tensión máxima y en caso de rotura de la probeta.

Los ensayos solo se llevan a cabo hasta una deformación por flexión de un 5% como máximo.

#### *1.4.2.5 ISO – 178: Plásticos – determinación de las propiedades de flexión.*

La norma ISO – 178 es un método de ensayo para determinar las propiedades de flexión de plásticos rígidos y semirrígidos a ejecutar un ensayo de flexión de tres puntos en una máquina de ensayo universal.

El método se utiliza para estudiar el comportamiento en flexión de las probetas y para la determinación de la resistencia a la flexión, el módulo de flexión, así como otros aspectos de la relación esfuerzo/deformación en flexión en condiciones definidas.

El método es adecuado para el siguiente conjunto de materiales:

- Materiales termoplásticos para moldeo, extrusión y colado, incluidos los compuestos cargados y reforzados, además de los tipos no cargados; láminas de termoplásticos rígidos.
- Materiales termoestables para moldeo, incluidos los compuestos cargados y reforzados; laminas termoestables.

Consultando con las normas ISO 10350 - 1 e ISO 10350 – 2, la norma ISO-178 se aplica a probetas de compuestos reforzados con fibras con longitudes menores a los 7.5 mm, además de esto la metodología que propone la norma no resulta adecuado para ser utilizado con materiales con estructura multicapas.

#### 1.5 Laboratorio de materiales de manufactura aditiva.

El propósito fundamental de este laboratorio es caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales poliméricos, incluyendo la resistencia a la tensión y flexión, siguiendo las normativas pertinentes a estos tipos de ensayos. Es importante destacar que existe una norma específica aplicable a laboratorios, la ISO 17025:2017, la cual no se busca acreditar en esta propuesta, pero si es pertinente atender las recomendaciones que da la norma para garantizar la calidad y precisión de los resultados obtenidos.

Con la implementación de algunos apartados de esta norma al laboratorio, se busca contribuir al avance en el conocimiento y desarrollo de materiales poliméricos, así como brindar un apoyo significativo a la investigación y desarrollo dentro de la Universidad y en colaboración con entidades externas interesadas en estos estudios.

##### 1.5.1 Requisitos de la norma ISO 17025:2017, aplicables a la competencia del laboratorio de ensayo de materiales.

En este apartado se toma de la Norma ISO 17025:2017, puntos específicos que sean aplicables al laboratorio de ensayo de investigación. Para fines de documentación, se ha elaborado un resumen de las tres secciones en las que se subdivide la norma, el cual se presenta en el esquema de la *Figura 1-27*.

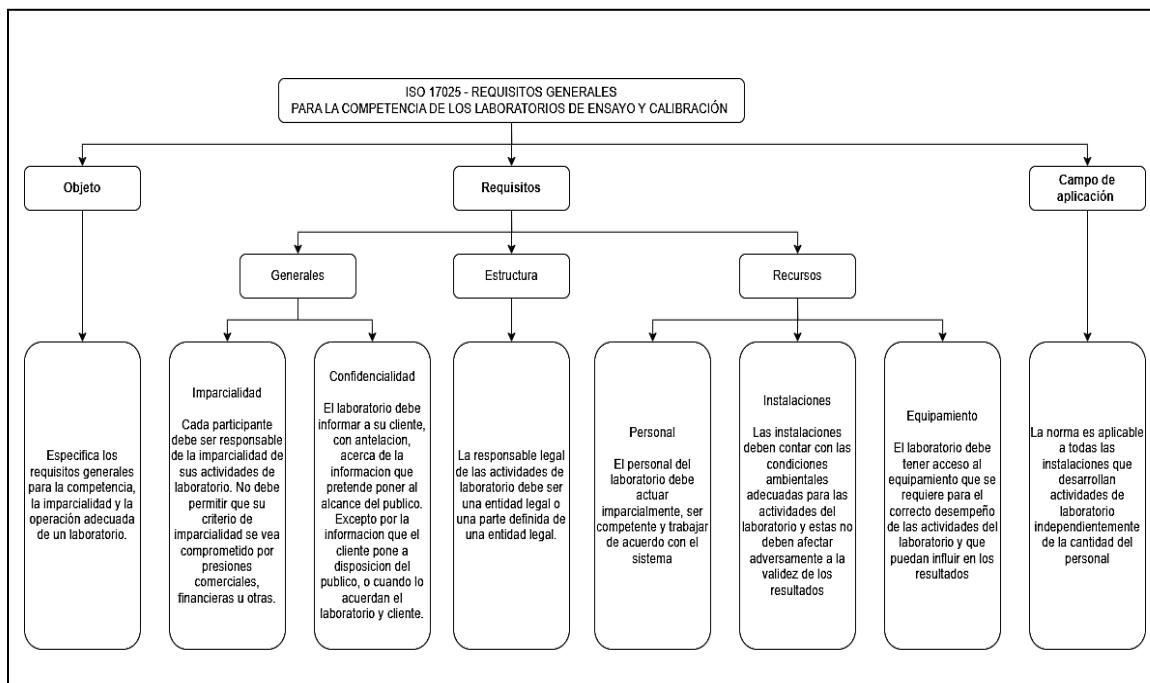


Figura 1-27. Esquema resumen de la Norma ISO 17025:2017 – Requisitos Generales para la competencia de los Laborales de ensayo y calibración. Fuente: Información obtenida de la norma: ISO 17025:2017.

La norma ISO 17025:2017 tiene como objetivo establecer requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración. Su propósito fundamental es asegurar que los laboratorios sean capaces de producir resultados técnicamente válidos y confiables en sus actividades de ensayo y calibración. La norma se enfoca en promover la calidad y la competencia técnica de estos laboratorios.

A continuación, se hace alusión a ciertos aspectos particulares de la normativa que se sugieren implementar en las actividades a llevar a cabo dentro del laboratorio.

- Es responsabilidad del laboratorio realizar sus actividades de ensayo y de calibración de modo que se cumplan los requisitos de esta Norma Internacional y se satisfagan las necesidades de los clientes (en este caso, la población estudiantil de la Universidad de El Salvador y clientes externos), autoridades reglamentarias u organizaciones que otorgan reconocimiento.

- El laboratorio debe establecer y mantener procedimientos para el control de todos los documentos que forman parte de su sistema de gestión (generados internamente o de fuentes externas), tales como la reglamentación, las normas y otros documentos normativos, los métodos de ensayo o de calibración, el software, las especificaciones, las instrucciones y los manuales.
- El laboratorio debe mejorar continuamente la eficacia de su sistema de gestión mediante el uso de la política de la calidad, los objetivos de la calidad, los resultados de las auditorías, el análisis de los datos, las acciones correctivas y preventivas y la revisión por la dirección.
- Cuando se identifique un riesgo, el laboratorio debe seguir las directrices establecidas en la norma ISO 9001:2015, las cuales requieren que el laboratorio identifique y evalúe las acciones correctivas posibles. De estas, debe seleccionar e implementar aquellas que ofrezcan la mayor probabilidad de eliminar el riesgo y prevenir su repetición en el futuro. Además, se debe documentar cualquier cambio que se considere necesario como resultado de la investigación y aplicación de estas acciones correctivas.
- Las observaciones, los datos y los cálculos se deben registrar en el momento de hacerlos y deben poder ser relacionados con la operación en cuestión.
- Las instalaciones de ensayos del laboratorio, incluidas, pero no en forma excluyente, las fuentes de energía, la iluminación y las condiciones ambientales, deben facilitar la realización correcta de los ensayos.
- Se deben tomar medidas para asegurar el orden, limpieza y seguridad del laboratorio. Cuando sean necesarios se deben preparar procedimientos especiales.
- Cuando sea necesario utilizar métodos no normalizados, éstos deben ser acordados con el cliente y deben incluir una especificación clara de los requisitos del cliente y del objetivo del ensayo o de la calibración. El

método desarrollado debe haber sido validado adecuadamente antes del uso.

- Los equipos deben ser operados por personal autorizado. Las instrucciones actualizadas sobre el uso y el mantenimiento de los equipos (incluido cualquier manual pertinente suministrado por el fabricante del equipo) deben estar disponibles para ser utilizadas por el personal del laboratorio.
- El laboratorio debe tener procedimientos para la manipulación segura, el transporte, el almacenamiento, el uso y el mantenimiento planificado de los equipos de medición con el fin de asegurar el funcionamiento correcto y de prevenir la contaminación o el deterioro.

## Capítulo 2. Metodología de la investigación.

El trabajo de graduación se desarrolló siguiendo un orden estratégico de pasos que, en cada etapa, enriquecieron la experiencia de los investigadores en el tema. El punto de partida fue la investigación bibliográfica, consistió en consultar documentos formales, fichas técnicas y sitios web con el fin de fundamentar los conocimientos básicos de los investigadores en el tema.

El siguiente paso fue la investigación de campo, que comenzó definiendo los datos a recolectar a partir de la investigación bibliográfica. La recopilación de datos se realizó mediante el método cualitativo, basado en las experiencias de los investigadores para comprender o explicar los procesos, materiales y condiciones que debían considerarse en un laboratorio de ensayo de materiales de manufactura aditiva. La recolección de datos siguió un diseño de muestreo no probabilístico, partiendo de una muestra aleatoria de laboratorios de manufactura aditiva activos en el país.

Toda la información recabada se analizó por el método de análisis cualitativo, que justificó los datos obtenidos en el campo a través de las experiencias de los investigadores. Estos datos definieron las características de los equipos e instrumentos más adecuados para emplearse en el laboratorio de ensayo de materiales de manufactura aditiva. Luego de identificar los requisitos normativos y técnicos aplicados en el campo, se realizó la búsqueda de los equipos e instrumentos que cumplieran satisfactoriamente. Finalmente, se propuso la distribución espacial del laboratorio, la logística de adquisición de equipos y el financiamiento del proyecto. Como medida adicional, se presentaron los protocolos a emplear al hacer uso tanto de las instalaciones como de los equipos.

La metodología de la investigación desarrollada en el presente documento se resumió en la *Figura 2-1* y *Figura 2-2*.

**Proceso metodológico de la propuesta de diseño de laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.**

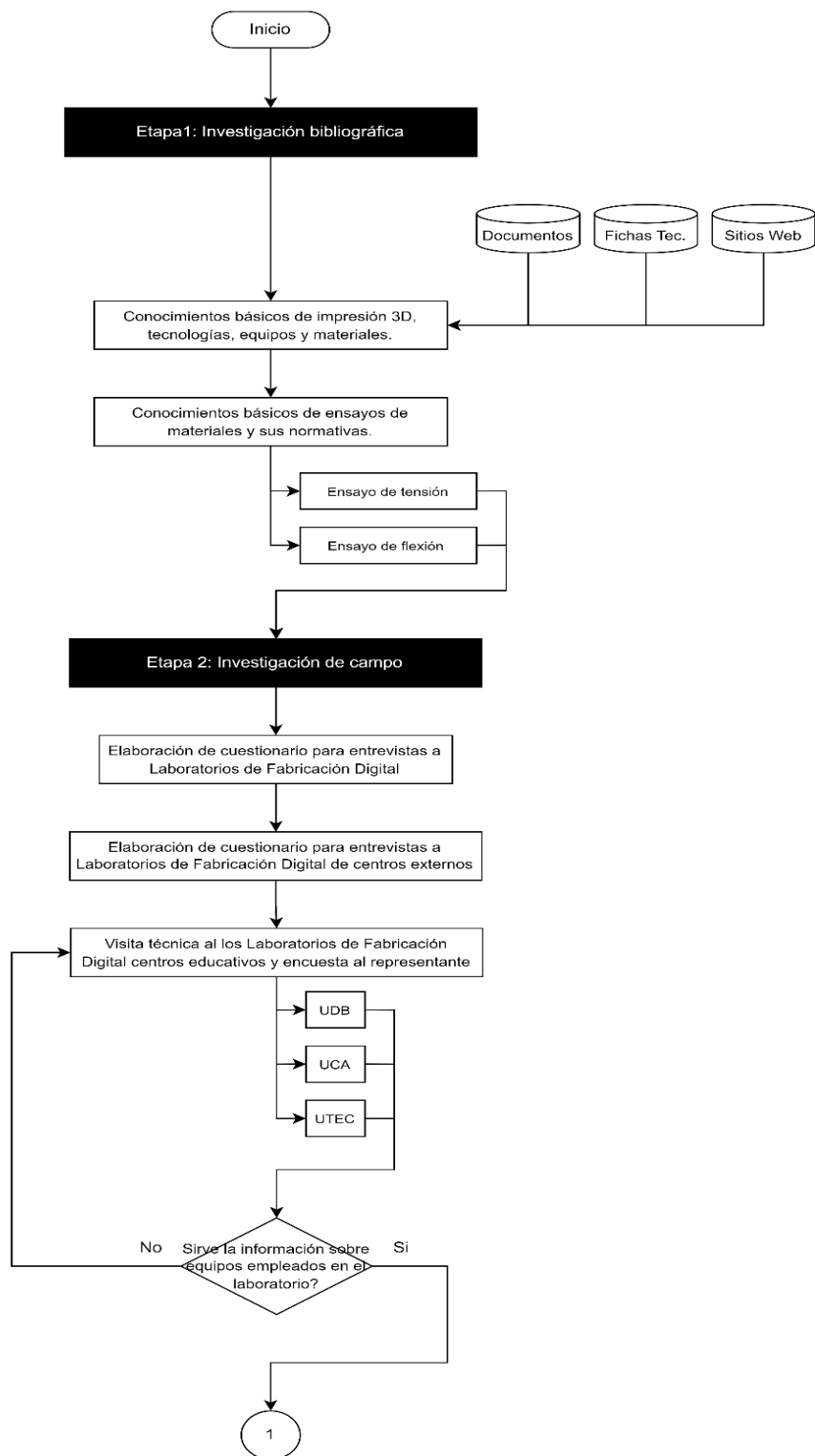


Figura 2-1. Flujograma de la metodología de la investigación a desarrollar para presentar una propuesta de diseño del laboratorio de ensayo de materiales de impresión 3D (Etapa 1 y 2). Fuente: Elaboración propia.

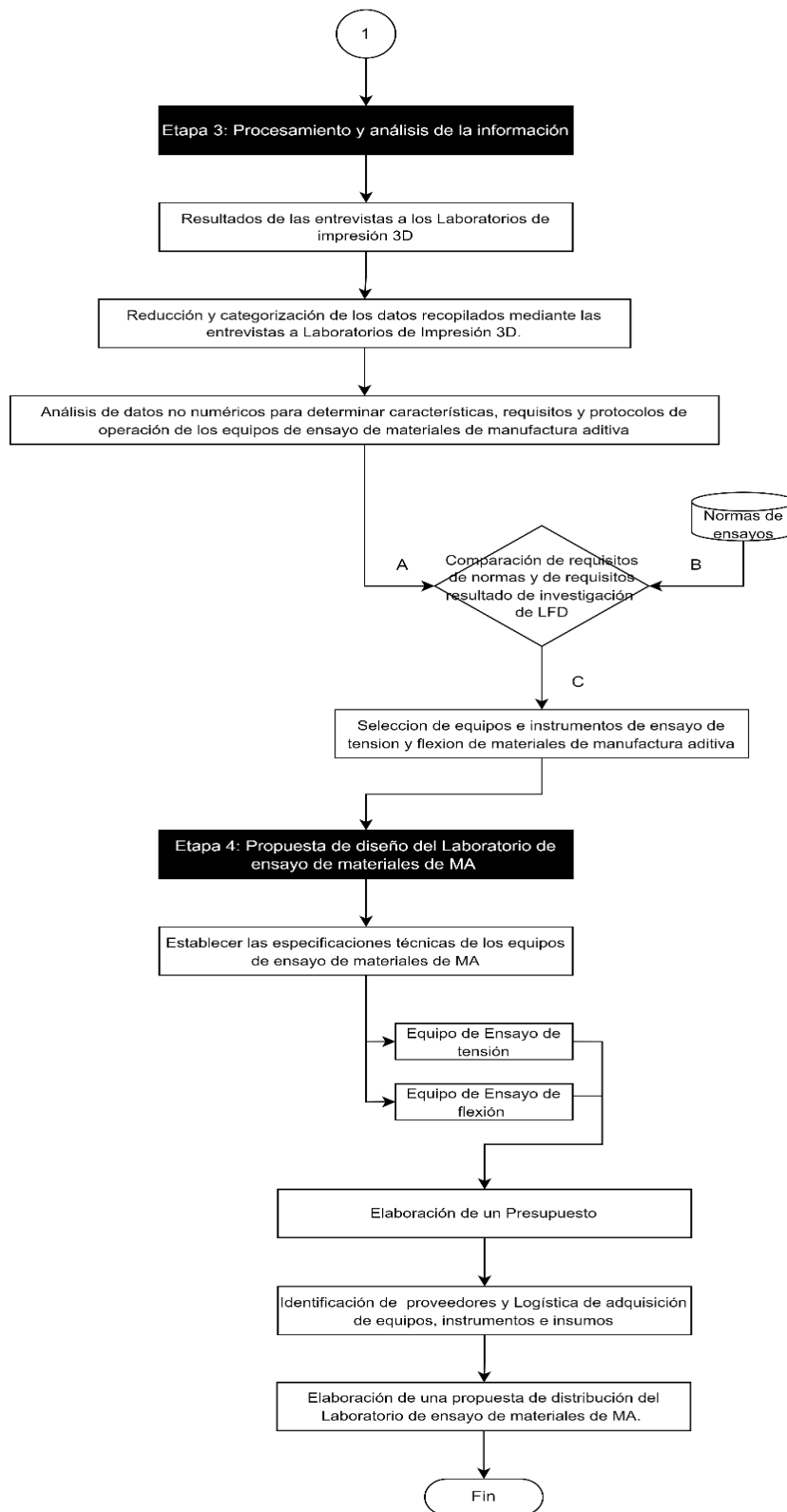


Figura 2-2. Flujograma de la metodología de la investigación a desarrollar para presentar una propuesta de diseño del laboratorio de ensayo de materiales de impresión 3D (Etapa 3 y 4). Fuente: Elaboración propia.

## 2.1 Elaboración del cuestionario para entrevista.

Esta sección tuvo como objetivo obtener datos útiles para la investigación de los laboratorios de fabricación digital. Se desarrolló un cuestionario que constó de veinte preguntas, con el propósito de abordar interrogantes de interés para la investigación, presentado en la *Tabla 1*. Este cuestionario sirvió como base para tomar decisiones en la elección de equipos de ensayos de materiales para el laboratorio.

Las preguntas realizadas estuvieron orientadas a identificar equipos, instrumentos, insumos, normas y tecnologías utilizadas, además de consultar los protocolos empleados, y fueron las siguientes:

*Tabla 1. Cuestionario para recopilación de datos de los LFD. Fuente: Elaboración propia.*

<b>Objetivo.</b>	<b>Pregunta.</b>
Identificar el comienzo de los LFD y, con ello, la introducción de la MA en el país. El objetivo es comprender el tiempo necesario para que estos laboratorios pasen de su fase inicial a la realización de ensayos de materiales de MA.	1. ¿Cuándo se inauguró el laboratorio?
Definir claramente los objetivos de los laboratorios, así como comprender los lineamientos generales que orientan el desarrollo de sus proyectos de MA.	2. ¿Cuál es el objetivo principal del laboratorio?
Identificar el tipo de tecnología empleada en el proceso de MA, ya que la disponibilidad tecnológica determina los tipos de materiales que se emplean en el proceso de impresión.	3. ¿Qué tipo de tecnologías para impresión 3d utilizan en el laboratorio?
Identificar los materiales más desarrollados en los LFD. Posteriormente, al analizar las fichas técnicas, se pueden conocer en detalle las características y propiedades de estos materiales. La comprensión de estos aspectos es importante para la elección de la máquina de ensayos, ya que esta debe alinearse con las necesidades del mercado, basándose en las propiedades específicas de los materiales disponibles.	4. ¿Qué materiales utilizan para desarrollar proyectos de impresión 3d?

<b>Objetivo.</b>	<b>Pregunta.</b>
Explorar la capacidad actual de los equipos empleados en los LFD, analizando la diversidad de materiales que pueden ser impresos y evaluando la versatilidad demostrada por estos equipos en la actualidad.	5. ¿Cuáles son los equipos con los que cuenta el laboratorio? (marca, modelo, capacidad)
Conocer si los LFD manejan las herramientas necesarias para poder desarrollar ensayos de tensión y flexión.	6. ¿Qué instrumentos emplean para la realización de ensayos?
Determinar la frecuencia de desarrollo proyectos de ingeniería, con el fin de conocer cuales materiales son los que se estiman convenientes para desarrollar aplicaciones de ingeniería y en base a que parámetros se toman estas decisiones.	7. ¿Actualmente, se encuentran desarrollando algún proyecto de ingeniería?
Determinar el interés del sector de ingeniería en la ejecución de proyectos mediante la tecnología de MA. La pregunta aborda la utilización del LFD en una fase intermedia en el proceso de desarrollo de proyectos hasta su aplicación como una etapa final, donde las piezas impresas a través de MA desempeñan un papel importante en la creación de elementos mecánicos, estructurales, complementarios, de sujeción, entre otros.	8. ¿Cuáles han sido los proyectos del área de ingeniería, más relevantes (si los hay)?
Determinar si los LFD cuentan con información detallada sobre la calidad, fichas técnicas, datos de impresión y otras características que consideren relevantes. Este conocimiento es esencial para evaluar la capacidad de los LFD para seleccionar, basándose en criterios técnicos, los mejores materiales tanto para el avance de la MA como para proyectos específicos.	9. ¿De los materiales anteriormente mencionados, se conocen las propiedades mecánicas?
Identificar si los LFD reconocen la importancia de adentrarse en el estudio y comprensión directa de los comportamientos de los materiales. Esto incluye determinar si estos materiales son idóneos para afrontar proyectos de alta exigencia en el ámbito de la ingeniería. La necesidad de desarrollar un conocimiento integral, obtenido de fuentes directas, sobre las propiedades y comportamientos de los materiales.	10. ¿Considera que necesario el estudio de materiales de fabricación aditiva por medio de ensayos?

<b>Objetivo.</b>	<b>Pregunta.</b>
<p>Es importante plantear esta pregunta debido a la posibilidad de que los LFD estén actualmente inmersos en un ámbito temático similar al objetivo de esta investigación. El propósito de la pregunta es justificar, especialmente en el contexto de una eventual implementación de maquinaria especializada destinada a ensayos de probetas en polímeros, identificando posibles colaboraciones, avances o investigaciones paralelas que puedan contribuir significativamente a la investigación en curso.</p>	<p>11. ¿Se ha considerado la realización de ensayos en materiales de fabricación aditiva a través de la adquisición de una máquina de ensayo?</p>
<p>Conocer la perspectiva de los expertos en el campo sobre a qué ensayos dar prioridad sirve para orientar la investigación hacia un objetivo tangible. La experiencia de los ingenieros representantes de los LFD en diversos proyectos proporciona la base para enfocar el estudio en el o los ensayos que tengan mayor relevancia en la búsqueda de las propiedades de los materiales de MA.</p>	<p>12. ¿Cuáles ensayos cree que sean los más relevantes al momento de buscar información sobre las propiedades de los materiales de fabricación aditiva?</p>
<p>Esta interrogante está orientada a los centros de educación superior que posean equipo de ensayo de materiales especial para MA. Tiene la intención de identificar que LFD está preparado para el estudio enfocado a identificar características de los polímeros.</p>	<p>13. ¿Su máquina de ensayo es especializada para materiales poliméricos?</p>
<p>Determinar la capacidad de carga del equipo de ensayo la cual nos indica el rango de materiales que pueden ser sometidos a ensayos. La capacidad de la velocidad de ensayo de la máquina nos indica el tipo de probetas que pueden ser ensayadas (A, B, C y D). La capacidad geométrica de las mordazas nos indica el tipo de preparación de la muestra y la carrera máxima para la elongación nos indica la flexibilidad en el tamaño de los especímenes a ensayar. La capacidad de controlar y registrar datos con precisión es fundamental para la validez de los ensayos. Además, se identifica si el LFD posee una máquina universal y el rango de cargas que se utiliza para estudiar los polímeros.</p>	<p>14. ¿Cuál es la capacidad técnica que tiene su máquina de ensayo?</p>

<b>Objetivo.</b>	<b>Pregunta.</b>
<p>Brindar un panorama sobre el control empleado en sus procesos es esencial. Identificar la normativa aplicable en nuestro laboratorio es crucial, ya que nos proporciona los requisitos normativos necesarios. Con esta información, podemos realizar una selección acertada del equipo.</p>	<p>15. ¿Qué normativas se aplican en el LFD?</p>
<p>Consultar a los LFD sobre la precisión y exactitud de sus equipos de ensayos para garantizar que los resultados sean confiables y reproducibles. Además, esto ayuda a identificar la institución externa que calibra las máquinas de ensayos y el tiempo de duración del certificado de calibración.</p>	<p>16. ¿Cómo garantizan la comparabilidad de los resultados obtenidos, a partir de estos ensayos? (como calibran la máquina)</p>
<p>Conocer los procedimientos y estándares específicos que se siguen los LFD durante el proceso de ensayo proporciona detalles como la preparación de las muestras, las condiciones de ensayo, los parámetros medidos y cualquier otro protocolo relevante. También da la base sobre los protocolos a utilizar para el uso de las instalaciones, tanto para fines didácticos como comerciales.</p>	<p>17. ¿Cuáles son los protocolos implementados al momento de ensayar los materiales?</p>
<p>Identificar el proceso de preparación de las probetas, si estas pasan por algún tratamiento previo al ensayo, y si el laboratorio cuenta con una cámara de tratamiento de humedad y temperatura para este propósito. Indica, además, que tan crítico se debe ser al momento de cumplir con la norma.</p>	<p>18. ¿Cuál es el pretratamiento de las probetas, previo a ensayarlas? (cuentan con cámara de secado)</p>
<p>Entender cómo se seleccionó, adquirió y de qué manera se estableció la relación con el proveedor de la máquina de ensayo, lo cual puede proporcionar información valiosa sobre las características y especificaciones del equipo, así como la calidad del servicio proporcionado por el proveedor.</p>	<p>19. ¿Cuál fue el proceso de adquisición de la máquina de ensayo y su proveedor?</p>
<p>Obtener información directa sobre el interés de los LFD en la investigación de materiales para la MA, para la aceptación que tiene este tipo de investigaciones en el campo, y si hay un interés real por desarrollar un laboratorio de ensayo de materiales de MA para una futura implementación.</p>	<p>20. ¿Qué opina de realizar un laboratorio de ensayo de materiales de fabricación aditiva?</p>

## 2.2 Elaboración de entrevista a los LFD de centros de educación superior.

El diseño del instrumento de estudio de los LFD se presenta a continuación:

ENCUESTA A LOS LFD.			
	Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales	Versión: 001
		Impresos por manufactura aditiva.	Emitido el: 31 / 08 / 2023
		Elaborado por: RA17023, RC15077	Página: 2/5

### Contenido:

1. Objetivo.
2. Alcances.
3. Saludo inicial.
4. Generalidades del Laboratorio.
5. Equipo e insumos del Laboratorio.
6. Desarrollo de proyectos.
7. Relevancia de ensayar materiales de MA.
8. Relevancia del equipo especializado para MA.
9. Estandarización del proceso.
10. Adquisición de equipos.
11. Relevancia de la MA en ingeniería mecánica.

**1. Objetivo:** Obtener información sobre la adquisición de equipos de ensayo de materiales y control del laboratorio, identificando los requerimientos y necesidades expresadas por laboratorios de fabricación digital del área metropolitana de San Salvador.

#### 2. Alcances:

- Determinar el nivel de experiencia y conocimiento del laboratorio en fabricación digital y su enfoque específico en la impresión de polímeros por (MA).
- Evaluar la disponibilidad y variedad de equipos, insumos y tecnologías utilizadas en la fabricación digital de polímeros.
- Explorar la relevancia y el impacto de la fabricación digital de polímeros mediante MA en proyectos de investigación, desarrollo tecnológico y aplicaciones industriales, especialmente en el contexto de la ingeniería mecánica.

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024
		Página: 3/5

3. **Saludo inicial:** Mi nombre es (Nombre del entrevistador) y soy egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador. Actualmente realizo trabajo de grado relacionado al tema de diseño del laboratorio de ensayo de materiales de MA, agradezco su disposición para poder participar de esta entrevista, sin antes agregar que la información expuesta será únicamente con fines académicos, manteniendo la confidencialidad del laboratorio.

#### 4. Generalidades del Laboratorio.

X ¿Cuál es el nombre del Laboratorio?

XX ¿Quién es el encargado del Laboratorio?

1 ¿Cuándo se inauguró el laboratorio?

2 ¿Cuál es el objetivo principal del laboratorio?

#### 5. Equipo e insumos del Laboratorio.

3 ¿Qué tipo de tecnologías para impresión 3d utilizan en el laboratorio?

- o FDM            o SLS  
o SLA  
Otro \_\_\_\_\_

4 ¿Qué materiales utilizan para desarrollar proyectos de impresión 3d?

- o PLA            o TPU            o ASA            o HIPS  
o ABS            o PC            o PP  
o PA            o PETG            o TPU  
Otro \_\_\_\_\_

5 ¿Cuáles son los equipos con los que cuenta el laboratorio?

Marca	Modelo	Capacidad

6 ¿Qué instrumentos emplean para la realización de ensayos?

- o Vernier            o Micrómetro            o Cámara Climática  
o Extensómetro            o Horno            Otro \_\_\_\_\_

#### 6. Desarrollo de proyectos.

7 ¿Actualmente, se encuentran desarrollando algún proyecto de ingeniería?

- o Si            o No            ¿Cual? \_\_\_\_\_


8 ¿Cuáles han sido los proyectos del área de ingeniería, más relevantes (si los hay)?

\_\_\_\_\_

9 De los materiales anteriormente mencionados, ¿se conocen las propiedades mecánicas?

- o Si            o No

## ENCUESTA A LOS LFD.

	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.		
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024	Página: 4/5

**7. Relevancia de ensayar materiales de MA.**

- 10 ¿Considera que necesario el estudio de materiales de fabricación aditiva por medio de ensayos?  
Nada  
o importante            o Poco importante            o Irrelevante  
o Importante            o Muy importante
- 11 ¿Se ha considerado la realización de ensayos en materiales de fabricación aditiva a través de la adquisición de una máquina de ensayo?  
o Si            o No
- 12 ¿Cuáles ensayos cree que sean los más relevantes al momento de buscar información sobre las propiedades de los materiales de fabricación aditiva?  
o Tensión            o Compresión            o Flexión            o Torsión  
o Impacto            o Fatiga            o Dureza            o Fluidez  
Otro \_\_\_\_\_

**8. Relevancia de equipo especializado para MA.**

- 13 ¿Su máquina de ensayo es especializada para materiales poliméricos?  
o Si            o No
- 14 ¿Cuál es la capacidad técnica que tiene su máquina de ensayo?  
o 5 N a 5 kN            o 5 kN a 50 kN            o 50 kN a 100 kN  
Otro \_\_\_\_\_

**9. Estandarización de proceso.**

- 15 ¿Qué normativas se aplican en el LFD?  
o ASTM D638            o ASTM D790            o ISO 17025  
o ISO 527            o ISO 178            Otro \_\_\_\_\_
- 16 ¿Cómo garantizan la comparabilidad de los resultados obtenidos, a partir de estos ensayos?  
o Estándares y Normativas            o Registro Detallado de Datos  
o Calibración de equipos            o Validación Cruzada  
o Procedimientos de Ensayo Estandarizados            o Repetibilidad y Reproducibilidad  
o Selección y Preparación de Muestras            o Entrenamiento del Personal  
o Ambiente Controlado            o Análisis Estadístico  
Otro \_\_\_\_\_
- 17 ¿Cuáles son los protocolos implementados al momento de ensayar los materiales?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_
- 18 ¿Cuál es el pretratamiento de las probetas, previo a ensayarlas?  
o Cámara de Climática            o Ambiente controlado            o Ambos

**10. Adquisición de equipo.**

- 19 ¿Cuál fue el proceso de adquisición de la máquina de ensayo y su proveedor?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024

**11. Relevancia de la MA en ingeniería.**

20 ¿Qué opina de realizar un laboratorio de ensayo de materiales de fabricación aditiva?

---

---

---

### 2.3 Muestra de laboratorios de fabricación digital.

Se continuó la investigación de campo mediante visitas técnicas a laboratorios de impresión 3D de centros de educación superior. La toma de selección de la muestra para la recopilación de datos se realizó seleccionando laboratorios de fabricación digital que en ese momento producían piezas mecánicas mediante MA o que estaban en proceso de implementar este método. La visita a cada uno de estos LFD tuvo la finalidad de realizar una entrevista a cada representante con el fin de identificar equipos, instrumentos, insumos, normas, métodos de impresión utilizados y protocolos de uso de los laboratorios. Además, se identificaron proveedores de equipos e insumos y la logística de adquisición de los mismos.

Las visitas ofrecieron un panorama detallado de las capacidades técnicas disponibles, además de facilitar colaboraciones estratégicas con estos centros de educación superior, enriqueciendo así el potencial de innovación y desarrollo de la MA. Al sumergirnos en el entorno práctico en estos laboratorios, se obtuvo una visión más completa y contextualizada de las condiciones de trabajo.

Se planificó la visita a los LFD en los siguientes centros de educación superior:

#### 2.3.1 Universidad Don Bosco (UDB).

El Centro de Innovación en Diseño Industrial y Manufactura (CIDIM) fue establecido en el año 2016. El CIDIM integraba modernas instalaciones tecnológicas, incluyendo el Centro de Manufactura Digital y Prototipado Rápido, el laboratorio de Ensayo de Materiales y el Laboratorio de Mecánica. La visita técnica fue guiada por el jefe de laboratorio del departamento de prototipado, Ingeniero Rafael Pimentel, quien brinda apoyo a empresas salvadoreñas en diseño, desarrollo y fabricación, y ofrecía servicios como digitalización, ensayo de materiales, tratamientos térmicos y formación técnica especializada en diversas áreas. En el *Anexo 1* se muestran los resultados obtenidos en la entrevista de la UDB.

### 2.3.2 Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA).

El Centro de Diseño, Innovación y Tecnología (CEDITEC) finalizó su construcción en 2020. El Departamento de Mecánica Estructural contaba con el Laboratorio de Prototipos, el cual estaba dirigido por la jefa de laboratorio del departamento de mecánica estructural, Ingeniera Connie Paredes, quien guió la visita técnica. Además, la visita técnica contaba con acceso al laboratorio de ensayo de materiales de la Escuela de Ingeniería Civil. En el Anexo 2 se muestran los resultados obtenidos en la entrevista de la UCA.

### 2.3.3 Universidad Tecnológica de El Salvador (UTEC).

El 3DLAB fue inaugurado en abril del año 2018. El 3DLAB está a cargo del Técnico David Medina, quien desarrolla proyectos de índole académico y empresarial. Este laboratorio cuenta con la certificación FABLAB. En el Anexo 3 se muestran los resultados obtenidos en la entrevista de la UTEC.

Una vez obtenidos los resultados de la encuesta, se procederá a tabular los datos recolectados organizándolos de manera estructurada para facilitar su análisis. Posteriormente, estos resultados serán comparados entre sí, lo que permitirá identificar ventajas, tendencias y posibles relaciones entre las variables evaluadas. Este proceso de comparación y análisis detallado facilitará la interpretación de los datos y proporcionará información valiosa para la toma de decisiones o la elaboración de conclusiones más precisas sobre el tema en cuestión.

### **Capítulo 3. Selección de equipo básico del Laboratorio.**

#### **3.1 Análisis e interpretación de resultados.**

Esta etapa de la investigación emplea la técnica de investigación del análisis cualitativo, la cual consta de la comparación de datos no estructurados o cuantificables, ya que éstos parten de la experiencia en el campo de los LFD citados, como criterio de selección de equipos e instrumentos de ensayos de materiales de MA. El análisis de los datos obtenidos en las entrevistas permite considerar factores en los que la normativa da flexibilidad o no abarca, pero en la aplicación están presentes, ejemplo de ello es la capacidad del investigador de manipulación de un nuevo equipo de ensayo, interrupción del suministro eléctrico del equipo durante el ensayo, compatibilidad entre la muestra a ensayar y el equipo de ensayo, entre otras. Esta herramienta de análisis permite discernir en que aspectos, practicas, equipos y protocolos son similares entre los centros de impresión 3D. Esto será un indicador sobre el estado de la MA en el país, funcionando como base para encaminar hacia el futuro el Laboratorio de ensayo de materiales de MA y las decisiones de incorporar nuevos equipos que ensayen otras características de los materiales de MA y velando el cumplimiento de la respectiva normativa.

La selección del equipo se fundamenta en la previa recopilación de información, permitiendo determinar los requisitos técnicos del equipo en función de las propiedades de los materiales de MA a ensayar. Esta etapa pretende identificar el equipo de ensayo que cumpla con los requisitos normativos, lo cual aumenta la confiabilidad del proceso de ensayo. Al seleccionar el equipo adecuado, se reduce la probabilidad de que el ensayo fracase al minimizar errores comunes, como la replicación incorrecta del material o fallos en el procedimiento. Esto asegura que el ensayo se realice bajo condiciones controladas y estandarizadas, lo que disminuye el riesgo de resultados inconsistentes.

### 3.1.1 Resultados y hallazgos en los datos.

La encuesta se realizó a través de visitas técnicas a los LFD y, guiados por el representante de cada laboratorio, se llevó a cabo una entrevista formal. Con el previo consentimiento, se grabó el audio de la conversación, lo que permitió el desarrollo fluido del cuestionario presentado en la sección 2.2. Los datos recopilados proporcionaron los hallazgos más importantes sobre las tecnologías, materiales, normativas y prácticas actuales en el ámbito de la investigación de materiales en entornos educativos y estos fueron:

#### 3.1.1.1 Generalidades del Laboratorio.

Desde la década de 1990, la Universidad de El Salvador y la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas han contado con máquinas universales para ensayo de materiales. Sin embargo, fue hasta el año 2016 que la Universidad Don Bosco implementó su primera máquina universal de materiales, marcando así un logro significativo en el fortalecimiento de sus capacidades tecnológicas. En ese momento, ninguna de estas instituciones disponía de facilidades para el desarrollo de MA.

La situación dio un giro importante en el año 2018, cuando tanto la Universidad de El Salvador como la Universidad Tecnológica de El Salvador inauguraron los primeros LFD en el país. Durante aproximadamente dos años, estos dos LFD se establecieron como los únicos en su categoría, marcando un periodo de liderazgo en el ámbito de la tecnología de fabricación digital.

En el año 2020 la Universidad Don Bosco, reconociendo la importancia estratégica de esta tecnología, estable su propio LFD. Este paso representó un avance significativo en sus capacidades para la MA.

La tendencia hacia la adopción de LFD continuó su expansión en el año 2021, con la UCA sumándose a esta evolución tecnológica. Este hecho consolidó la presencia de un nuevo LFD en las principales instituciones académicas del país, contribuyendo al impulso de la innovación y la investigación en el ámbito de la MA. Estos eventos relevantes están representados en la *Figura 3-1*.

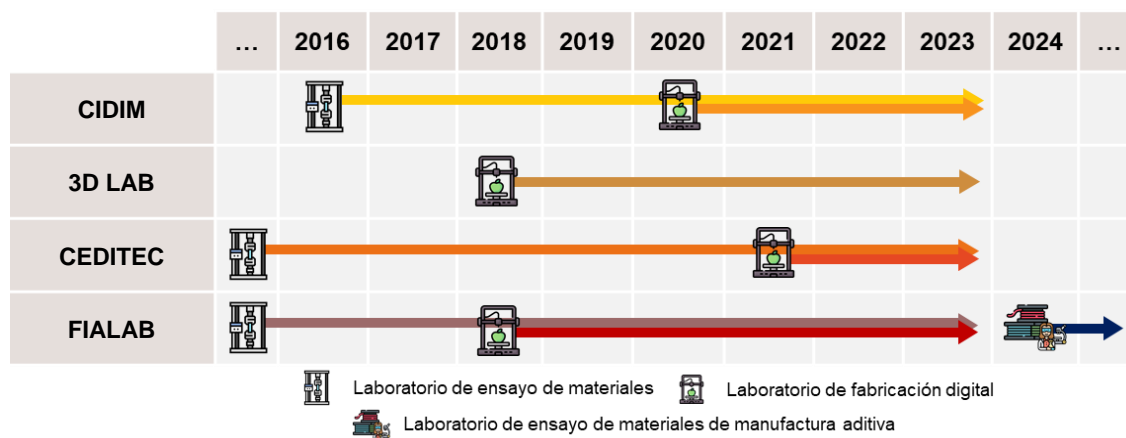


Figura 3-1. Línea de tiempo de los años de inauguración de los laboratorios de ensayos de materiales en ingeniería y los años en que estos adoptaron la fabricación digital. Fuente: Elaboración propia.

Es evidente que la MA tiene una breve trayectoria de desarrollo en nuestro país. No obstante, resulta notable que las instituciones educativas superiores estén centrando sus esfuerzos, en particular, en el avance de la investigación. Aunque los laboratorios tienen como objetivo principal beneficiar a la población estudiantil, LFD también están abiertos a la ejecución de proyectos empresariales, tal como lo manifestaron en las entrevistas, como se muestra en la Figura 3-2.

	Didáctico	Experimental	Comprobación
<b>CIDIM</b> Ofrece servicios a los estudiantes, proporcionando los conocimientos básicos y necesarios sobre ensayos de materiales en general. Además, brindan servicios a empresas privadas como método de comprobación de la resistencia de materiales. También ofrecen servicios de diseño, en los cuales se propone y evalúa si el diseño cumple con características mecánicas, geométricas, etc. Si se cumplen estos requisitos, se procede a la realización del prototipo.			
<b>3D LAB</b> El laboratorio está principalmente orientado a apoyar la docencia, promoviendo el uso de la manufactura aditiva (MA). Se busca que la MA se utilice como una herramienta educativa que permita explorar sus beneficios, limitaciones y aplicaciones prácticas dentro del ámbito académico.			
<b>CEDITEC</b> El laboratorio tiene un objetivo estudiantil, que además tiene la apertura a realizar trabajos externos a la institución.			

Figura 3-2. Objetivo de un Laboratorio de Fabricación Digital. Fuente: Elaboración propia.

*Hallazgo: Al analizar la línea de tiempo, se observa que en los últimos 8 años ha habido un aumento significativo en la exploración del conocimiento de materiales de MA, llevando a los LFD a invertir en nuevas tecnologías con miras a un mayor desarrollo. Si se mantiene esta tendencia de explorar estas tecnologías, se llegará a un punto en el que la impresión 3D sea capaz de fabricar piezas de mayor exigencia en el área de ingeniería. Es entonces que se vuelve crucial contar con la capacidad instalada de equipos que puedan realizar pruebas a estos materiales y que estén especializados en materiales poliméricos. El objetivo de equipar el Laboratorio de ensayo de materiales de MA, es con fines educativos, pero también beneficia a las industrias que necesiten realizar prototipos y especímenes que serán sujetos de pruebas. Por esta razón, en este trabajo se propone que, para el futuro cercano, la Universidad de El Salvador cuente con un estudio que justifique dicha inversión.*

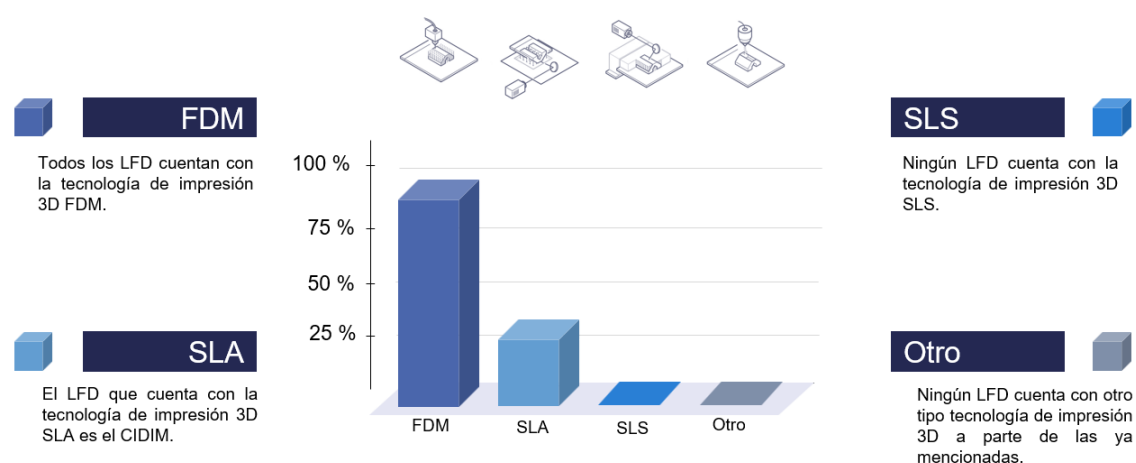
### *3.1.1.2 Equipos e insumos del Laboratorio.*

Los LFD desempeñan un papel central en la materialización de proyectos mediante la tecnología de impresión 3D. En este contexto, la tecnología FDM se destaca como una elección común entre estos laboratorios debido a su extraordinaria versatilidad en la manipulación de diversos materiales y su bajo costo de mantenimiento asociado a las impresoras 3D. Esta versatilidad permite la creación de prototipos y piezas funcionales que abarcan desde aplicaciones mecánicas hasta estructuras más complejas.

A pesar de la popularidad de la tecnología FDM, se observa una limitada presencia de otras tecnologías de impresión en los LFD, lo que sugiere que la capacidad de incorporar tecnologías que ofrecen una resolución más alta es un aspecto menos común. En este contexto, el CIDIM se destaca como un caso único al ser el único LFD que cuenta con tecnología de impresión SLA. La tecnología SLA, conocida por su capacidad para producir objetos con detalles

finos y una calidad de superficie excepcional, representa un paso más allá en términos de precisión y resolución.

Sin embargo, su adopción es menos extendida, posiblemente debido a consideraciones de costos y especialización técnica. Este diferencial en la adopción de tecnologías entre los LFD destaca la diversidad de enfoques y prioridades dentro de los laboratorios, cada uno adaptando su conjunto de herramientas según las necesidades específicas de sus proyectos. En la *Figura 3-3* se presenta de manera detallada la frecuencia de los tipos de tecnologías empleadas en los LFD.

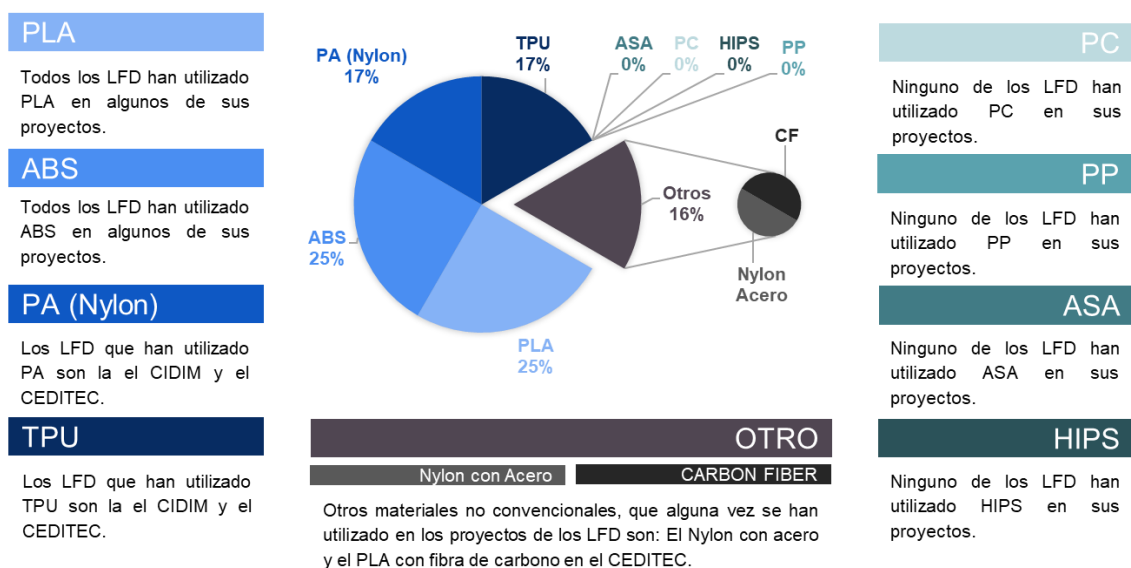


*Figura 3-3. Tipos de tecnologías empleadas en los LFD. Fuente: Elaboración propia.*

Los LFD emplean una variedad de tecnologías de impresión 3D que, a su vez, arrojan luz sobre los materiales utilizados en sus proyectos. Entre los materiales más comúnmente empleados se encuentran el PLA, ABS, Nylon (PA) y TPU, cada uno destacando por sus propiedades únicas que van desde la versatilidad hasta la flexibilidad. Sin embargo, para aplicaciones que demandan una resistencia excepcional, los LFD recurren a materiales como la Fibra de carbono o el Nylon con acero. Aunque estos materiales ofrecen un rendimiento superior, su costo elevado impone limitaciones en su uso, lo que destaca la necesidad de un equilibrio entre calidad y restricciones presupuestarias.

Es importante notar que, a pesar de la diversidad de materiales mencionados, otros tienen una presencia limitada o nula en los proyectos de los LFD. Como por ejemplo el Nylon reforzado con acero, el cual no será considerado para el análisis, debido a que fue utilizado una sola vez, en contraste al PLA Fibra de carbono que tiene más usos en proyectos de Ingeniería.

Desafíos técnicos como la alta temperatura de reblandecimiento o la propensión a obstrucciones de la boquilla extrusora al trabajar con aleaciones contribuyen a esta limitación. Esta selección estratégica de materiales subraya la importancia de considerar no solo las propiedades técnicas sino también las limitaciones intrínsecas de la tecnología de impresión utilizada en los laboratorios. En última instancia, este enfoque meticuloso en la elección de materiales y tecnologías refleja una estrategia cuidadosamente equilibrada para lograr resultados óptimos en la fabricación digital. Los resultados de la frecuencia de uso de los materiales de MA en los LFD se detallan en la *Figura 3-4*.

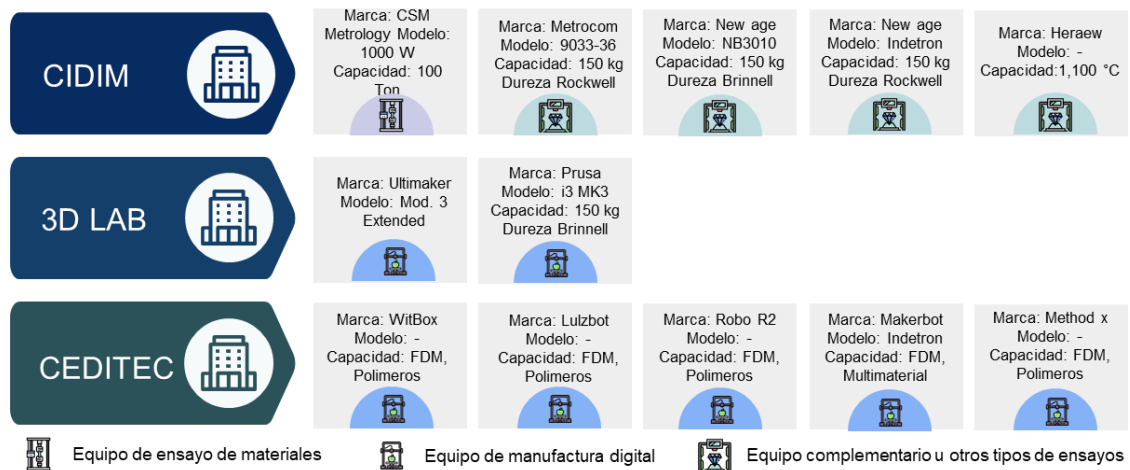


*Figura 3-4. Tipos de materiales utilizados en los LFD. Fuente: Elaboración propia.*

La diversidad en la infraestructura de los LFD destaca la amplitud de capacidades y enfoques de investigación. El CIDIM se distingue por su conjunto

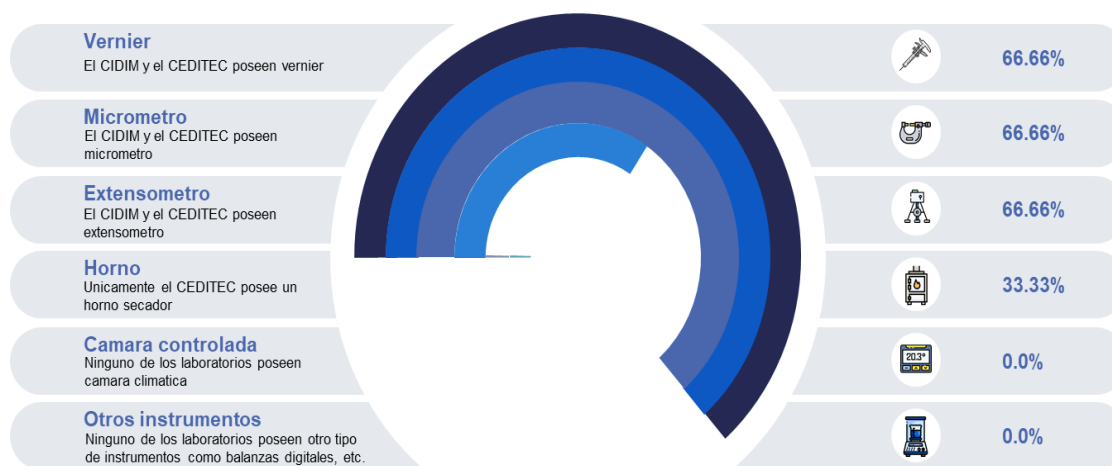
completo de herramientas, que incluye una máquina universal de ensayos a tensión y compresión de 100 toneladas métricas, máquinas de dureza tipo Rockwell, Brinell y Vickers, horno para tratamientos térmicos y equipo para pruebas de impacto. Esta amplia gama de equipos sugiere un enfoque integral hacia la investigación, permitiendo la realización de diversos ensayos mecánicos y análisis térmicos.

Por otro lado, el 3D Lab, aunque carece de equipos específicos para ensayos de materiales, se especializa en tecnologías de impresión 3D con una impresora 3D Mod 3 y una Prusa i3 MK3. Este enfoque refleja una dedicación más centrada en la fabricación y prototipado rápido, resaltando la importancia de la impresión 3D en su laboratorio. En contraste, el CEDITEC cuenta con una variedad de impresoras, como Witbox, Lulzbot, Robo R2, MakerBot indetron y una Method X. Su colaboración con el laboratorio del Departamento de Materiales de Ingeniería Civil de la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas, que posee equipos de ensayo de materiales no universales de 100 y 30 toneladas métricas, subraya la interdisciplinariedad y el alcance diversificado de sus actividades de investigación y desarrollo. Los equipos presentes en los LFD se presentan en la *Figura 3-5*. Equipos con los que cuentan los LFD. Fuente: Elaboración propia., en donde se detalla si este es equipo para ensayo de materiales, de manufactura aditiva o complementario.



*Figura 3-5. Equipos con los que cuentan los LFD. Fuente: Elaboración propia.*

En la *Figura 3-6* se presentan los instrumentos utilizados en los ensayos realizados por los LFD, con el propósito de identificar qué equipos se emplean, sin enfocarse en su precisión o exactitud. En este contexto, el CIDIM cuenta con herramientas como Vernier, Micrómetro, Extensómetro y Horno, aunque carece de una cámara de climatización para controlar la temperatura y humedad durante el pretratamiento de los especímenes. Por su parte, el CEDITEC dispone de Vernier, Micrómetro y Extensómetro, pero tampoco cuenta con una cámara de climatización. El 3D Lab, al no realizar ensayos de materiales, carece de instrumentos para este fin, dado que su enfoque está en la impresión 3D y el prototipado rápido, no en la caracterización de materiales.



*Figura 3-6. Instrumentos utilizados en los ensayos realizados por los LFD. Fuente: Elaboración propia.*

*Hallazgo: Los LFD se centran en la concreción de proyectos mediante la impresión 3D, especialmente con tecnología FDM, destaca su versatilidad y bajo costo de mantenimiento. La limitada presencia de otras tecnologías sugiere que la capacidad para incorporar opciones de mayor resolución es menos común, por tanto, en este contexto se centrara la selección de los equipos del laboratorio en máquinas que ensayen materiales provenientes de la tecnología FDM.*

*El uso común de PLA, ABS, Nylon y TPU refleja la diversidad de propiedades buscadas, mientras que la Fibra de carbono y el Nylon con acero se reservan para aplicaciones de alta resistencia. Este enfoque destaca la*

*importancia de seleccionar un equipo de ensayo de materiales que tenga la capacidad instalada para registrar las propiedades mecánicas (resistencia tensil, flexión, elongación máxima, velocidad según norma, entre otras).*

### *3.1.1.3 Desarrollo de proyectos.*

Los proyectos desarrollados por estos LFD trascienden a la producción de prototipos, destacándose por su enfoque en la exploración y comprobación de propiedades de materiales y la búsqueda de soluciones innovadoras bajo un esquema basado en el ensayo de materiales, seguido de un prototipado para su posterior implementación real en las áreas específicas. Un ejemplo lo constituye el desarrollo de un rodete para una pequeña central hidroeléctrica ubicada en el departamento de Sonsonate, en colaboración con la Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas” ver *Anexo 26*. Los resultados de las entrevistas presentados de forma ordenada en la *Figura 3-7*, muestran que actualmente que la UDB y la UCA se encuentran involucrados en proyectos orientados a la Ingeniería. Durante una visita a la UDB, el Ingeniero Rafael Pimentel, encargado del laboratorio, destacó el valor de una tesis de la Universidad de El Salvador sobre el estudio del efecto de la orientación de las capas de fabricación en la resistencia a la tensión y a la flexión en 3D FDM. Esta información puede ser verificada en ver *Anexo 1* en la pregunta 8, y enriqueció significativamente la experiencia del laboratorio. Por otra parte, en la Universidad Centroamericana de El Salvador la Ingeniera Connie Paredes, jefa del laboratorio, ha llevado a cabo ensayos específicos de materiales para encontrar similitudes con las cartas técnicas que se encuentran elaboradas por los fabricantes. Esto contrasta con el enfoque del “3D Lab” que se dedica únicamente a la impresión de prototipos de uso decorativos.

Con los resultados obtenidos se subrayó la relevancia del desarrollo de ingeniería en estos contextos de experimentación, así como la importancia de la comprobación de los resultados tanto teóricos como prácticos. Ambos LFD

coincidieron en la necesidad de corroborar las cartas técnicas con los resultados obtenidos en sus ensayos, y señalaron que se habían encontrado discrepancias entre estas especificaciones técnicas y los resultados en sus ensayos. Esto pudo deberse a la falta de equipo, en específico una UTM que ofreciera una resolución adecuada para el desarrollo de esos ensayos, resaltando así la importancia de una selección precisa de materiales y de un proceso de impresión óptimo, siguiendo las respectivas cartas técnicas para garantizar la resistencia mecánica integral de los prototipos. Por tanto, esto fue otro indicio de la necesidad de adquirir una UTM de una precisión específica y adecuada para materiales de MA. La ausencia de proyectos de Ingeniería en el “3D Lab” pudo sugerir un enfoque más especializado en impresión 3D y prototipado rápido, evidenciando la diversidad de enfoques y prioridades dentro de esos laboratorios.

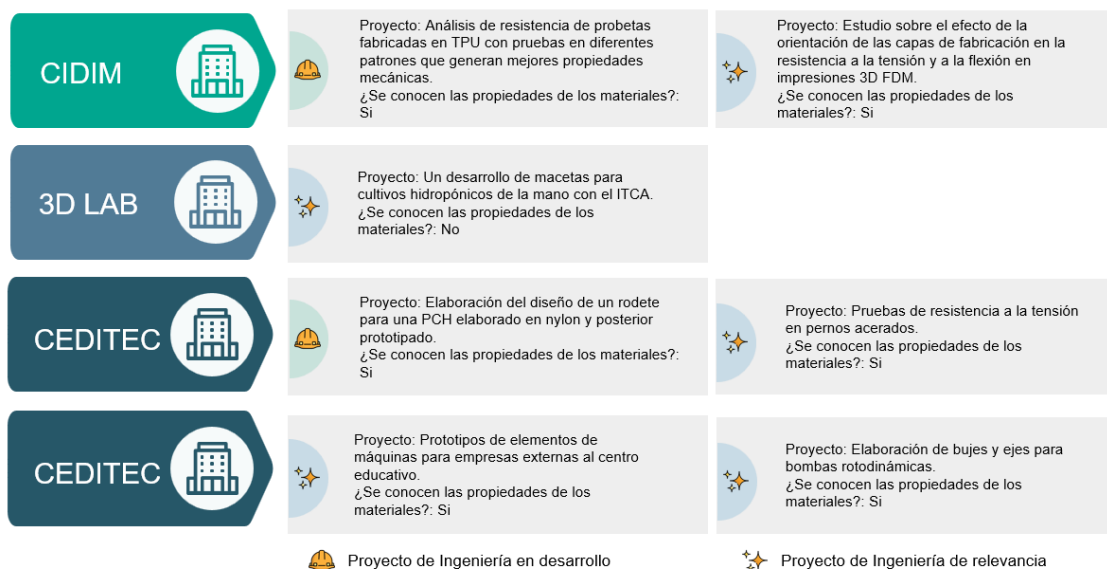


Figura 3-7. Desarrollo de proyecto de ingeniería en los LFD. Fuente: Elaboración propia.

**Hallazgo:** La orientación hacia la Ingeniería Mecánica es evidente en los proyectos actuales en desarrollo en el CIDIM y el CEDITEC. Aunque estos proyectos no son ejecutados en colaboración directa, ambos laboratorios trabajan de manera sinérgica, brindándose mutuo respaldo y aprovechando los recursos disponibles. Por ejemplo, el CIDIM cuenta con una máquina universal de ensayos, mientras que el CEDITEC dispone de una impresora 3D multi material MakerBot. A través de esta colaboración, se optimiza la

*complementariedad de recursos, permitiendo que ambos laboratorios se beneficien mutuamente en el avance y éxito de sus respectivos proyectos. Esto sugiere que, dependiendo de los objetivos específicos del laboratorio, las necesidades de ensayo pueden variar, y la selección de la máquina debe alinearse con estas diferencias.*

#### *3.1.1.4 Relevancia de ensayar materiales de MA.*

La repetida participación de la Universidad Don Bosco en investigaciones relacionadas con la impresión 3D ocasiona que la institución se dé cuenta de la importancia de este tipo de proyectos para la Ingeniería Mecánica. La institución cuenta con una máquina de ensayos universal y, además, se tiene prevista la adquisición de una máquina de ensayos especializada en polímeros en el futuro. Según el Ingeniero Rafael Pimentel, jefe del Laboratorio, enfatiza que las pruebas de tensión, compresión, flexión y fluidez son cruciales para la investigación de las propiedades de los materiales poliméricos.

La Universidad Centroamericana José Simeón Cañas destaca la relevancia del estudio de materiales poliméricos y tiene previsto adquirir una máquina de ensayos especializada para polímeros. Se considera crucial que esta máquina cuente con una escala de cargas que permita la generación de datos confiables. La Ingeniera Connie Paredes, jefa del Laboratorio, llevó a cabo pruebas en materiales poliméricos siguiendo la norma ASTM D638, que aborda el ensayo de tensión. Según su criterio, el ensayo de tensión es el más confiable para determinar las propiedades de un material y, por ende, el más relevante.

Los resultados de la opinión de los LFD sobre la relevancia del estudio de materiales de MA se presentan en la *Figura 3-8*.

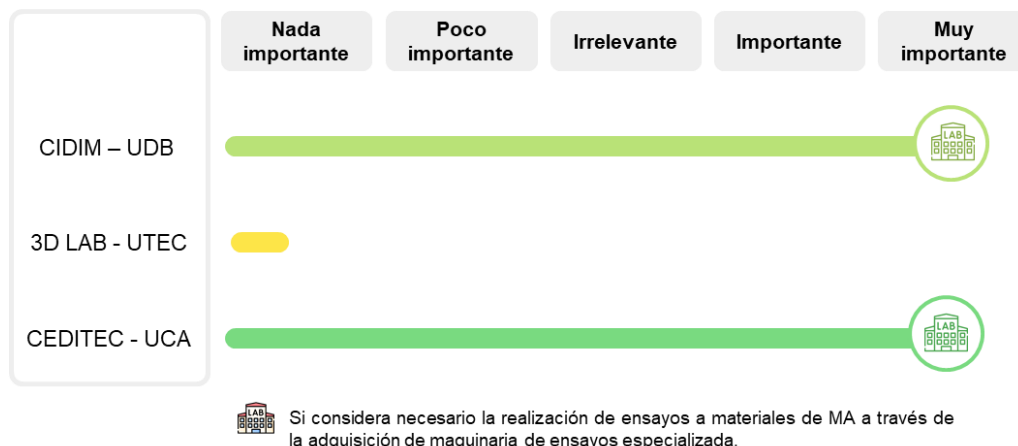


Figura 3-8. Importancia de estudio de materiales de MA por ensayos. Fuente: Elaboración propia.

*Hallazgo: Ambas instituciones muestran similitudes en su enfoque hacia el estudio de materiales poliméricos, especialmente aquellos en auge en la MA, Aunque carecen de una máquina especializada para polímeros, adaptan sus recursos para obtener datos en los diferentes ensayos realizados. La Universidad Centroamericana reconoce la limitación en la garantía de la fidelidad de los datos obtenidos.*

*Ambas instituciones tienen aspiraciones de adquirir maquinaria especializada para polímeros en el futuro para mejorar la precisión de los ensayos. El Ingeniero Pimentel, de la Universidad Don Bosco, destaca la importancia de desarrollar ensayos de tensión, flexión y compresión, mientras que la Ingeniera Paredes solo considera relevante el ensayo de tensión. Por lo tanto, en esta investigación, se propone que el laboratorio de ensayos de materiales para polímeros cuente con una maquinaria específica para realizar ensayos de tensión y flexión.*

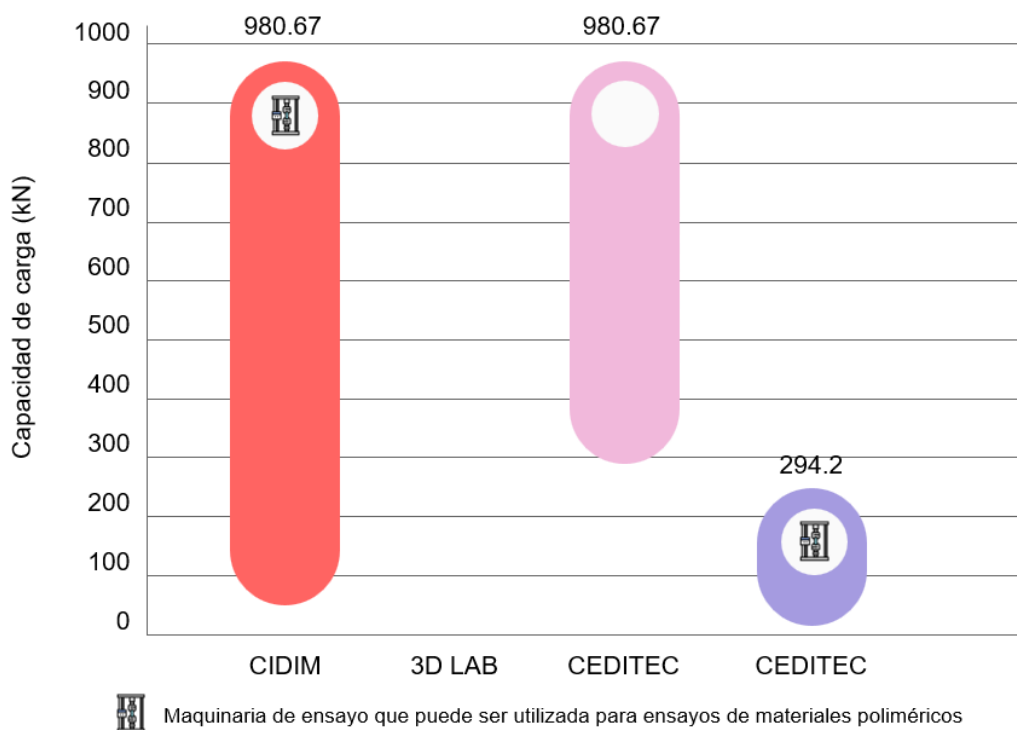
### 3.1.1.5 Relevancia de tener equipo especializado para MA.

Los LFD que se han involucrado en el desarrollo de ensayos de materiales de mecánica de materiales no cuentan con máquinas especializadas para materiales poliméricos. Sin embargo, han adaptado sus condiciones actuales

para llevar a cabo ensayos de tensión y flexión a materiales de esta naturaleza. Uno de los casos particulares mencionados por los responsables de los laboratorios es la necesidad de tener en cuenta la carrera de las mordazas en las máquinas universales. Esto se debe a que con algunos materiales no logran alcanzar el punto de ruptura debido a su alto rango de elongación.

La Universidad Don Bosco cuenta con una máquina universal cuya capacidad máxima es de 100 toneladas métricas (980.67 kN). Siguiendo la misma tendencia, el CEDITEC de la UCA también dispone de una máquina de ensayos no universal de igual capacidad. Además, agrega una máquina universal cuya capacidad máxima es de 30 toneladas métricas (294.3 kN).

El detalle del rango de cargas y si este es equipo de ensayos universal se presentan en la *Figura 3-9*.



*Figura 3-9. Capacidad técnica de las máquinas de ensayos de materiales. Fuente: Elaboración propia.*

**Hallazgo:** Es evidente que el desarrollo de la MA en nuestro país tiene una trayectoria de aproximadamente 5 años, por tanto, ninguno de los LFD cuenta

*con una máquina especializada para llevar a cabo ensayos específicos en materiales poliméricos, así como para el desarrollo de nuevos prototipos e investigaciones relacionadas con la impresión 3D. Como se detalla en el apartado 3.1.1.4, los investigadores indican que obtienen valores, pero la validez de los resultados se ve comprometida debido a la capacidad de la máquina, ya que la sensibilidad del equipo está limitada por el umbral de discriminación.*

*En el contexto de estas nuevas investigaciones, es imperativo asegurar que los resultados sean fiables y se aproximen lo máximo posible al comportamiento real de los materiales. Es en este punto donde la adquisición de una máquina universal especializada para polímeros cobra una importancia significativa. En el ámbito de la ingeniería de investigación y prototipado, la MA está siendo cada vez más relevante día a día. La incorporación de una máquina especializada permitirá abordar de manera más precisa y confiable los desafíos asociados con la caracterización y evaluación de materiales poliméricos, lo cual es esencial en un contexto donde la MA desempeña un papel fundamental en la innovación y desarrollo tecnológico.*

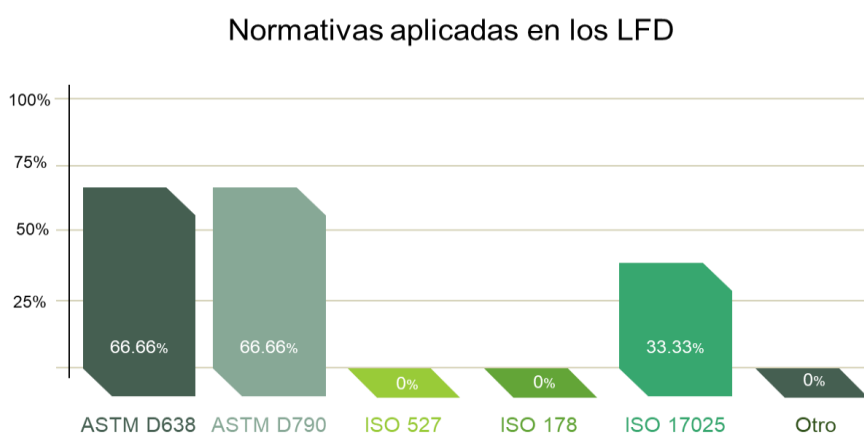
#### *1.1.1.1 Estandarización del proceso de ensayo.*

El CIDIM destaca como la institución que si implementa las normas ASTM para llevar a cabo ensayos de tensión y flexión. Sin embargo, la rigurosidad y metodología aplicadas pueden variar según los alcances específicos del estudio, ya que estas normativas ofrecen pequeñas flexibilidades en la toma de resultados. Además, el CIDIM ha adoptado la normativa ISO 17025:2017, la cual establece los requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y calibración. Aunque no cuenta con la acreditación para esta norma, esta decisión se debe a la necesidad de mantener la flexibilidad en la manipulación de equipos con fines didácticos.

Por otro lado, el CEDITEC sí aplica las normas ASTM, pero previo a su implementación en algún estudio específico, se establece un acuerdo sobre el

tipo de material y la geometría de la probeta a ensayar. Esto se realiza con el fin de determinar si la norma es aplicable y, en caso de aplicar registrarse por sus parámetros. No obstante, cabe mencionar que esta institución aún no ha adoptado la normativa ISO 17025:2017. La razón detrás de esta decisión es que el laboratorio es relativamente nuevo, según indicó el Jefe de Laboratorio. Aunque el laboratorio busca la mejora continua, en este caso se subraya que el laboratorio está en una fase inicial de consolidación, enfocándose en optimizar sus capacidades y recursos para alcanzar los estándares esperados en el corto plazo.

La *Figura 3-10* se presenta la frecuencia con la que los LFD adoptan las normas.



*Figura 3-10. Normativas aplicadas por los laboratorios de fabricación digital. Fuente: Elaboración propia.*

Durante el desarrollo de la investigación, se planteó la interrogante de cómo los LFD pueden asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos en sus ensayos. Se concluyó que la clave radica en la garantía de procesos estandarizados y el cumplimiento de normativas específicas. Además, contar con equipos calibrados y su evidencia mediante el certificado de la calibración emitido por un laboratorio acreditado, asegura la confiabilidad en la precisión y exactitud de las mediciones. La frecuencia de las formas en las que los LFD garantizan los resultados son comparables y confiables se detallan en la *Figura 3-11*.

En concordancia con los estándares y normativas, los laboratorios de fabricación digital también enfatizan la relevancia de los procedimientos de ensayo, así como la selección y preparación de muestras, y la creación de ambientes controlados. La autonomía en la ejecución de estos procedimientos permite adaptarse a las características específicas de cada ensayo, optimizando así la calidad de los resultados obtenidos.

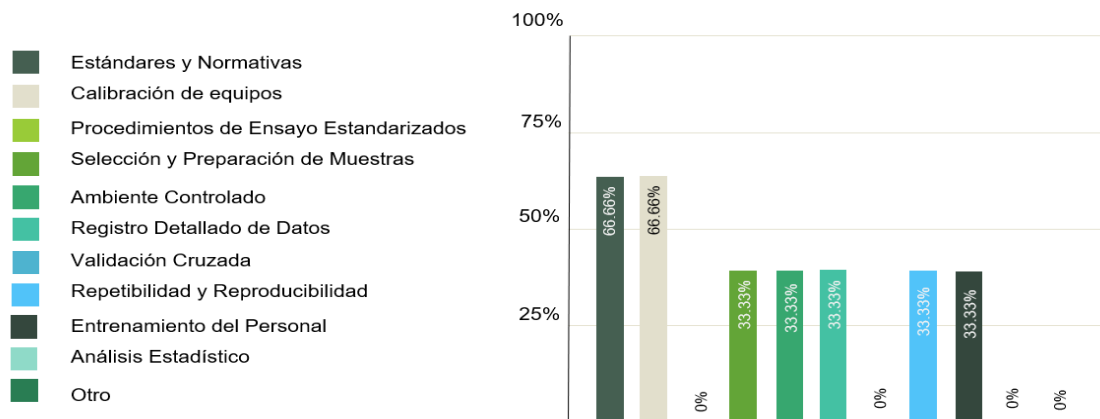


Figura 3-11. Formas en las que los LFD dan garantía de la comparabilidad y confiabilidad de los resultados obtenidos de ensayos a materiales. Fuente: Elaboración propia.

Los LFD no siguen protocolos preestablecidos, sino que se ajustan a la normativa específica del estudio en curso. Esta flexibilidad sugiere una adaptabilidad a las necesidades únicas de cada investigación, permitiendo la personalización de enfoques y métodos. Estas experiencias de los LFD se detallan en la Figura 3-12.

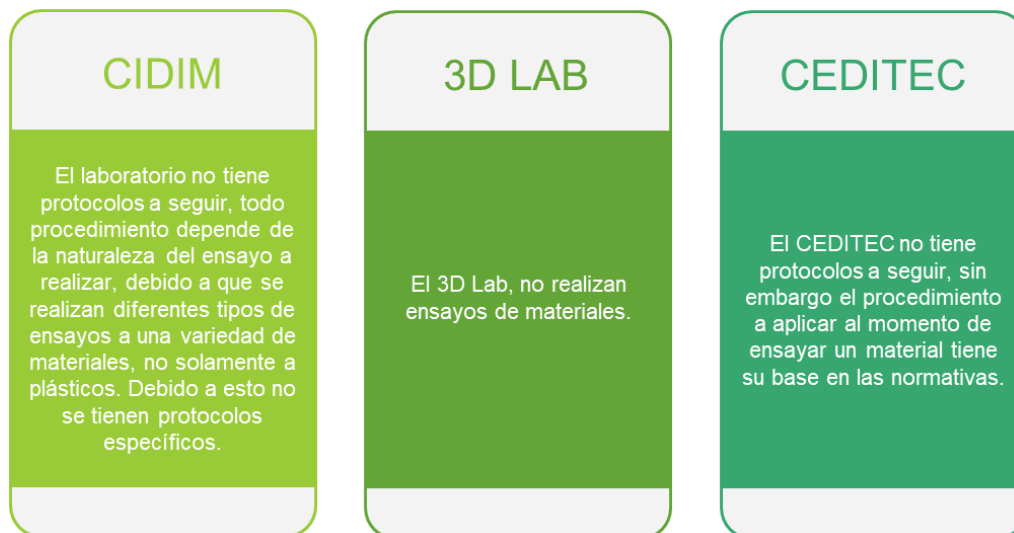
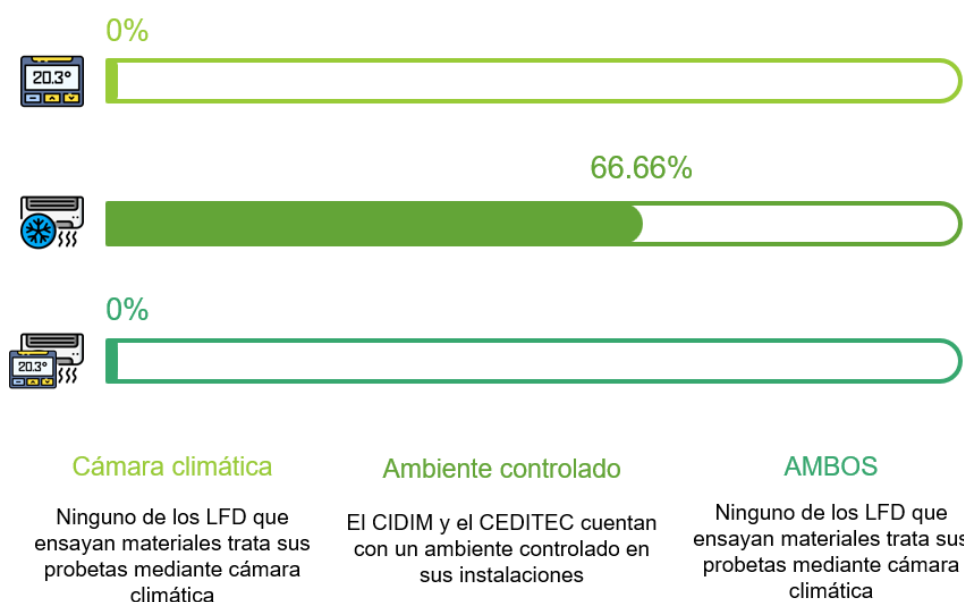


Figura 3-12. Protocolos implementados por los LFD al ensayar materiales. Fuente: Elaboración propia.

El control de parámetros como humedad y temperatura es un criterio esencial según las normas para garantizar resultados precisos en los ensayos de materiales. Todos los LFD implementan sistemas de aire acondicionado para controlar las condiciones ambientales, como se muestra en la *Figura 3-13*, ya que las normativas suelen requerir un rango específico de temperatura para las probetas durante los ensayos. Este control del ambiente asegura que las condiciones sean consistentes y reproducibles, cumpliendo con los estándares y garantizando la validez y confiabilidad de los resultados obtenidos en los ensayos de materiales.



*Figura 3-13. Formas de pretratamiento de probetas previo a ensayo. Fuente: Elaboración propia.*

**Hallazgo:** *En relación con la estandarización del proceso, se evidencia que la aplicación de normas varía en función de los objetivos particulares de cada estudio. Dependiendo de dichos objetivos, las normas pueden ser aplicadas de manera rigurosa o tomarse simplemente como una guía orientativa para el desarrollo del estudio. Ambos LFD: CIDIM y CEDITEC, destacan por la aplicación de normas ASTM específicas para cada tipo de ensayo realizado. Sin embargo, surge un contraste notorio: mientras que el CIDIM también incorpora la normativa específica para la competencia de laboratorios, este aspecto no se observa en el caso del CEDITEC.*




*La entrevista realizada adquiere mayor relevancia en este contexto, ya que ambas entidades subrayan la importancia de la calibración de los equipos. Por lo que, entra a discusión que los LFD antes mencionados realizan la calibración de equipos mediante los servicios de una institución acreditada o por el mismo proveedor.*

*Un detalle destacado es la aclimatación de las probetas de ensayo, la cual debe ser adecuada para cumplir con las normas y representa un parámetro crítico para determinar la calidad de un ensayo. En ninguno de los LFD existentes se tiene en cuenta la presencia de una cámara de climatización; en cambio, se centran en la aclimatación de todo el recinto. En base a esta observación, se plantea la propuesta de adquirir una cámara de aclimatación para asegurar un ambiente controlado, cumpliendo así de manera más rigurosa con las exigencias normativas. Este paso adicional no solo contribuirá a mejorar la calidad de los ensayos, sino que también fortalecerá la propuesta para la creación de un nuevo laboratorio.*

#### *1.1.1.1 Adquisición de equipo.*

Cuando se requiere adquirir un nuevo equipo, el Ingeniero Rafael Pimentel, representante del CIDIM, lleva a cabo un exhaustivo estudio de mercado para la selección de proveedores de equipos de ensayo de materiales. Este análisis aborda diversas consideraciones, como las características técnicas de los equipos, la marca, los tiempos de entrega, los costos asociados, las garantías ofrecidas por los proveedores, los conocimientos técnicos necesarios para operar el nuevo equipo y los requisitos esenciales para su funcionamiento, como suministro de aire comprimido y conexión a la red eléctrica monofásica o trifásica. Una vez superados estos desafíos, el proyecto se somete a la evaluación del consejo académico en una junta, donde se analizan detalladamente los pros y contras antes de su aprobación final.

En el caso del CEDITEC, la Ingeniera Connie Paredes establece contacto con el proveedor que mejor se ajuste a las necesidades del laboratorio. Este proveedor proporciona asesoramiento personalizado para determinar el equipo más adecuado, considerando requisitos normativos, requisitos técnicos como: rango de cargas, rango de la elongación máxima, condiciones de funcionamiento, entre otros. Posteriormente, se elabora un informe del proyecto que se remite al departamento de compras para evaluar la adquisición del equipo. Estas experiencias de los LFD se detallan en la *Figura 3-14*.

	<b>CIDIM</b>	El laboratorio realiza una investigación de mercado de proveedores, marca, tiempos de entrega, los costos, las garantías y que tipo de capacitación necesita el personal para utilizar el equipo. El laboratorio se apoya de la unidad de mantenimiento de la institución para solicitar el cumplimiento de requerimientos técnicos para el funcionamiento del equipo.
	<b>3D LAB</b>	No realizan ensayos de materiales.
	<b>CEDITEC</b>	El representante del laboratorio realiza un estudio de los requisitos necesarios para utilizar el equipo, posteriormente se identifica en el mercado el equipo y el proveedor que llenen estos requisitos y se procede a contactar el proveedor para que de una guía mas detallada sobre el proceso de adquisición. Y finalmente el departamento de compras realiza el desembolso.

*Figura 3-14. Proceso de adquisición de una máquina de ensayo. Fuente: Elaboración propia.*




*Hallazgo: El denominador común entre las instituciones entrevistadas radica en la importancia de realizar un análisis exhaustivo de los requisitos antes de proceder con la adquisición de un equipo especializado. Este análisis abarca diversas consideraciones, como las características técnicas del equipo (rango de carga, elongación máxima, precisión en las mediciones), la marca (disponibilidad de repuestos en el mercado), los tiempos de entrega (depende de la ubicación del fabricante), los costos asociados, las garantías proporcionadas por los proveedores, los conocimientos técnicos necesarios para operar el nuevo equipo y los requisitos esenciales para su funcionamiento, incluyendo suministro de aire comprimido y conexión a la red eléctrica monofásica o trifásica.*

*Una vez superados de manera eficiente todos los requerimientos necesarios para la selección del equipo más adecuado, se procede a elaborar*

una propuesta formal que respalde la decisión ante el departamento encargado en la adquisición de equipo especializado. En el caso de la Universidad de El Salvador, este departamento corresponde a la Unidad de Adquisiciones y Contrataciones Institucional (UACI).

### 3.1.1.6 Relevancia de MA en ingeniería.

Los LFD en general concuerdan con la premisa de la importancia de la impresión 3D y los materiales empleados para una variedad de campos en especial el de la Ingeniería. El CIDIM y el CEDITEC invitan a establecer un laboratorio dedicado específicamente al estudio de propiedades de polímeros, así dar respaldo a la investigación propiedades de materiales, nuevos diseños capaces de soportar más esfuerzos y así proponer prototipos. Aprovechando que estos materiales son más económicos que un material que necesite ser maquinado. El 3D Lab por su parte no realiza ensayos a materiales, pero concuerda en la importancia estudiar materiales de impresión 3D aplicados en Ingeniería. Estas experiencias de los LFD se detallan en la *Figura 3-15*.

<p>CIDIM</p> 	<p>Establecer un laboratorio dedicado específicamente al estudio de propiedades de polímeros es importante en este campo, debido a que el propósito de los laboratorios de ensayos de materiales es evaluar materiales y diseños de piezas para proponer un prototipo. La MA es una tecnología económica para este propósito pero se deben conocer el comportamiento de estos materiales ante esfuerzos factores como su resistencia, patrones de impresión, condiciones del entorno etc.</p>
<p>3D LAB</p> 	<p>No realizan ensayos de materiales en el laboratorio. Únicamente realizan proyectos de impresión 3D.</p>
<p>CEDITEC</p> 	<p>Es importante para el desarrollo y conocimientos de los materiales que se van dando en la MA.</p>

*Figura 3-15. Relevancia de la MA en Ingeniería. Fuente: Elaboración propia.*

*Hallazgo: Los LFD coinciden de manera unánime en la significativa importancia de la MA para la rama de la Ingeniería Mecánica. No obstante, los recursos de las instituciones son muy limitados para que las instituciones opten por la opción de adquirir equipos de última generación, para cada entidad por*

*separado. Por esta razón, los LFD han optado por colaboraciones mutuas, estableciendo alianzas para el desarrollo conjunto de proyectos. Este enfoque busca encontrar maneras eficientes de adquirir equipos especializados que quizás no estén disponibles en cada laboratorio individual, promoviendo así la equitativa contribución al estudio de la MA y una utilización más eficaz de los recursos disponibles.*

### 3.1.2 Identificación de requisitos para la selección del equipo e instrumentos.

Las normativas internacionales desempeñan un papel crucial al establecer parámetros de control para las variables que influyen en el desarrollo de ensayos, definiendo condiciones específicas como carga, temperatura y velocidad. Sin embargo, estas normativas carecen de pautas detalladas sobre la selección de un equipo de ensayo adecuado que abarque una amplia gama de materiales específicos. Esta carencia se vuelve relevante en el caso de los ensayos de materiales poliméricos, ya que, aunque no son particularmente exigentes en términos de cargas, algunos de ellos exhiben un rango de elongación significativamente mayor en comparación con los materiales metálicos.

Es por ello que, los hallazgos encontrados de los resultados de las entrevistas a los LFD nos brindan una perspectiva esencial que guiará la identificación de requisitos clave para una selección eficiente de equipos de ensayo en el laboratorio.

A continuación, se detallan los requisitos más relevantes a tener en cuenta para la selección de los equipos de ensayo:

### 3.1.2.1 Requisitos normativos.

#### 3.1.2.1.1 Requisitos de la norma ASTM - D638 y ASTM - D412.

En este apartado se tomó como referencia, la norma ASTM D638<sup>3</sup>, la cual da directrices que debe cumplir la máquina de ensayo a emplear para que esta sea conforme con la norma. La norma ASTM D412<sup>4</sup>, al igual que la ASTM D638, exige los mismos requisitos basados en la práctica E4, y la UTM debe cumplirlos para realizar los ensayos correctamente. La máquina de ensayos a emplear debe ser capaz de mantener la velocidad constante del movimiento de la cruceta y debe comprender y cumplir lo siguiente:

- Miembro Fijo: la máquina empleada debe tener un miembro fijo que será el portador de una mordaza.
- Miembro Móvil: el miembro con la capacidad de movimiento portará la segunda mordaza.
- Mordazas: las mordazas que sujetarán el espécimen (ubicadas una en el miembro fijo y la otra en el móvil) puede ser tanto fijas como auto alienable.
  - Mordazas fijas: Están rígidamente unidas a los brazos fijos y móvil de la máquina de ensayo. Si se emplea este tipo de mordaz debe tenerse especial cuidado para asegurar que el espécimen es insertado y sujetado de modo que el eje longitudinal de éste coincida con la dirección de aplicación de la tensión.
  - Mordazas auto alienables: se ubican en los brazos móvil y fijo de la máquina de ensayos, de modo que puedan moverse libremente para alinearse tan pronto como la fuerza se aplique, de tal manera que el eje longitudinal del espécimen coincida con la dirección de aplicación de la tensión.
  - Sujeción del espécimen: El espécimen debe estar sujeto de manera que se prevenga y corrija el deslizamiento relativo de las mordazas en la medida de lo posible. Las superficies de las mordazas deben estar marcadas o

---

<sup>3</sup> ASTM – D638: Método de ensayo estándar para propiedades de tensión en plásticos.

<sup>4</sup> ASTM – D412: Métodos de prueba estándar para elastómeros de caucho vulcanizado y termoplásticos: tensión.

dentadas con un patrón similar a aquellos realizados con herramientas de un único filo grueso tal que el patrón dentado cuente con una separación de 2.4 mm y una profundidad de 1.6 mm (que han sido probados como lo más eficientes para la mayoría de termoplásticos). Bordes dentados más finos son más satisfactorios en plásticos más duros (como materiales termoestables). Los bordes dentados deben mantenerse limpios y afilados. Si se produce agrietamiento en las mordazas, incluso empleando bordes dentados profundos o superficies desgastadas, debe recurrirse a otras técnicas. Se han encontrado especialmente útiles para mordazas de cara lisa la abrasión de la superficie del espécimen que estará en contacto con la mordaza, e interponer delgadas láminas de lija abrasiva, plástico o goma entre el espécimen y la mordaza. El papel abrasivo de doble cara (grano 80) resulta efectivo en muchos casos, al igual que el empleo de tejidos de mallado expuesto en los que los hilos han sido recubiertos de abrasivo. La reducción del área transversal del espécimen también puede ser de utilidad, así como el uso de mordazas especiales para evitar el deslizamiento y la rotura.

- Mecanismo de transmisión: Mecanismo encargado de imponer una velocidad uniforme y controlada del miembro móvil respecto del fijo. Esta velocidad debe regularse según se especifica en la norma.
- Indicador de carga: el mecanismo de indicación de la fuerza debe ser capaz de mostrar la tensión total aplicada sobre el espécimen cuando este está sujeto por las mordazas. El mecanismo debe estar libre de inercia en las condiciones en las que se realice el test y debe indicar la carga con una precisión del  $\pm 1\%$  o superior. La precisión de la máquina de ensayos debe comprobarse en acuerdo a las “Práctica E4”<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Se refiere a la norma ASTM E4, que establece procedimientos estandarizados para la calibración de máquinas de prueba de tracción utilizadas para determinar las propiedades mecánicas de los materiales. Esta norma proporciona directrices detalladas para la calibración y verificación de máquinas de prueba de tracción para garantizar que produzcan resultados precisos y confiables.

Los materiales de los que estén hechos el miembro móvil, el fijo y el mecanismo de transmisión, deben ser tales y en tales proporciones que la deformación del sistema constituido por dichas partes no exceda el 1% de la deformación longitudinal total entre las marcas de calibración del espécimen de ensayo, en ningún momento durante el experimento y bajo ninguna carga (del rango posible de la máquina).

- Indicador de extensión de la cruceta: La máquina de ensayo debe constar de un mecanismo indicador de extensión adecuado, capaz de mostrar el cambio en la separación de las mordazas, es decir el movimiento de la cruceta. Debe estar libre de inercias en las condiciones en las que se realice el ensayo y tiene que indicar el movimiento de la cruceta con una precisión del  $\pm 10\%$  del valor indicado.

#### 3.1.2.1.2 Requisitos de la norma ASTM - D790.

En lo que respecta a los requisitos para la máquina de ensayos de flexión, se consideran los de la norma ASTM D790. La cual indica que la máquina debe mantener una velocidad constante en el cabezal móvil que aplica la carga mediante la nariz, además de medir con precisión establecida la carga y la deflexión del espécimen, entre otros parámetros citados a continuación:

- Máquina de ensayos:
  - Movimiento del cabezal: La máquina empleada debe poder operarse a tasas constantes de movimiento del cabezal móvil en el rango indicado y en la cual el error en el sistema de medición de carga no debe exceder el  $\pm 1\%$  de la carga máxima que se espera medir.
  - Medición de la deflexión: Debe estar equipada con un dispositivo de medición de deflexión.
  - Rigidez de la máquina: La rigidez de la máquina de ensayos debe ser tal que la deformación elástica total del sistema no supere el 1 % de la deflexión total de la probeta durante el ensayo, o se deben realizar correcciones apropiadas.

- Medición de la carga: El mecanismo de indicación de carga debe ser esencialmente libre de retardo inercial a la velocidad del cabezal utilizada. La precisión de la máquina de ensayos debe verificarse de acuerdo con las prácticas E4.
- Narices de carga y soportes: Las narices de carga y los soportes deben tener superficies cilíndricas. Los radios predeterminados de la nariz de carga y los soportes deben ser de  $5.0 \pm 0.1$  mm ( $0.197 \pm 0.004$  pulgadas).
- Otros Radios para Narices de Carga y Soportes: Cuando se utilicen narices de carga y soportes distintos a los predeterminados, con el fin de evitar una indentación excesiva o fallos debido a la concentración de esfuerzos directamente bajo la nariz de carga.
  - Radio mínimo de narices de carga y soportes: El radio mínimo es de 3.2 mm (1/8 de pulgada) para todos los especímenes.
  - Igual espesor de espécimen y el radio mínimo: Para especímenes con una profundidad de 3.2 mm o más, el radio de los soportes puede ser hasta 1.6 veces la profundidad del espécimen.
  - Radio máximo de narices de carga y soportes: El radio máximo de la nariz de carga no debe ser más de cuatro veces la profundidad del espécimen.

### 3.1.2.2 *Requisitos técnicos.*

#### 3.1.2.2.1 Capacidad de carga adecuada.

La capacidad de carga de la máquina de ensayo dependerá directamente de la resistencia de los materiales a los cuales estará dedicada. Se asume que los materiales serán poliméricos, es por ello que el enfoque específico de estudio de la máquina se centrará en aquellos que tienen presencia en la *Figura 3-4*.

Esta elección se basa en la necesidad de adaptar la capacidad de carga a las características particulares de los materiales seleccionados, es por ello que para revisar con criterio cada uno de estos, se comparan las características de resistencia a la tensión y a la flexión de diferentes fabricantes

### 3.1.2.2.1 Dimensiones de los especímenes de ensayo.

Para materiales poliméricos sometidos a esfuerzos de tensión, se sigue la norma ASTM D680, la cual establece las directrices para las dimensiones de los especímenes de ensayo según el tipo de material bajo estudio, la disposición de la cantidad de material y los acuerdos entre las partes interesadas.

- *Especímen Tipo I:* Para especímenes de prueba estándar en forma de mancuerna fabricadas con *plásticos rígidos y semirrígidos*, se ajustará la muestra con las dimensiones presentadas en la *Figura 3-16*. Donde el área transversal donde recorren los esfuerzos tensiles tiene un ancho de *13.00 mm* y un espesor de *3.20 mm*.
- *Especímen Tipo IV:* Para especímenes de prueba estándar en forma de mancuerna fabricadas con *plásticos no rígidos*, la muestra se ajustará con las dimensiones indicadas en la *Figura 3-17*. Donde el área transversal donde recorren los esfuerzos tensiles tiene un ancho de *12.70 mm* y un espesor de *3.00 mm*.

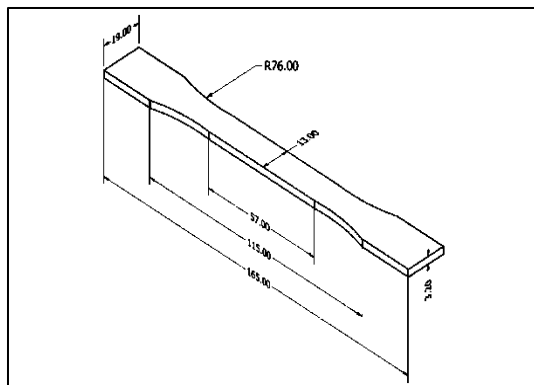


Figura 3-16. Dimensiones de una probeta tipo I según la norma ASTM D680. Fuente: Elaboración propia.

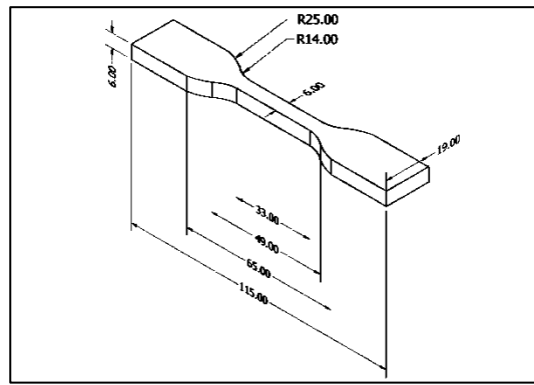
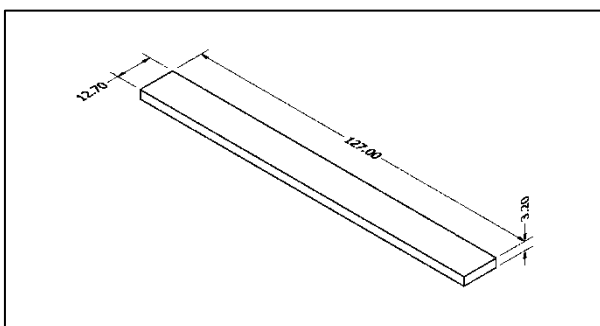


Figura 3-17. Dimensiones de una probeta tipo IV según la norma ASTM D680. Fuente: Elaboración propia.

- En cuanto a materiales poliméricos ensayados en esfuerzos a la flexión, se emplea la norma ASTM D790, esta establece las dimensiones a la cual deben ajustarse los especímenes de ensayo en forma de láminas. Las dimensiones están dadas para materiales de moldeo, tanto los termoplásticos como los termoestables. Los materiales que tienen presencia en los LFD, son todos termoplásticos.

- Espécimen para materiales laminados termoplásticos: Para especímenes de prueba estándar en forma de láminas fabricadas con polímeros termoplásticos, la probeta debe ajustarse a las dimensiones detalladas en la *Figura 3-18*. Dimensiones de una probeta tipo I según la norma ASTM D790. Fuente: Elaboración propia.. Donde el ancho es de 12.70 mm, el espesor es de 3.2 mm y el largo de la muestra es de 127 mm.



*Figura 3-18. Dimensiones de una probeta tipo I según la norma ASTM D790. Fuente: Elaboración propia.*

### 3.1.2.2.1.2 Capacidad de carga de la UTM.

La determinación de la carga para la máquina de ensayo se determina siguiendo los principios de diseño de elementos de máquinas y la normativa pertinente para cada tipo de ensayo. Se emplea el concepto de deformación debido a esfuerzos de tensión en un área transversal nominal y la deflexión en una viga simplemente apoyada con una carga puntual en el medio debido a esfuerzos flectores. Esto es especialmente relevante en el caso de las probetas poliméricas, las cuales se ajustan a las especificaciones de la norma ASTM y presentan una sección transversal rectangular.

- Esfuerzo de tensión.

En líneas generales el esfuerzo de tensión se determina como la fuerza por unidad de área. La norma ASTM D680 determina el esfuerzo de tensión con la siguiente ecuación:

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

*Ecuación 1*

En donde:

$\sigma$ : Esfuerzo máximo a la tensión.

$P$ : Fuerza de tensión (carga de tensión).

$A$ : Área de la sección transversal.

En la investigación desarrollada a los LFD, se utilizan materiales rígidos y semirrígidos como lo son el PLA, ABS, PA y PLA CF. Además, se tiene el TPU como un material no rígido. En este caso la norma ASTM D638 recomienda para plásticos rígidos y semirrígidos un espécimen tipo I y tipo IV para materiales no rígidos.

Para determinar el área transversal que requiere mayor aplicación de carga se tiene:

- Área del espécimen tipo I: “13.00 mm x 3.20 mm” Área del espécimen tipo IV: “6.00 mm x 6.00 mm”
- Esfuerzo de flexión.

Cuando un material elástico homogéneo se ensaya a flexión como una viga simple apoyada en dos puntos y cargada en el punto medio, la tensión máxima en la superficie exterior de la muestra de ensayo ocurre en el punto medio. Esta tensión se puede calcular para cualquier punto de la curva cargada a deflexión mediante la siguiente ecuación.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bd^2}$$

*Ecuación 2*

En donde:

$\sigma$ : Esfuerzo a la flexión.

$P$ : Fuerza aplicada en un punto medio de la curva (carga de flexión).

$L$ : Tramo de soporte.

*b*: Ancho de la probeta.

*d*: Espesor de la viga.

Se considera que todos los materiales empleados en los LFD son materiales laminados por lo que, aplicando la norma ASTM D790 se tiene:

- Dimensiones del espécimen tipo I: " $L = 51.2 \text{ mm}$ ", " $b = 12.7 \text{ mm}$ " y " $d = 3.2 \text{ mm}$ ".

La determinación de la carga de tensión, así como la carga de flexión, estará dada por sus respectivas expresiones (Ecuación 1 y Ecuación 2). Tomando como valor nominal el esfuerzo último a la tensión y a flexión de cada material, dado por la investigación a los LFD, se procede a determinar qué material requiere una mayor aplicación de carga como se presenta en la *Tabla 2*.

Tabla 2. Determinación de la carga máxima en una máquina de ensayo, según los materiales utilizados en los LFD y sus diferentes proveedores. Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la carga para máquina de ensayo de Tension						Determinación de la carga para máquina de ensayo de Flexion						
PLA												
ASTM D680 - Especimen Tipo I						ASTM D790 - Especimen Tipo I						
Fabricante	Resistencia Tensil (MPa)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga nominal de la máquina (kN)	Resistencia a Flexion (MPa)	Longitud entre apoyos (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Carga (N)	Carga nominal de la máquina (kN)
Ultimaker	45.60	13.00	3.20	41.60	1.897	1.518	103.00	51.20	12.70	3.20	0.174	0.140
Spectrum	30.00	13.00	3.20	41.60	1.248	0.998						
Color Plus	60.00	13.00	3.20	41.60	2.496	1.997	87.00	51.20	12.70	3.20	0.147	0.118
Grylon 3	60.00	13.00	3.20	41.60	2.496	1.997	83.00	51.20	12.70	3.20	0.141	0.112
ABS												
ASTM D680 - Especimen Tipo I						ASTM D790 - Especimen Tipo I						
Fabricante	Resistencia Tensil (MPa)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga nominal de la máquina (kN)	Resistencia a Flexion (MPa)	Longitud entre apoyos (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Carga (N)	Carga nominal de la máquina (kN)
Color Plus	40.00	13.00	3.20	41.60	1.664	1.331	68.00	51.20	12.70	3.20	0.115	0.092
Smartfil	45.00	13.00	3.20	41.60	1.872	1.498	65.00	51.20	12.70	3.20	0.110	0.088
TLP	45.00	13.00	3.20	41.60	1.872	1.498	65.00	51.20	12.70	3.20	0.110	0.088
Ideplas	45.00	13.00	3.20	41.60	1.872	1.498						
PA (Nylon)												
ASTM D680 - Especimen Tipo I						ASTM D790 - Especimen Tipo I						
Fabricante	Resistencia Tensil (MPa)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga nominal de la máquina (kN)	Resistencia a Flexion (MPa)	Longitud entre apoyos (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Carga (N)	Carga nominal de la máquina (kN)
Elaplas	85.00	13.00	3.20	41.60	3.536	2.829						
Tecamid	70.00	13.00	3.20	41.60	2.912	2.330	39.00	51.20	12.70	3.20	0.066	0.053
Duraflon	82.00	13.00	3.20	41.60	3.411	2.729	110.00	51.20	12.70	3.20	0.186	0.149
TPU												
ASTM D680 - Especimen Tipo IV						ASTM D790 - Especimen Tipo I						
Fabricante	Resistencia Tensil (MPa)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga nominal de la máquina (kN)	Resistencia a Flexion (MPa)	Longitud entre apoyos (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Carga (N)	Carga nominal de la máquina (kN)
Forward	34.00	6.00	6.00	36.00	1.224	0.979						
EQ 3D	29.00	6.00	6.00	36.00	1.044	0.835	9.40	51.20	12.70	3.20	0.016	0.013
Ultimaker	39.00	6.00	6.00	36.00	1.404	1.123	4.30	51.20	12.70	3.20	0.007	0.006
PLA CF												
ASTM D680 - Especimen Tipo I						ASTM D790 - Especimen Tipo I						
Fabricante	Resistencia Tensil (MPa)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga (kN)	Carga nominal de la máquina (kN)	Resistencia a Flexion (MPa)	Longitud entre apoyos (mm)	Ancho del espécimen (mm)	Espesor del espécimen (mm)	Carga (N)	Carga nominal de la máquina (kN)
3dx tech	48.00	13.00	3.20	41.60	1.997	1.597	89.00	51.20	12.70	3.20	0.151	0.121
Spectrum	65.00	13.00	3.20	41.60	2.704	2.163						

En la *Tabla 2* se presenta la comparación de la capacidad de carga requerida para realizar ensayos de tensión y flexión en materiales de diferentes proveedores, que comúnmente son utilizados en los LFD. De la *Tabla 2*, se concluye que el ensayo de tensión al PA del fabricante Elaplas demanda la mayor capacidad de carga, con un valor de 3.536 kN, en contraste con el ensayo de flexión, donde el PA del fabricante Duraflon requiere una carga máxima de 0.186 kN. Por lo tanto, se toma como referencia para la capacidad nominal de la máquina universal de ensayos el valor de carga correspondiente al ensayo que exige la mayor carga, en este caso, el ensayo de tensión.

### 3.1.2.2.1.3 Carga nominal de la UTM.

Las máquinas rara vez operan al máximo de su capacidad, generalmente funcionan alrededor del 80% de su capacidad nominal.

$$\text{Carga nominal de la máquina} = \text{Carga máxima de ensayos} \times 0.8$$

*Ecuación 3*

Por tanto:

$$\text{Carga nominal de la máquina}_f = 0.186 \text{ kN} \times 0.8 = 0.149 \text{ kN}$$

$$\text{Carga nominal de la máquina}_t = 3.526 \text{ kN} \times 0.8 = 2.829 \text{ kN}$$

Siguiendo esta consideración la carga resultante de **2.829 kN** se toma como la capacidad nominal de carga de la máquina de ensayo para los siguientes cálculos.

### 3.1.2.2.2 Espacio disponible de desplazamiento de la cruceta.

Si la cruceta alcanza su límite de desplazamiento antes de que el espécimen falle, el ensayo queda incompleto y no se puede medir toda la elongación sufrida. El software de la máquina no puede compensar automáticamente esta limitación, por lo que es crucial anticiparse y asegurarse de que el equipo utilizado tenga el rango adecuado de desplazamiento. Cuando el equipo no es capaz de registrar el comportamiento total del material, los resultados obtenidos pueden no ser válidos o representativos del rendimiento real del material. Este espacio disponible para ensayos se determina siguiendo los principios de diseño de elementos de máquinas y las directrices de las normativas específicas para cada tipo de ensayo.

#### 3.1.2.2.2.1 Rango de deformación y longitud de desplazamiento entre mordazas.

Se asume que los materiales ensayados son isotrópicos. Y que, al momento de determinar las propiedades mecánicas presentes en las fichas técnicas de cada fabricante, se aplicaron normativas ASTM y además la UTM empleó una carga constante nominal para cada material.

– Deformación por tensión

Se determinó la máxima deformación por tensión siguiendo la expresión de la deformación de una varilla con sección transversal homogénea de un único material y únicamente cargada en sus extremos:

$$\delta = \frac{PL}{AE} \quad \text{Ecuación 4}$$

En donde:

$\delta$ : Deformación del material por esfuerzos tensiles.

$P$ : Fuerza de tensión.

$L$ : Longitud de la sección estrecha del espécimen.

$A$ : Área transversal del espécimen.

$E$ : Módulo de elasticidad del material.

La experiencia del Ing. Rafael Pimentel encargado del CIDIM en los ensayos de materiales sugiere considerar un margen adicional del 50% en la deformación final, debido a que algunos metales ensayados por los LFD exceden la elongación que detalla sus fichas técnicas. Este mismo escenario ocurre en pruebas a plásticos, que tienen un rango de elongación más amplio en comparación con los metales. Si bien la norma contempla estas altas deformaciones en plásticos, permitiendo aumentar la velocidad de movimiento de la cruceta para obtener resultados más confiables. Incluir este margen extra asegura que estemos preparados para cualquier resultado inesperado.

$$\begin{aligned} & \text{Long. de desplazamiento entre mordazas} \\ & = \text{long. de la sección estrecha} \\ & + (\text{deformacion max. por tensión} \times (1 + 0.5)) \end{aligned} \quad \text{Ecuación 5}$$

Por tanto:

$$\begin{aligned} \text{Long. de desplazamiento entre mordazas} &= 33 \text{ mm} + (129.65 \text{ mm} \times (1 + 0.5)) \\ &= 227.48 \text{ mm.} \end{aligned}$$

En la *Tabla 3* se presenta la comparación de la longitud final del espécimen después del ensayo a tensión, al desarrollar la *Ecuación 4* y *Ecuación 5* para los materiales de diversos proveedores que comúnmente son utilizados en los LFD. El análisis revela que el TPU del fabricante Forward experimenta la mayor deformación, con una elongación máxima de 129.65 mm, lo que implica que este material requiere una longitud de desplazamiento entre mordazas de 227.48 mm para realizar el ensayo. El TPU es un elastómero termoplástico, este material naturalmente presenta un alto rango de deformación, por lo que el desplazamiento mínimo entre mordazas debe ser de 227.48 mm para poder ensayar adecuadamente este tipo de material. Aunque la norma ASTM D638 y las máquinas de ensayo actuales permiten ajustar la velocidad de la cruceta solventando así la limitación que la deformación exceda la capacidad de desplazamiento de la cruceta, es recomendable aplicar la norma ASTM D412, la cual es más específica en cuanto el ensayo de este tipo de materiales.

– Deformación por flexión

Se determina la máxima deformación por flexión empleando el concepto de una viga rectangular de un mismo material, simplemente apoyada en sus extremos con una única carga aplicada en el medio.

$$v_{max} = \frac{PL^3}{4Ebd^3} \quad \text{Ecuación 6}$$

En donde:

$v_{max}$ : Deformación máxima por flexión

$P$ : Fuerza aplicada en un punto medio de la curva (carga de flexión).

$L$ : Tramo de soporte.

*b*: Ancho de la probeta.

*d*: Espesor de la viga.

*E*: Modulo de elasticidad del material.

La norma ASTM D790 contempla la alta deformación de los plásticos durante los ensayos. En sus directrices, en el apartado 10.1.7, especifica que la prueba finaliza cuando la deformación máxima en la superficie exterior del espécimen de prueba alcanza  $0.05 \text{ mm/mm (in./in.)}$  o cuando se produce la rotura antes de alcanzar dicha deformación máxima.

Cuando el esfuerzo por flexión supera el esfuerzo máximo recomendado por la norma, se tomará este último para determinar la deflexión máxima en la fibra externa del espécimen aplicando la siguiente expresión.

$$D = \frac{rL^2}{6d}$$

*Ecuación 7*

En donde:

*D*: Deflexión en la fibra externa de la viga.

*L*: Tramo de soporte.

*d*: Espesor de la viga.

*r*: esfuerzo por flexión.

En la *Tabla 3* se presenta la comparación de la deflexión máxima del espécimen después del ensayo a flexión, al desarrollar la *Ecuación 6* y *Ecuación 7*. El análisis muestra que el TPU del fabricante Ultimaker presenta el mayor valor de deflexión de 462.11 mm, aunque esta deflexión es puramente teórica, representa un valor muy elevado en comparación con el resto de materiales. Esto es debido a que, en la práctica, el rango de deflexión de la viga se controla mediante la tasa de deformación por flexión aplicado en la misma. Para este caso, la tasa es de  $3.38 \text{ mm/mm}$ .

En donde:

$$3.38\text{mm/mm} > 0.05 \text{ mm/mm}$$

Debido a que la viga no fallara por flexión, la norma ASTM D790 establece que el ensayo se detiene al alcanzar una deformación máxima de  $0.05 \text{ mm/mm}$ . Al aplicar la *Ecuación 7*, se obtiene una deflexión máxima en la fibra externa de la viga de  $6.83 \text{ mm}$ . Este valor representa el límite máximo de deflexión establecido por la norma. Sin embargo, este valor sugiere que los ensayos de flexión en muestras de TPU pueden resultar inconclusos, ya que el ensayo finaliza antes de alcanzar la máxima deflexión permitida.

En la *Tabla 3* se presentan los resultados de la longitud de desplazamiento entre mordazas requerido para llevar a cabo el ensayo en cada material, destacando la necesidad de que la máquina de ensayo posea una longitud mínima de  **$227.48 \text{ mm}$** . En lo que respecta al ensayo de flexión, el rango de deflexión, al estar limitado por la norma, está cubierto en la longitud nominal que se propuesta.

Tabla 3. Determinación de la longitud nominal en una máquina de ensayo, según los materiales utilizados en los LFD y sus diferentes proveedores. Fuente: Elaboración propia.

Determinación de la elongación para máquina de ensayo de Tension										Determinación de la elongación para máquina de ensayo de Flexion						
PLA																
ASTM D680 - Especimen Tipo I								ASTM D790 - Especimen Tipo I								
Fabricante	Modulo de elasticidad (MPa)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga nominal de la maquina (kN)	Longitud de la seccion estrecha (mm)	Elongacion maxima (mm)	Longitud final de la seccion estrecha (mm)	Longitud de desplazamiento entre mordazas (mm)	Longitud del especimen (mm)	Ancho del especimen (mm)	Espesor del especimen (mm)	Carga nominal de la maquina (kN)	Inercia de una viga rectangular (mm <sup>4</sup> )	Deflexion maxima en la viga (mm)	Deformacion maxima por flexion (mm/mm)	Deformacion maxima por flexion 5% (mm/mm)	Deflexion maxima en la fibra externa de la viga (mm)
Ultimaker	2346.50	41.60	2.829	57.00	1.65	58.65	59.48	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	5.12	0.04	0.05	5.120
Spectrum	2750.00	41.60	2.829	57.00	1.41	58.41	59.11									
Color Plus	3642.00	41.60	2.829	57.00	1.06	58.06	58.60	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	3.30	0.02	0.05	3.299
Grylon 3	3600.00	41.60	2.829	57.00	1.08	58.08	58.62	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	3.34	0.02	0.05	3.337
ABS																
ASTM D680 - Especimen Tipo I								ASTM D790 - Especimen Tipo I								
Fabricante	Modulo de elasticidad (MPa)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga nominal de la maquina (kN)	Longitud de la seccion estrecha (mm)	Elongacion maxima (mm)	Longitud final de la seccion estrecha (mm)	Longitud de desplazamiento entre mordazas (mm)	Longitud del especimen (mm)	Ancho del especimen (mm)	Espesor del especimen (mm)	Carga nominal de la maquina (kN)	Inercia de una viga rectangular (mm <sup>4</sup> )	Deflexion maxima (mm)	Deformacion maxima por flexion (mm/mm)	Deformacion maxima por flexion 5% (mm/mm)	Deflexion maxima en la fibra externa de la viga (mm)
Color Plus	2443.00	41.60	2.829	57.00	1.59	58.59	59.38	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	4.92	0.04	0.05	4.918
Smartfil	2300.00	41.60	2.829	57.00	1.69	58.69	59.53	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	5.22	0.04	0.05	5.224
TLP	2302.84	41.60	2.829	57.00	1.68	58.68	59.52	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	5.22	0.04	0.05	5.217
Ideplas	2400.00	41.60	2.829	57.00	1.62	58.62	59.42									
PA (Nylon)																
ASTM D680 - Especimen Tipo I								ASTM D790 - Especimen Tipo I								
Fabricante	Modulo de elasticidad (MPa)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga nominal de la maquina (kN)	Longitud de la seccion estrecha (mm)	Elongacion maxima (mm)	Longitud final de la seccion estrecha (mm)	Longitud de desplazamiento entre mordazas (mm)	Longitud del especimen (mm)	Ancho del especimen (mm)	Espesor del especimen (mm)	Carga nominal de la maquina (kN)	Inercia de una viga rectangular (mm <sup>4</sup> )	Deflexion maxima (mm)	Deformacion maxima por flexion (mm/mm)	Deformacion maxima por flexion 5% (mm/mm)	Deflexion maxima en la fibra externa de la viga (mm)
Elaplas	2500.00	41.60	2.829	57.00	1.55	58.55	59.33									
Tecamid	2800.00	41.60	2.829	57.00	1.38	58.38	59.08	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	4.29	0.03	0.05	4.291
Duraflon	2760.00	41.60	2.829	57.00	1.40	58.40	59.11	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	4.35	0.03	0.05	4.353
TPU																
ASTM D680 - Especimen Tipo IV								ASTM D790 - Especimen Tipo I								
Fabricante	Modulo de elasticidad (MPa)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga nominal de la maquina (kN)	Longitud de la seccion estrecha (mm)	Elongacion maxima (mm)	Longitud final de la seccion estrecha (mm)	Longitud de desplazamiento entre mordazas (mm)	Longitud del especimen (mm)	Ancho del especimen (mm)	Espesor del especimen (mm)	Carga nominal de la maquina (kN)	Inercia de una viga rectangular (mm <sup>4</sup> )	Deflexion maxima (mm)	Deformacion maxima por flexion (mm/mm)	Deformacion maxima por flexion 5% (mm/mm)	Deflexion maxima en la fibra externa de la viga (mm)
Forward	20.00	36.00	2.829	33.00	<b>129.65</b>	<b>162.65</b>	<b>227.48</b>									
EQ 3D	29.00	36.00	2.829	33.00	89.42	122.42	167.12	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	414.31	3.03	0.05	6.827
Ultimaker	26.00	36.00	2.829	33.00	99.73	132.73	182.60	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	<b>462.11</b>	<b>3.38</b>	<b>0.05</b>	<b>6.827</b>
PLA CF																
ASTM D680 - Especimen Tipo I								ASTM D790 - Especimen Tipo I								
Fabricante	Modulo de elasticidad (MPa)	Area transversal (mm <sup>2</sup> )	Carga nominal de la maquina (kN)	Longitud de la seccion estrecha (mm)	Elongacion maxima (mm)	Longitud final de la seccion estrecha (mm)	Longitud de desplazamiento entre mordazas (mm)	Longitud del especimen (mm)	Ancho del especimen (mm)	Espesor del especimen (mm)	Carga nominal de la maquina (kN)	Inercia de una viga rectangular (mm <sup>4</sup> )	Deflexion maxima (mm)	Deformacion maxima por flexion (mm/mm)	Deformacion maxima por flexion 5% (mm/mm)	Deflexion maxima en la fibra externa de la viga (mm)
3dx tech	4950.00	41.60	2.829	57.00	0.78	57.78	58.17	51.20	12.70	3.20	0.149	34.68	2.43	0.02	0.05	2.427
Spectrum	12500.00	41.60	2.829	57.00	0.31	57.31	57.47									

### 3.1.2.2.3 Control de velocidad.

- Determinación de la velocidad para el ensayo a la tensión.

Es ampliamente reconocido que las propiedades a tensión pueden verse afectadas por diversos factores, como la preparación de la muestra, el entorno de la prueba y, sobre todo, la velocidad de deformación aplicada durante la prueba. Por tanto, en esta sección se procederá a determinar el rango de velocidades que la máquina de ensayo debe ser capaz de configurar.

La velocidad durante la prueba se define como la velocidad relativa de movimiento de las empuñaduras o accesorios de prueba. Sin embargo, es importante señalar que la velocidad de movimiento de la empuñadura o dispositivo impulsado cuando la máquina de prueba está en funcionamiento no está especificada de manera general. Por esta razón, la norma ASTM D638 proporciona una tabla que sugiere, en función de la clasificación de los materiales según su rigidez y el tipo de probeta utilizada en el ensayo, una velocidad en mm/min.

Además, la norma sugiere seleccionar la velocidad más baja que permita la ruptura del espécimen de ensayo en un rango de tiempo de entre 0.5 a 5.0 minutos como se muestra en la *Tabla 4*.

*Tabla 4. Designaciones para velocidades de ensayo de tensión. En texto negro se resaltan las velocidades utilizadas para los materiales utilizados en los LFD. Fuente: Información obtenida de la norma ASTM D638: Propiedades de tracción plástico, (ASTM, 2022).*

Clasificación	Tipo de muestra	Velocidad de prueba, mm/min (pulg/min)	Esfuerzo nominal, rango de inicio de prueba mm/mm min (in/in min)
<b>ASTM D680</b>			
	I, II, III, Varillas y tubos.	<b>5(0.2) ± 25%</b>	<b>0.1</b>
		<b>50(2) ± 10%</b>	<b>1.0</b>
		<b>500(20) ± 10%</b>	<b>10.0</b>
Rígido y Semirígido	IV	5(0.2) ± 25%	0.2
		50(2) ± 10%	1.5
		500(20) ± 10%	15.0
	V	1(0.05) ± 25%	0.1
No Rígidos	V	10(0.5) ± 25%	1.0
		100(2) ± 10%	10.0
	III	50(2) ± 10%	1.0
		500(20) ± 10%	10.0
	IV	<b>50(2) ± 10%</b>	<b>1.5</b>
		<b>500(20) ± 10%</b>	<b>15.0</b>

En cuanto a la norma ASTM D412, no establece una velocidad única para todos los casos, ya que esta puede variar según el tipo de elastómero, el grosor de la probeta, la temperatura y el objetivo del ensayo. No obstante, existen rangos de velocidades típicas que se utilizan comúnmente. Para el ensayo de tensión, la velocidad estándar de separación entre mordazas es de  $500 \pm 50 \text{ mm/min}$ , aunque esta puede ajustarse en función de las necesidades específicas del ensayo y las propiedades del material.

- Determinación de la velocidad para el ensayo de flexión.

La norma ASTM D790 determina un cálculo para la velocidad del ensayo, la norma propone que se debe determinar el movimiento de la cruceta y configurar la máquina para que la velocidad del movimiento de la cruceta sea determinada por la siguiente ecuación.

$$R = \frac{ZL^2}{6d}$$

*Ecuación 8*

En donde:

$R$ : Velocidad de movimiento de la cruceta, (mm/min)

$L$ : Tramo de soporte, (mm).

$d$ : Profundidad de la viga, (mm).

$Z$ : Velocidad de deformación de la fibra exterior, por normativa  $Z$  será igual a 0.01, (mm/mm/min)

Por consiguiente, de acuerdo con la normativa ASTM D790, la velocidad de ensayo estará determinada por los parámetros previamente mencionados, siendo los más relevantes el tramo de soportes ( $L$ ) y la profundidad de la viga ( $d$ ). En este contexto, los valores se obtienen conforme a lo establecido en la norma, donde el valor  $L$  es 16 veces la profundidad de la probeta. Por tanto, *Ecuación 8* puede ser reformulada de la siguiente manera.

$$R = \frac{Z(16d)^2}{6d}$$

Al sustituir los valores de las dimensiones de la probeta mostrados en la *Figura 3-18*. Dimensiones de una probeta tipo I según la norma ASTM D790. Fuente: Elaboración propia., el valor de la velocidad, es el siguiente.

$$R = \frac{(0.01) \times (16 \times 3.2)^2}{6 \times 3.2} = 1.365 \text{ mm/min}$$

Por lo tanto, se determina que la máquina de ensayo para poder realizar se debe programar a una velocidad de  $(1.365 \pm 10\%)$  mm/min.

### 3.1.2.3 Requisitos de instalación.

La decisión de utilizar una máquina universal de ensayos de tipo electromecánica se fundamenta en la baja capacidad requerida para las pruebas, lo que la convierte en una opción eficiente y rentable. Este tipo de máquina ofrece una versatilidad adecuada para realizar una amplia gama de pruebas de materiales sin comprometer la calidad de los resultados. Además, al requerir únicamente un suministro eléctrico estándar de 110/220 V a 60 Hz, su instalación y operación son más simples y no demandan infraestructura especializada. Esto facilita su implementación en entornos diversos, como laboratorios académicos o instituciones de investigación, sin incurrir en costos adicionales de adaptación o mantenimiento.

- Suministro eléctrico.

La máquina universal de ensayos debe estar preparada para conectarse a la red eléctrica institucional, por lo que debe ser compatible con una tensión de 110 V y/o 220 V  $\pm 10\%$ , monofásica trifilar, a una frecuencia de 60 Hz. Esta adecuación es fundamental para garantizar un suministro eléctrico estable y seguro durante las pruebas de materiales.

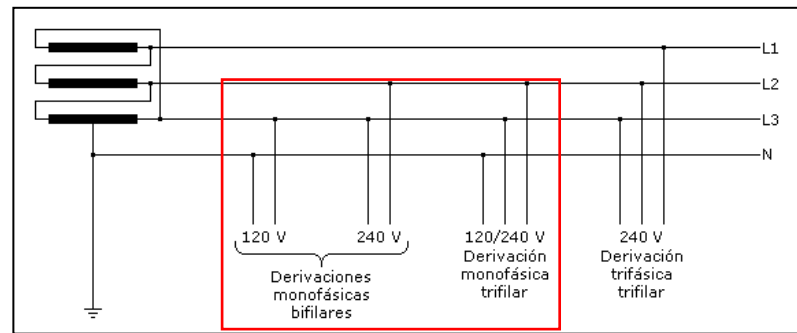


Figura 3-19. Posibles derivaciones en una red trifásica a 120 / 240 V.  
Fuente: <https://www.todoexpertos.com/preguntas/5wtslb5irs3ivx9j/ques-trifasica-bifasica-y-monofasica-caracteristicas-ejemplos>

#### 3.1.2.4 Requisitos de los servicios brindados.

La selección de un proveedor para una máquina universal de ensayos de materiales no solo implica la adquisición del equipo en sí, sino también la consideración de los servicios que ofrece. En este contexto, es fundamental evaluar los servicios que brinda el proveedor para garantizar un soporte integral y continuo durante toda la vida útil del equipo. Los aspectos a evaluar se presentan en la *Figura 3-20* y son detallados posteriormente.

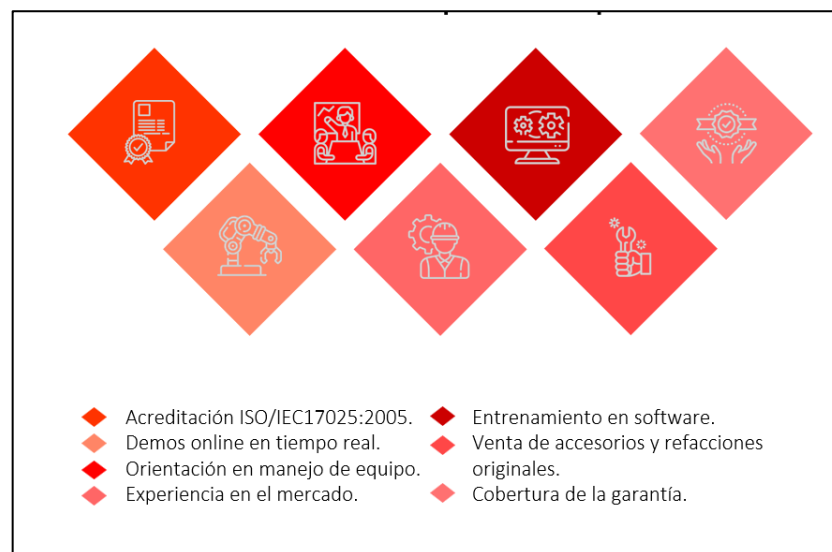


Figura 3-20. Servicios brindados por el proveedor al laboratorio de ensayos de materiales de MA. Fuente: Elaboración propia.

- Acreditación ISO/IEC17025:2005.

Garantizar que el proveedor cumple con los estándares internacionales de competencia técnica y operativa para realizar ensayos y calibraciones, asegurando la calidad y la confiabilidad de los resultados.

- Demos online en tiempo real.

Ofrecer demostraciones en línea en tiempo real para mostrar el funcionamiento y características del equipo, permitiendo una evaluación práctica antes de la adquisición.

- Orientación en manejo de equipo.

Ofrecer programas de orientación de parte del proveedor a los usuarios sobre el manejo adecuado y seguro del equipo, garantizando su correcta operación y prolongando su vida útil.

- Experiencia en el mercado.

Contar con experiencia en el mercado y personal con conocimiento en la operación, mantenimiento y reparación de equipos de ensayo de materiales, asegurando un soporte técnico especializado.

- Entrenamiento en software.

Proporcionar el servicio post venta en el uso del software asociado al equipo, permitiendo a los usuarios una mejor experiencia de uso y aprovechar las capacidades del equipo.

- Venta de accesorios y refacciones originales.

Disponer de accesorios y refacciones originales para garantizando la compatibilidad y prolongando la vida útil del equipo.

- Cobertura de la garantía.

Brindar garantía para el equipo y sus componentes, ofreciendo protección contra posibles defectos de fabricación o problemas de rendimiento durante un mínimo de 1 año.

### 3.2 Toma de decisión.

Para que un modelo de UTM sea viable para el laboratorio, es imprescindible que cumpla con los requisitos previamente expuestos, tanto en términos normativos como técnicos y de instalación. Esto garantiza que el equipo se ajuste adecuadamente a las regulaciones establecidas y que pueda realizar pruebas de manera precisa y confiable. Es necesario evaluar el mercado con una perspectiva completa y comparativa, para ello se selecciona un equipo representativo de siete posibles proveedores. Enfrentando cada uno de ellos ante los requisitos previamente expuestos. Al examinar un equipo representativo de cada proveedor, es posible analizar sus características, capacidades y prestaciones de manera exhaustiva.

#### 3.2.1 Evaluación de requisitos.

La *Tabla 5. Análisis comparativo de las características normativas, técnicas y de suministro de diferentes proveedores de UTM en el mercado internacional.* Fuente: Elaboración propia. permite un análisis de las características de los equipos propuestos, facilitando la evaluación de los requisitos y permitiendo tomar decisiones de manera objetiva. Al tener acceso a información sobre cada equipo, es posible identificar sus puntos fuertes y débiles en función de las necesidades específicas del laboratorio.

Para seleccionar el proveedor más conveniente para la propuesta, se toma en cuenta además del cumplimiento de todos los requisitos, aspectos como el acceso a la información mediante manual de usuario y de software, disponibilidad del personal con experiencia para instalar el equipo y brindar capacitaciones de uso, logística de envío, disponibilidad de repuestos y la respuesta rápida de parte del proveedor de la mano con una buena atención al cliente.

Tabla 5. Análisis comparativo de las características normativas, técnicas y de suministro de diferentes proveedores de UTM en el mercado internacional. Fuente: Elaboración propia.

Marca	Zwick/Roell	Instron	Liangong	Cheng Yu	Chatillon	United Test	HST	
Línea	zwickLine	serie 3400	serie CMT	serie WDDBW	serie LD	serie WDW	serie WDW	
Modelo	Z5.0 TS / 059006	34TM-5-SA	CMT-5L	WDW-5D	LD-5	WDW-5Y	WDW-5E	
Requisitos	Cumple: ✓, No hay información: X, No cumple: ✗, No se encontró información: ---							
Requisitos normativos de ensayo de tensión.								
1	La máquina debe tener un miembro fijo que soporte una mordaza.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	
2	El miembro móvil debe tener capacidad de movimiento y portar la segunda mordaza.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	
3	Las mordazas pueden ser fijas (tracción de acción de cuña) o auto alienables (acción de cuña hidráulica).	Mordazas en cuña, capacidad de carga de 5 kN, Código: 320456	Tracción de acción de cuña, capacidad de carga de 5 kN, Código: 2716-010	Tracción de acción de cuña, capacidad de carga 5 kN.	Tracción de acción de cuña, capacidad de carga de 5 kN	Tracción de acción de cuña, capacidad de carga 5 kN, Model: TG15	Tracción de acción de cuña, capacidad de carga 5 kN, Model: HSTL	
4	Deben sujetar el espécimen de manera eficiente, con patrón o dentado con separación de 2.4 mm y una profundidad de 1.6 mm.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	
5	Debe prevenir y corregir el deslizamiento relativo de las mordazas.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	
6	Debe tener un mecanismo de accionamiento para imponer una velocidad uniforme y controlada al miembro móvil respecto al fijo.	---	✗ (Cero o Carga Constante) ±0,2 % de la velocidad establecida.	✓ Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±0,5% del valor indicado.	✓ Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±0,5% del valor indicado	✓ Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±0,1% del valor indicado	✓ Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±0,5% del valor indicado	
7	Debe tener un mecanismo indicacor de carga capaz de mostrar la tensión total aplicada al espécimen con precisión del ±1% o superior.	---	✗ ±1,0% de lectura hasta 1/500 de capacidad de la celda de carga.	✓ ±1,0% de lectura hasta ±1/300000 de capacidad de la celda de carga.	✓ Cuando el valor establecido es inferior al 10% FS, dentro de ±1% del valor establecido	✓ ± 0,5% de la lectura hasta 1/100 de capacidad de la celda de carga	✓ ± 0,5% de la lectura hasta 1/500000FS de capacidad de la celda de carga	
8	Miembro fijo, móvil y mecanismo de transmisión no deben deformarse más del 1%.	---	✗	✓ Cumple	✓ Cumple	✓ Cumple	✓ Cumple	
9	Debe tener un mecanismo indicador de extensión capaz de mostrar el cambio en la separación de las mordazas con precisión del ±10%.	16.8 nm	✓ 19.7 nm	✓ 25.0 nm	✓ Resolución de desplazamiento: 0,001 mm; Rango de medición de la deformación: 0,2~100% FS	✓ 0.35 nm	✓ 1.0 µm	✓ 0.04 µm
10	El mecanismo de medición de extensión debe tener un error de lectura máximo de 0.0002 mm/mm. Para mediciones de baja extensión el error permisible es del ±1%. Para mediciones de alta extensión el error permisible es del ±10%.	---	✗	✗	✓ dentro de ±0,5% del valor indicado	✓ Error relativo de indicación de deformación: dentro de ±0,50%	✗	✓ Error relativo de indicación de deformación: dentro de ≤±0,50%

Marca	Zwick/Roell	Instron	Liangong	Cheng Yu	Chatillon	United Test	HST								
Línea	zwickLine	serie 3400	serie CMT	serie WDDBW	serie LD	serie WDW	serie WDW								
Modelo	Z5.0 TS / 059006	34TM-5-SA	CMT-5L	WDW-5D	LD-5	WDW-5Y	WDW-5E								
Requisitos	Cumple: ✓, No hay información: X, No cumple: ✗, No se encontró información: ---														
Requisitos normativos de ensayo de flexión.															
11	Debe tener un mecanismo indicador de carga capaz de mostrar la carga total aplicada al espécimen con precisión del ±1% o superior.	---	✗	±1,0% de lectura hasta 1/500 de capacidad de la celda de carga. ✓	±1,0% de lectura hasta ±1/300000 de capacidad de la celda de carga. ✓	✓	Cumple	✓	Cuando el valor establecido es inferior al 10% FS, dentro de ±1% del valor establecido. ✓	±0,5% de la lectura hasta 1/100 de capacidad de la celda de carga. ✓	✓	Cumple	✓	±1,0% de lectura hasta 1/500000 FS de capacidad de la celda de carga. ✓	±0,5% de la lectura hasta 1/500000FS de capacidad de la celda de carga. ✓
12	La máquina debe estar debidamente calibrada y tener tasa de movimiento constante.	---	✗	(Cero o Carga Constante) ±0,2 % de la velocidad establecida. ✓	Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±0,5% del valor indicado. ✓	✓	Cumple	✓	Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±0,5% del valor indicado. ✓	Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±0,1% del valor indicado. ✓	✓	Cumple	✓	Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±1%(0.001~10mm/min) , ±0.5%(10~500mm/min) del valor indicado. ✓	Rango de control de desplazamiento constante dentro de ±0,5% del valor indicado. ✓
13	Debe estar equipada con un sistema para medir la deflexión del espécimen durante el ensayo.	---	✗	Cumple ✓	Cumple ✓	✓	Cumple	✓	Cumple ✓	Cumple ✓	✓	Cumple	✓	Cumple ✓	Cumple ✓
14	La máquina debe tener la rigidez tal que soporte la deformación elástica total del sistema y no debe exceder el ±1%.	Cumple	✓	Cumple ✓	Cumple ✓	✓	Cumple	✓	Cumple ✓	Cumple ✓	✓	Cumple	✓	Cumple ✓	Cumple ✓
15	El mecanismo de indicación de carga debe ser esencialmente libre de retardo inercial a la velocidad de avance del cabezal de ensayo.	Cumple	✓	Cumple ✓	Cumple ✓	✓	Cumple	✓	Cumple ✓	Cumple ✓	✓	Cumple	✓	Cumple ✓	Cumple ✓
16	La máquina debe tener nariz y soportes con superficies cilíndricas de un radio predeterminado de 5.0 ± 0.1 mm (0.197 ± 0.004 in.).	---	✗	Cumple, Código del flexometro: 2810-400 ✓	Accesorio de flexión de tres puntos (identador y soportes) ✓	✓	Cumple	✓	Accesorio de flexión de tres puntos (identador y soportes) ✓	Accesorio de flexión de tres puntos (identador y soportes), Modelo de soportes: 01/1388, Modelo de identador: 01/4126. ✓	✓	Cumple	✓	Accesorio de flexión de tres puntos (identador y soportes) ✓	Accesorio de flexión de tres puntos (identador y soportes), Modelo: WA504A ✓
Requisitos técnicos para la maquinaria de ensayos.															
17	La máquina de ensayo de tensión debe tener una capacidad de carga mínima de 3.536 kN.	Cumple, Carga max: 5 kN ✓	✓	Cumple, Carga max: 5 kN ✓	✓	Cumple, Carga max: 5 kN ✓	✓	Cumple, Carga max: 5 kN ✓	✓	Cumple, Carga max: 5 kN ✓	✓	Cumple, Carga max: 5 kN ✓	✓	Cumple, Carga max: 5 kN ✓	✓
18	La máquina de ensayo de flexión debe tener una capacidad de carga mínima de 0.186 kN.	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓
19	La máquina de ensayo de tensión debe tener un rango de deformación mínimo de 227.48 mm.	Cumple, Long max: 1289 mm ✓	✓	Cumple, Long max: 1242 mm ✓	✓	Cumple, Long max: 970 mm ✓	✓	Cumple, Long max: 1250 mm ✓	✓	Cumple, Long max: 1070 mm ✓	✓	Cumple, Long max: 1050 mm ✓	✓	Cumple, Long max: 1100 mm ✓	✓
20	La máquina de ensayo de flexión debe tener un rango de deformación por deflexión mínimo de 6.83 mm.	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓	Cumple ✓	✓

Marca	Zwick/Roell	Instron	Liangong	Cheng Yu	Chatillon	United Test	HST	
Línea	zwickLine	serie 3400	serie CMT	serie WDDBW	serie LD	serie WDW	serie WDW	
Modelo	Z5.0 TS / 059006	34TM-5-SA	CMT-5L	WDW-5D	LD-5	WDW-5Y	WDW-5E	
Requisitos	Cumple: ✓, No hay información: ✗, No cumple: ✗, No se encontró información: ---							
<b>Requisitos técnicos para la maquinaria de ensayos.</b>								
21	La máquina de ensayo debe tener un espacio horizontal para ensayos como mínimo de 200 mm.	Cumple, Ancho: 408 mm ✓	Cumple, Ancho: 420 mm ✓	Cumple, Ancho: 330 mm ✓	Cumple, Ancho: 400 mm ✓	Cumple, Ancho: 452 mm ✓	Cumple, Ancho: 375 mm ✓	Cumple, Ancho: 450 mm ✓
22	La máquina de ensayo de tensión debe tener un control en la velocidad de 5 ±25%, 50 ±10%, 500 ±10%. mm/min segun la norma ASTM D680.	Vel. Min. 0.0005 mm/min, Vel. Max. 600 mm/min ✓	Vel. Min. 0.05 mm/min, Vel. Max. 1016 mm/min ✓	Vel. Min. 0.001 mm/min, Vel. Max. 500 mm/min ✗	Rango de medición de la velocidad del haz: 0,05~1000 mm/min ✓	Vel. Min. 0.0001 mm/min, Vel. Max. 1270 mm/min ✓	Vel. Min. 0.001 mm/min, Vel. Max. 500 mm/min ✗	Vel. Min. 0.001 mm/min, Vel. Max. 1000 mm/min ✓
23	La máquina de ensayo de flexión debe tener una velocidad de 1.37 ±10% mm/min.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓
<b>Requisitos de instalación.</b>								
24	La máquina de ensayo debe tener un suministro eléctrico de 110/220 V CA monofásica trifilar.	Coneccion monofasico 110...240 V ±10% ✓	Coneccion monofasico 110,220,240 V ✓	Coneccion monofasico 220 V ✓	Coneccion monofasico 220 V ✓	Coneccion monofasico 103.5-126.5 V ✓	Coneccion monofasico 110/220 V ✓	Coneccion monofasico AC220V±10% ✓
25	La máquina de ensayo debe tener una conexión a una frecuencia de 60 Hz.	50/60 Hz ✓	43 a 60 Hz ✓	50/60 Hz ✓	50/60 Hz ✓	60 Hz ✓	50/60 Hz ✓	50/60 Hz ✓
<b>Requisitos de logística</b>								
26	El proveedor debe contar con los estándares internacionales de competencia técnica y operativa. ISO/IEC 17023:2005.	Cumple ✓	Cumple ✓	No cumple ✗	No cumple ✗	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓
27	El proveedor debe ofrecer demostraciones en línea en tiempo real.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓
28	El proveedor debe ofrecer programas de orientación para usuarios sobre el manejo adecuado y seguro del equipo.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓
29	El proveedor debe contar con personal con experiencia en la operación, mantenimiento y reparación de equipos de ensayo.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	No cumple ✗	Los especialistas incluso realizan actualizaciones y charlas via teams. Cumple ✓	No cumple ✗	Cumple ✓
30	El proveedor debe ofrecer seguimiento post venta en el uso del software asociado al equipo.	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	---	Cumple ✓

Marca	Zwick/Roell	Instron	Liangong	Cheng Yu	Chatillon	United Test	HST				
Línea	zwickLine	serie 3400	serie CMT	serie WDDBW	serie LD	serie WDW	serie WDW				
Modelo	Z5.0 TS / 059006	34TM-5-SA	CMT-5L	WDW-5D	LD-5	WDW-SY	WDW-5E				
Requisitos	Cumple: ✓, No hay información: X, No cumple: ✗, No se encontró información: ---										
Requisitos de logística											
31	El proveedor debe ofrecer disponibilidad en accesorios y refacciones originales.	Se fabrican por pedidos. ✓	---	✗	Cumple ✓	Disponibilidad total ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	Disponibilidad total ✓	
32	El proveedor debe brindar garantía del equipo de un tiempo mínimo de 1 año.	Garantía de un año y un mtto. gratis. ✓	Garantía de un año. ✓	Garantía de un año. ✓	Garantía de un año y mtto. de por vida. ✓	La garantía se cancela al instalar piezas de otra marca en el equipo. Cumple ✓	Garantía de un año. ✓	Garantía de un año. ✓	Garantía de un año. ✓		
33	El proveedor debe ofrecer un servicio de envío o proporcionarlo a través de un tercero.	Envío marítimo al puerto de Acajutla por contenedores. ✓	---	✗	Envío marítimo al puerto de Acajutla, por contenedores LCL. ✓	Envío marítimo al puerto de Acajutla. ✓	---	✗	---	✗	Envío marítimo al puerto de Acajutla. ✓
34	El proveedor debe brindar una atención al cliente personalizada, rápida y eficiente.	No cumple ✗	No cumple ✗	Cumple ✓	Cumple ✓	Cumple ✓	No cumple ✗	No cumple ✗	No cumple ✗	Cumple ✓	
Toma de decisión											
35	Estado de la máquina representativa de los proveedores propuestos.										

### 3.2.2 Selección del equipo técnico.

Después del análisis y evaluación de los proveedores, así como de sus modelos de máquinas de ensayo de materiales, según los requisitos normativos, técnicos, de instalación y logísticos, se determina que el equipo seleccionado es el modelo *WDW-5E*, serie *WDW*, del proveedor *HST*. Este modelo no solo cumple satisfactoriamente con todos los requisitos mínimos establecidos, sino que también destaca por sus características técnicas superiores en comparación con otros modelos evaluados.

- Modelo *WDW-5E*

Esta máquina adopta una estructura de doble espacio: el espacio superior se utiliza para pruebas de tensión y el espacio inferior se utiliza para pruebas de compresión y flexión. La velocidad de movimiento del haz es de ajuste continuo. El sistema de accionamiento consta de un motor reductor de servocontrol, una correa síncrona de arco y un husillo de bolas, lo que permite un movimiento constante, alta eficiencia de trabajo, bajo nivel de ruido y sin contaminación. Los componentes del modelo se presentan en la *Figura 3-21*.

- Sistema de control y medición eléctrica.

- Con función de protección contra sobrecarga, sobre corriente, sobre voltaje, límite de desplazamiento, parada de emergencia, etc.
- El controlador puede controlar más sensores de carga, alta integración, estable y confiable, fácil de ajustar.
- Cuando finaliza la prueba, se detiene automáticamente.
- Sistema de control con amplificador programable, conversión A/D, E/S digitales, conteo y ocurrencia de pulsos (PWM), y otras funciones integradas en uno.
- Ajuste mecánico de cero, medición automática de fuerza, ajuste de cero, calibración y almacenamiento, circuito de control altamente integrado.

- Software e Interfaz de software.

- Utilizando la plataforma de operación Windows, el software adopta un diseño modular, con operación sencilla y funciones potentes.
- El panel de control ha definido todos los parámetros de control, el método de procesamiento de datos y el contenido y formato del informe, diferentes pruebas pueden configurarse según el panel de control.
- Con interfaz de internet, puede transmitir, guardar e imprimir datos. Puede conectarse a la LAN interna de la empresa y a internet.
- El programa adopta una estructura de base de datos abierta, integrando los métodos de prueba GB, ISO, ASTM, JIN, DIN y puede personalizarse según los requisitos especiales.

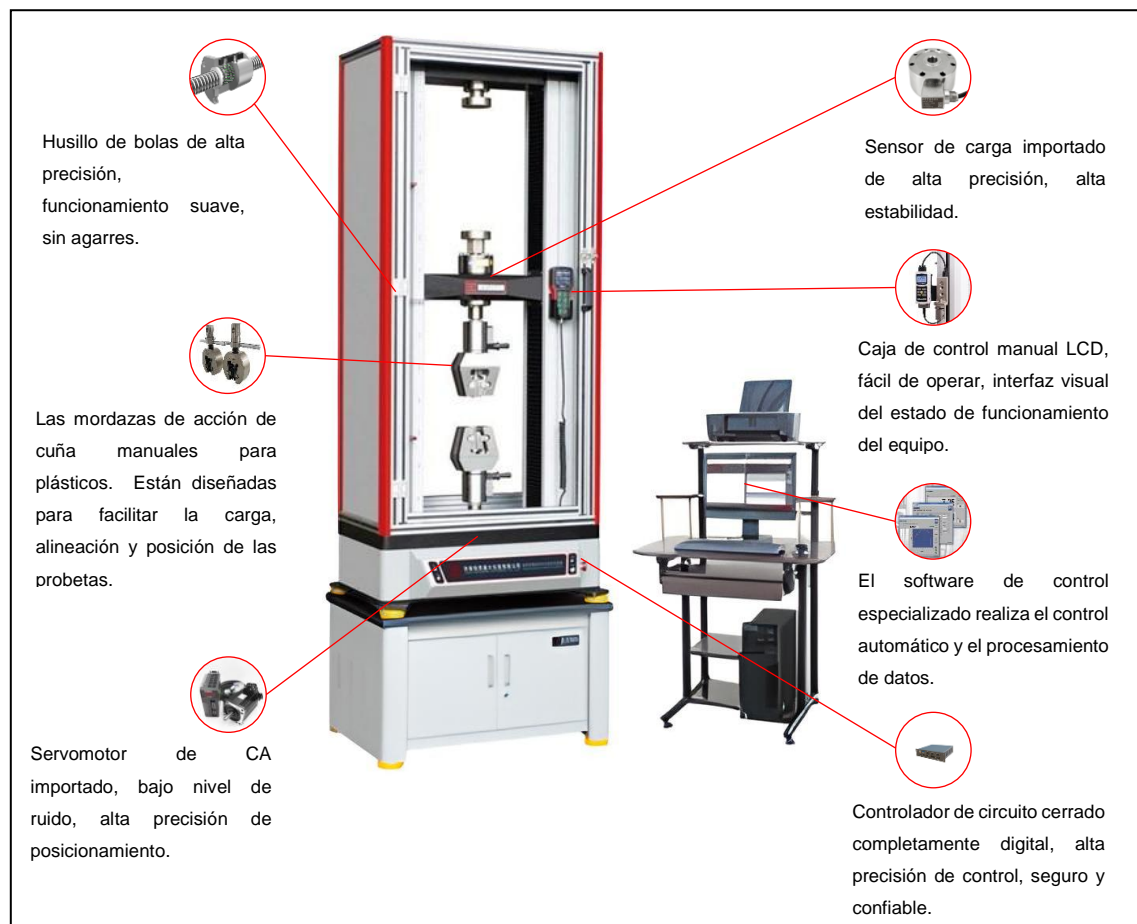


Figura 3-21. Máquina de prueba universal electrónica del control informático propuesta técnica. Equipo propuesto: modelo WDW-5E, HST. Fuente: Información obtenida de la Ficha Técnica proporcionada por HST (Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST)).

### 3.2.3 Ficha técnica de la UTM seleccionada.

La UTM seleccionada destaca por su excelencia y eficacia, prueba de ello su acreditación ISO/IEC 17025:2005. La UTM está equipada con tecnología avanzada, garantiza precisión, confiabilidad y versatilidad en sus pruebas mecánicas. En la *Tabla 6* se presenta su ficha técnica donde se detalla sus características y capacidades para una alta fiabilidad en las pruebas.









*Tabla 6. Ficha técnica de la UTM de HST modelo WDW - 5E. Fuente: Información obtenida de la Ficha Técnica proporcionada por HST (Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST)).*



















Modelo	HST WDW-5E
Capacidad de Carga	5 kN
Estándar de calibración	Clase 0.5 de acuerdo a la ISO 7500-1 satisface ASTM E-4
Prueba de presión de carga	±0.5%
Rango de carga de prueba	0.4% » 100% FS
Resolución de carga	1/500000 FS
Rango de medición de deformación	0.2% » 100% FS
Precisión de deformación	£±0.5%
Resolución de deformación	1/500000 A maxima deformación
Modo de control de prueba	Tres controles de circuito cerrado: tensión, deformación y desplazamiento
Precisión de desplazamiento	Dentro ±0.5% del valor
Resolución de desplazamiento	0.04 µm
Parámetros de control	
Rango de control de fuerza constante	0.001%»5% FS/s
Precisión de control de fuerza constante	cuando la tasa es <0.05% FS/s, dentro del ±2% del valor establecido; cuando la tasa es ≥0.05% dentro del ±0.5% del valor establecido
Rango de control de deformación constante	0.005»5% FS/s
Precisión de control de deformación constante	cuando la tasa es <0.05% FS/s, dentro del ±2% del valor establecido; cuando la tasa es ≥0.05% dentro del ±0.5% del valor establecido
Rango de velocidad de la cruceta	0.001 » 1000 mm/min
Precisión de la velocidad de la cruceta	Dentro ±0.5% del valor
Parámetros de computadora central	
Espacio de prueba (recorrido de la cruceta)	1100 mm
Espacio maximo de prueba a la tensión	770 mm
Ancho de prueba	450 mm
Dimesiones generales	850´550´1824 mm
Peso	aprox. 420 Kg
Fuente de alimentación	220 V 1Ph 50/60 Hz










### 3.2.4 Presupuesto.

Una vez seleccionado el equipo especializado para ensayos, se inicia el proceso de determinar los costos de implementación mediante la interacción con proveedores nacionales e internacionales. Este proceso implica un contacto directo y negociaciones personalizadas para obtener cotizaciones detalladas. La atención se centra en encontrar la combinación adecuada de calidad, precio y servicio que satisfaga las necesidades del proyecto. Esta fase es crucial para asegurar una implementación eficiente y exitosa del equipo, maximizando el valor por inversión y garantizando la disponibilidad oportuna de los recursos necesarios. En la *Tabla 7. Presupuesto de equipo técnico, instrumentos e insumos primarios y logística de adquisición de los mismos, del Laboratorio de ensayo de materiales*. Fuente: Información obtenida de la Cotización proporcionada por HST. se muestra a detalle el presupuesto correspondiente al equipo técnico, los instrumentos requeridos y los insumos necesarios. Esta tabla proporciona una visión clara y organizada de los costos asociados con la adquisición y uso de los recursos técnicos esenciales.

*Tabla 7. Presupuesto de equipo técnico, instrumentos e insumos primarios y logística de adquisición de los mismos, del Laboratorio de ensayo de materiales. Fuente: Información obtenida de la Cotización proporcionada por HST (Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST), 2024).*

Presupuesto de equipo técnico, instrumentos e insumos.									
No.	Visual	Artículo	Modelo	Proveedor	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Descuento	Precio unitario
1		Computadora SKN control electrónico pruebas universales máquina.	HST WDW-5E	HST	Carga máxima: 5kN, Clase 0,5, Taiwán DELTA AC servo motor; Velocidad: 0,001 - 1000 mm/min.	1.00	\$ 8,000.00	\$ -	\$ 8,000.00
2		Acción de cuña agarre extensible.	HSTL	HST	Utilizado para materiales metálicos y no metálicos; Adopta inclinado autoblocante y sujeción del mango giratorio, (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
3		Mandíbula redonda.	HSTJ-R	HST	Estándar: Ø4-9 mm; Opcional: Ø9-14mm, Ø14-20mm, (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
4		Mandíbula plana.	HSTJ-F	HST	Estándar: 0-7 mm; Opcional: 7-14mm, 14-20mm, (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
5		Test de compresión accesorio.	HSTY	HST	Dia. del plato Ø100mm, (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
6		Accesorio de flexión de 3 puntos no metálico.	WA504A	HST	Es adecuado para no metálicos. Test de doblado.	1.00	\$ 500.00	\$ 150.00	\$ 350.00
7		Extensómetro de deformación grande para UTM electronica.	WA504A	HST	Utilizado para medir el elongación de especímenes cuya deformación supera el 50%; Viajes: 800 mm; Distancia: 10 ~ 100 mm; Resolución: 0,1 mm; muestra rango de espesor: 2 ~ 10mm.	1.00	\$ 1,200.00	\$ 300.00	\$ 900.00
8		Célula de carga.	10 kN	HST	Clase 0,5, la precisión puede ser llevado ASTM E4, ISO7500-1, EN 10002-2, BS1610, estruendo 51221 estándares, (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -

Presupuesto de equipo tecnico, instrumentos e insumos.									
No.	Visual	Artículo	Modelo	Proveedor	Descripcion	Cantidad	Precio unitario	Descuento	Precio unitario
9		Servomotor de CA.	Taiwan DELTA	HST	Bajo nivel de ruido, alto precisión de posicionamiento, Opcional:Japón Panasonic. (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
10		Engranaje reductor.	Japan BEITTO	HST	Alta transmisión eficiencia, alta velocidad y ruido bajo, (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
11		Controlador completo de bucle cerrado.	EDCH 550	HST	Controlador de bucle cerrado de fuerza, desplazamiento y deformacion por contacto USB, (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
12		Software y Disco U de copia de seguridad.	Hktest	HST	Inglés; Opcional: Rusia, Turco, español, etc., (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
13		Pantalla de control manual.	HR5	HST	Pantalla LCD de 320 x 240 mostrar fuerza de prueba, desplazamiento, velocidad. (Incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
14		Computadora.	HP	HST	Sistema en Ingles. (Equipo incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
15		Impresora.	HP	HST	HP A4. (Equipo incluido).	1.00	\$ -	\$ -	\$ -
16		Impresora 3D	900-0001A	Oncor	Plataforma de impresion 3D Method del fabricante Makerbot. Imprime gama de materiales polimericos como: PLA, PETG, PA, PVA, materiales reforzados con CF y materiales dificiles de imprimir.	1.00	\$ 4,380.53	\$ -	\$ 4,380.53
17		Impresora 3D	S9 Plus	Oncor	Plataforma de impresion 3D S9 Plus del fabricante Sunlu. Imprime gama de materiales polimericos como: PLA, TPU, Silka, materiales reforzados con CF.	2.00	\$ 663.72	\$ -	\$ 1,327.44
18		Extrusor abierto	900-0054B	Oncor	Este extrusor experimental permite usar materiales de terceros con las impresoras 3D Makerbot Method.	1.00	\$ 276.73	\$ -	\$ 276.73
19		Bobina de Nylon	PG05001	Oncor	Filamento de nylon copa negro 1.75 mm. 750 g. Polymaker.	1.00	\$ 67.56	\$ -	\$ 67.56
20		Bobina de TPU	B0C3TNZHJK	Oncor	Filamento de 1.75 mm. 2.2 Lbs. TPU 95A color transparente Giantarm.	1.00	\$ 41.91	\$ -	\$ 41.91
21		Bobina de PLA	PA02019	Oncor	Filamento de 2.85 mm. 1 kg. PLA color rojo #DE4343 Polymaker.	1.00	\$ 20.19	\$ -	\$ 20.19
22		Bobina de ABS	MP01970	Oncor	Filamento ABS de 1.75 mm. color blanco Makerbot.	1.00	\$ 88.50	\$ -	\$ 88.50
23		Bobina de PLA CF	11101A	Oncor	Filamento reforzado con fibra de carbono 1.75 mm. 1 kg. Sunlu.	1.00	\$ 38.51	\$ -	\$ 38.51
24		Bobina de ASA	PF01002	Oncor	Filamento de 1.75 mm. color blanco, carrete de 2.2 Lbs. Polymaker.	1.00	\$ 42.78	\$ -	\$ 42.78
25		Set de medicion digital	5022	Oncor	0 - 150.00 mm (Vernier) / 0 - 25.00 mm (Micrometro)	2.00	\$ 122.75	\$ -	\$ 245.50
26		Vernier digital	1136-301	Oncor	12"/300.00 mm en 0.0005"/0.01 mm	1.00	\$ 460.05	\$ -	\$ 460.05

Presupuesto de equipo técnico, instrumentos e insumos.									
No.	Visual	Artículo	Modelo	Proveedor	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Descuento	Precio unitario
27		Calibración de la célula de carga de 5 kN	--	Atrya Lab	Calibración de célula de carga de 5 kN, por el laboratorio Atrya Lab. S.A. de C.V.	1.00	\$ 395.00	\$ -	\$ 395.00
28		Viáticos	---	Atrya Lab	Servicio de viáticos para el técnico certificado que realiza la calibración in situ.	1.00	\$ 1,350.00	\$ -	\$ 1,350.00
29		Envío	--	Standard Export Package.	Costo de envío de HST al puerto de Acajutla (incluido el costo de envío al puerto de Qingdao, China).	1.00	\$ 500.00	\$ -	\$ 500.00
30		Envío	--	C807 Express	Costo de envío desde el despacho aduanero en el puerto de Acajutla hasta las instalaciones de la Universidad de El Salvador. Camion de 1.5 ton.	1.00	\$ 135.60	\$ -	\$ 135.60
31		Impuesto	--	Aduana de E.S.	Pago de Aforo por productos industriales (5% a 15%).	1.00	\$ 675.00	\$ -	\$ 675.00
32		Impuesto	--	Aduana de E.S.	Pago de impuesto al valor agregado 13%).	2.00	\$ 877.50	\$ -	\$ 1,755.00
33		Impuesto	--	Aduana de E.S.	Declaración de mercancía	1.00	\$ 60.00	\$ -	\$ 60.00
34		Impuesto	--	Aduana de E.S.	Cobro por retiro con cepa, quien emite los documentos para liberar el producto.	1.00	\$ 7.00	\$ -	\$ 7.00
35		<b>Total</b>							<b>\$ 21,117.30</b>

Los costos de adquisición del equipo técnico, los instrumentos y ciertos insumos esenciales para iniciar las operaciones del laboratorio ascienden a \$21,117.30. Esta estimación se enfoca exclusivamente en los aspectos técnicos de la puesta en marcha, excluyendo gastos asociados a obra civil, suministro de servicios básicos y elementos decorativos o accesorios no esenciales.

Dado que la investigación presenta una propuesta inicial, se prioriza la inversión en recursos directamente vinculados a la funcionalidad y operatividad del laboratorio, dejando otros aspectos para fases posteriores del proyecto o para ajustes futuros según necesidades y disponibilidad de fondos.

#### **Capítulo 4. Propuesta de diseño y financiamiento del Laboratorio.**

La propuesta de diseño del laboratorio se centró en optimizar el uso del espacio disponible, priorizando la eficiencia y la adaptabilidad. Se buscó crear un entorno funcional que opere eficazmente con el mínimo espacio necesario, facilitando así su adaptación a diferentes instalaciones o la incorporación de nuevo equipamiento en el futuro. Este enfoque asegura no solo una operación fluida del laboratorio, sino también la capacidad de realizar mejoras y expansiones sin complicaciones. Por ello, se propone la ubicación de las instalaciones en la Escuela de Ingeniería Mecánica, aprovechando el espacio disponible en el taller para integrar de manera eficiente las actividades del laboratorio. Esta propuesta de diseño detalla la disposición del mobiliario en el área funcional, sugiriendo la ubicación estratégica de mesas de trabajo, estanterías para almacenamiento, armarios para equipos y suministros, así como escritorios de trabajo y un área de prototipado.

Además, se especifica la ubicación de puntos de conexión eléctrica, tomas de corriente, panel de distribución, y equipos de climatización. La propuesta también detalla las dimensiones del cielo falso y la disposición de las luminarias, con el objetivo de crear un ambiente fresco e iluminado para llevar a cabo los ensayos de materiales impresos en 3D con normalidad.

##### **4.1 Propuesta del área designada para planta.**

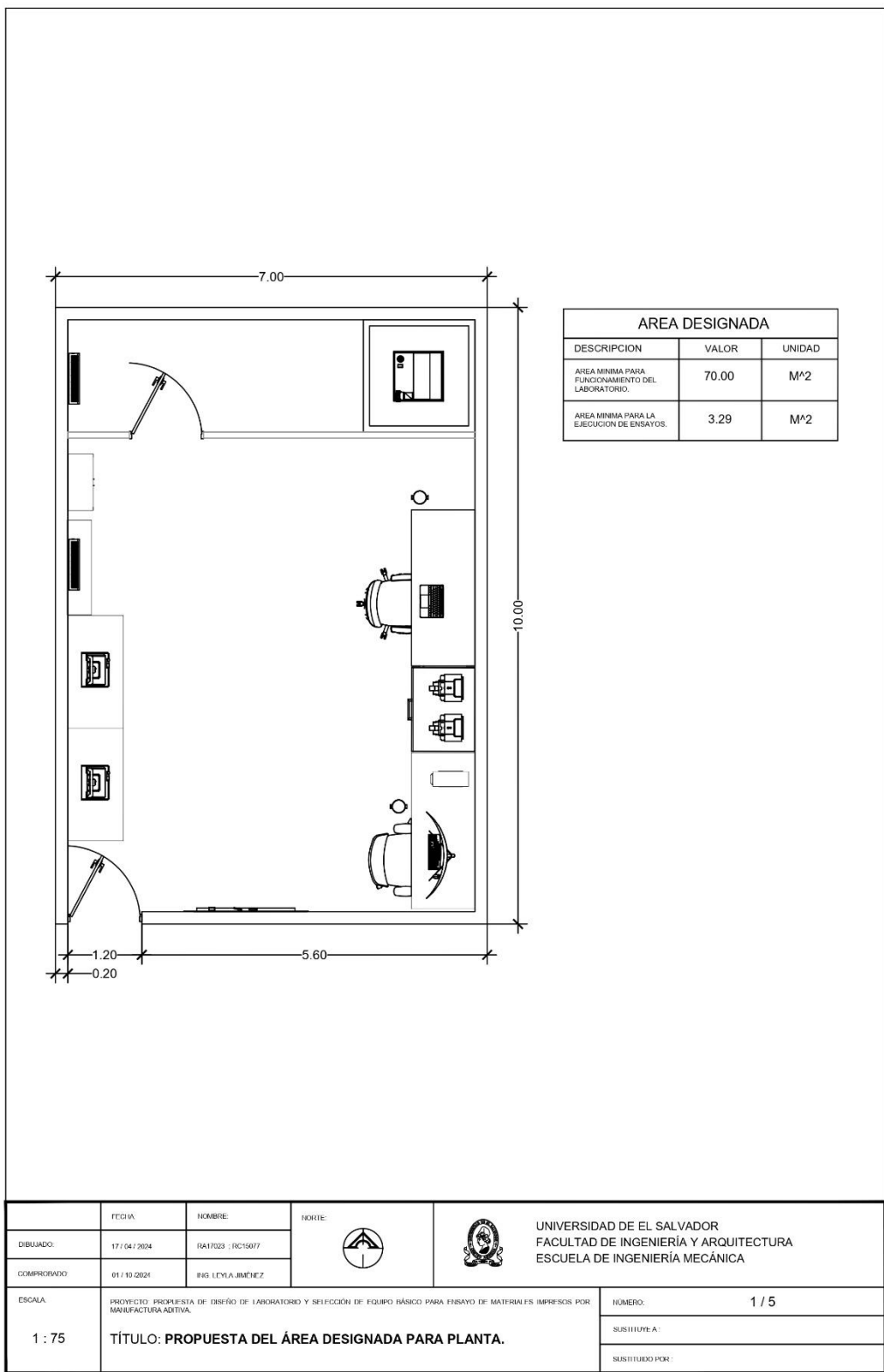
Se propone como espacio físico para la ubicación del Laboratorio, un local con espacio suficiente para emplazar el equipo mobiliario, espacio para la libre circulación del personal y espacio mínimo sugerido para realizar los ensayos de materiales. Los detalles se presentan en el *Plano 1*.

En la propuesta de diseño se enfrentó la limitación de que en El Salvador no existe una normativa específica para regular la planificación, diseño y construcción de este tipo de espacios técnicos. En consecuencia, fue necesario recurrir a un marco de referencia reconocido y aplicable a nivel internacional que garantizara la funcionalidad, seguridad y eficiencia del laboratorio.

Se seleccionó el Manual de Estándares de Espacios de Trabajo del Estado Nacional de la República de Argentina como guía principal por las siguientes razones:

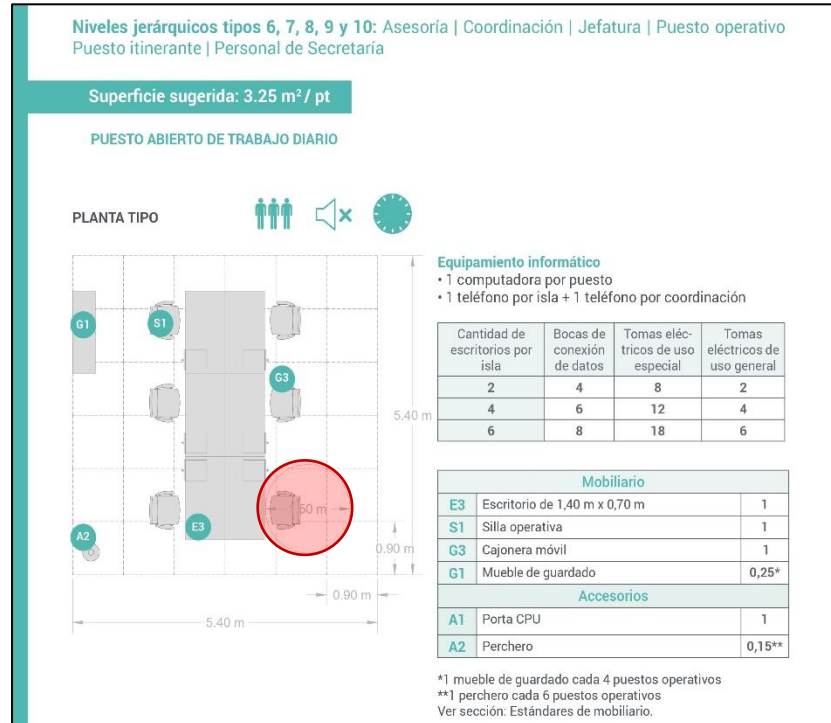
1. **Ausencia de normativas locales:** En El Salvador no se dispone de un documento oficial que regule el diseño de espacios especializados como laboratorios de manufactura aditiva. Esto justificó la necesidad de emplear un manual externo que ofreciera un enfoque integral y probado en la planificación de espacios técnicos.
2. **Reconocimiento internacional del manual:** Aunque es una normativa nacional argentina, el manual está alineado con estándares internacionales y prácticas de diseño que garantizan la calidad y funcionalidad de los espacios laborales en distintos contextos.
3. **Sustitución temporal de un vacío normativo:** Utilizar este manual permitió suplir la falta de una regulación específica en El Salvador, asegurando que el diseño del laboratorio no solo cumpliera con estándares mínimos, sino que también se inspirara en las mejores prácticas internacionales.

El Manual de Estándares de Espacios de Trabajo del Estado Nacional de la República de Argentina, en el apartado 3B y 3C se establece lo siguiente: *“Los espacios de trabajo pueden ser establecidos por niveles de jerarquía en una cadena de mando organizacional.”* (Agencia de Administración de Bienes del Estado Argentino (AABE), 2022).



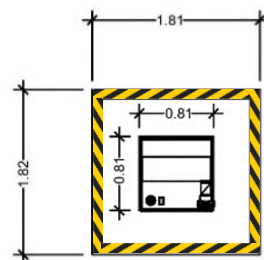
Plano 1. Propuesta del área designada para planta y área mínima para la ejecución de ensayos. Fuente: Elaboración propia.

Se ha considerado como parte del personal del laboratorio, un coordinador jefe, para el desarrollo de sus actividades se recomiendan dos espacios de trabajo de al menos  $3.25 \text{ m}^2$ , como se ilustra en la *Figura 4-1*.



*Figura 4-1. Espacio de trabajo para un nivel jerárquico de coordinador jefe. Fuente: Información obtenida del Manual de Estándares de Espacios de Trabajo del Estado Nacional de la República de Argentina (Agencia de Administración de Bienes del Estado Argentino (AABE), 2022).*

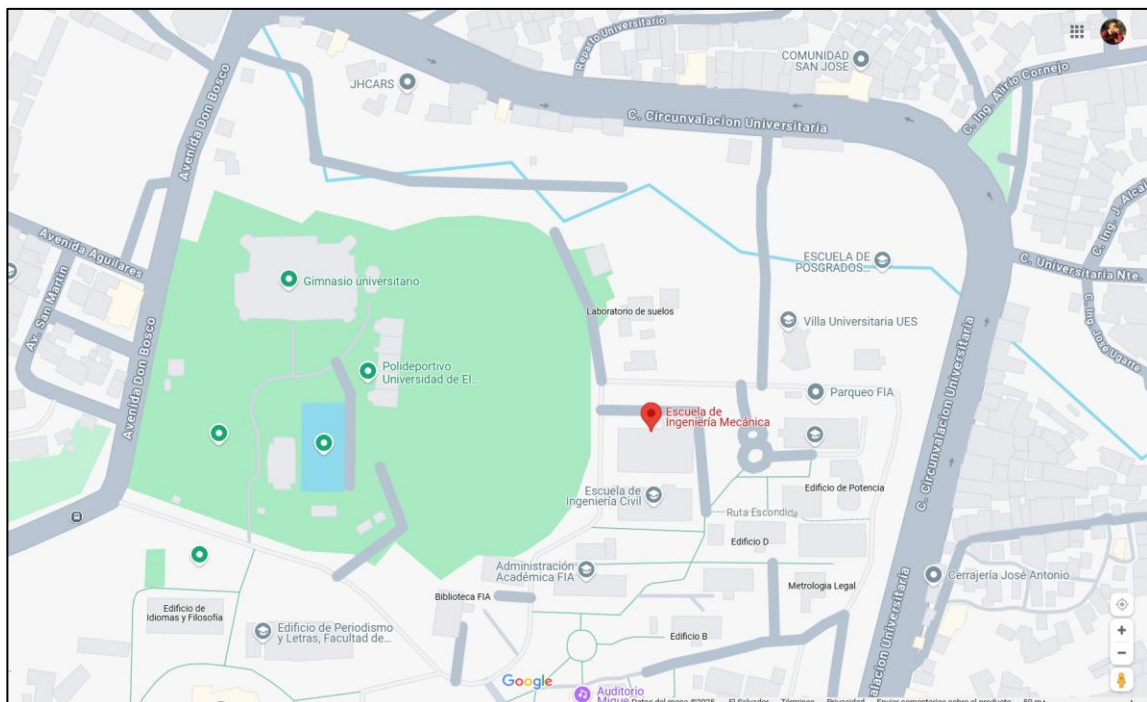
En el laboratorio, se ha establecido un área de seguridad de  $1.00 \text{ m}$  por encima de las dimensiones de la Máquina Universal de Ensayos (UTM), con el propósito de realizar ensayos de materiales en cumplimiento con los estándares de seguridad ocupacional. La delimitación de este espacio tiene como objetivo principal mantener el orden y la seguridad durante las operaciones del laboratorio. Una organización adecuada es crucial para garantizar la eficiencia en la ejecución de las actividades de investigación, destacando así la importancia de una distribución efectiva del laboratorio.



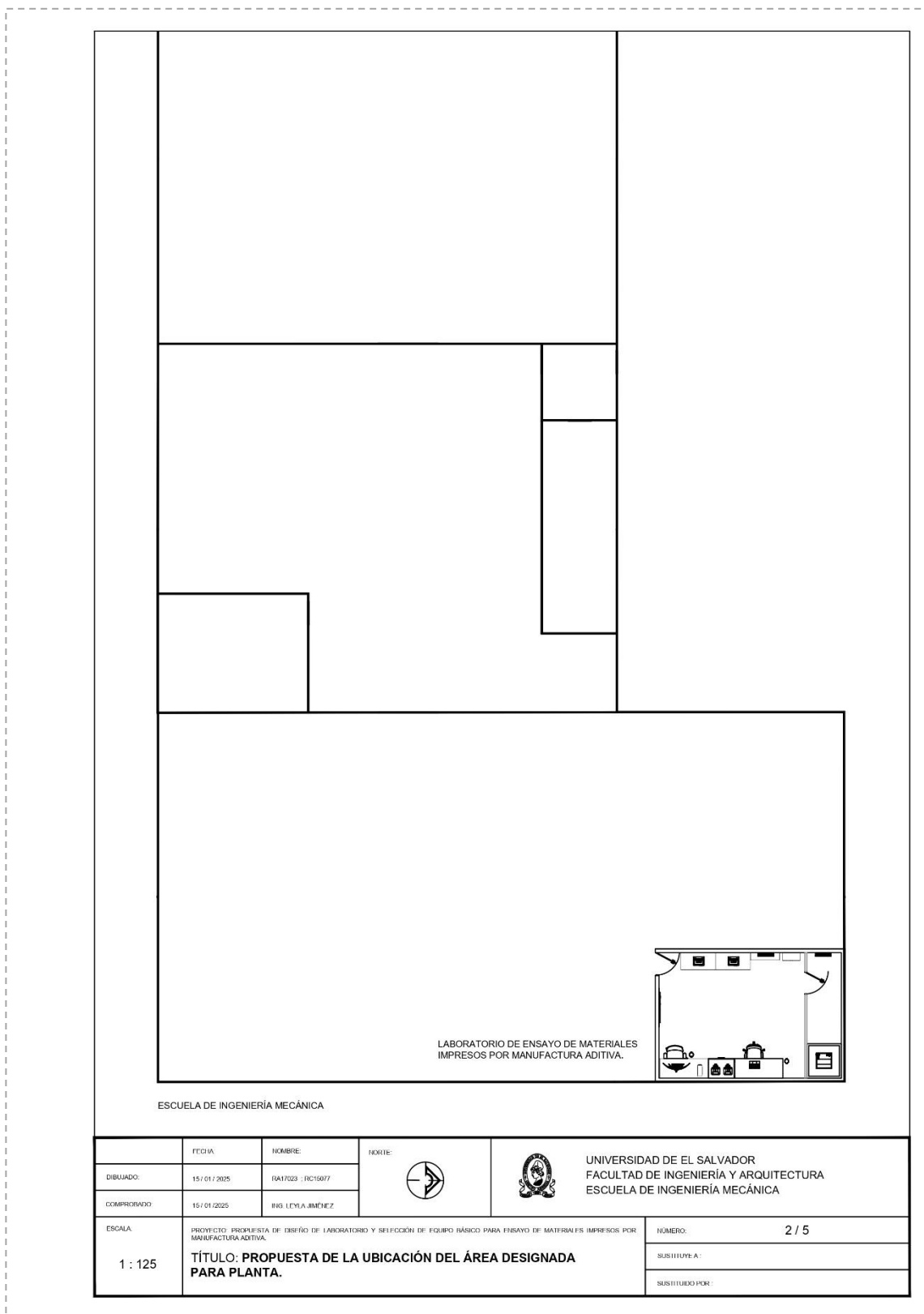
*Figura 4-2. Delimitación del área de seguridad mínima para la ejecución de ensayos.*

#### 4.2 Propuesta de Ubicación del área designada para planta.

El laboratorio debe integrarse en un espacio que ofrezca disponibilidad y que, cumpla con los requisitos del área mínima propuesta para garantizar su correcto funcionamiento. Tras consultar los espacios dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, se verificó que el área del taller de Ingeniería Mecánica cumple con estas condiciones y se encuentra disponible para el emplazamiento del laboratorio. Esta ubicación permite aprovechar al máximo el espacio, también busca integrar el laboratorio con las actividades ya existentes en el área, fomentando la sinergia entre proyectos. Asimismo, facilita el acceso a recursos y equipos complementarios, lo que optimiza tanto la funcionalidad como la operatividad del laboratorio, asegurando su eficiencia y adaptabilidad a futuras necesidades. La ubicación propuesta para el emplazamiento del laboratorio en el taller de la Escuela de Ingeniería Mecánica se presenta en la *Figura 4-3* y se detalla en el *Plano 2*.



*Figura 4-3. Macro ubicación propuesta para el emplazamiento del laboratorio en el Taller de la Escuela de Ingeniería Mecánica. Fuente: Elaboración propia.*

















Plano 2. Propuesta de la Ubicación del área designada para planta de ensayos. Fuente: Elaboración propia.

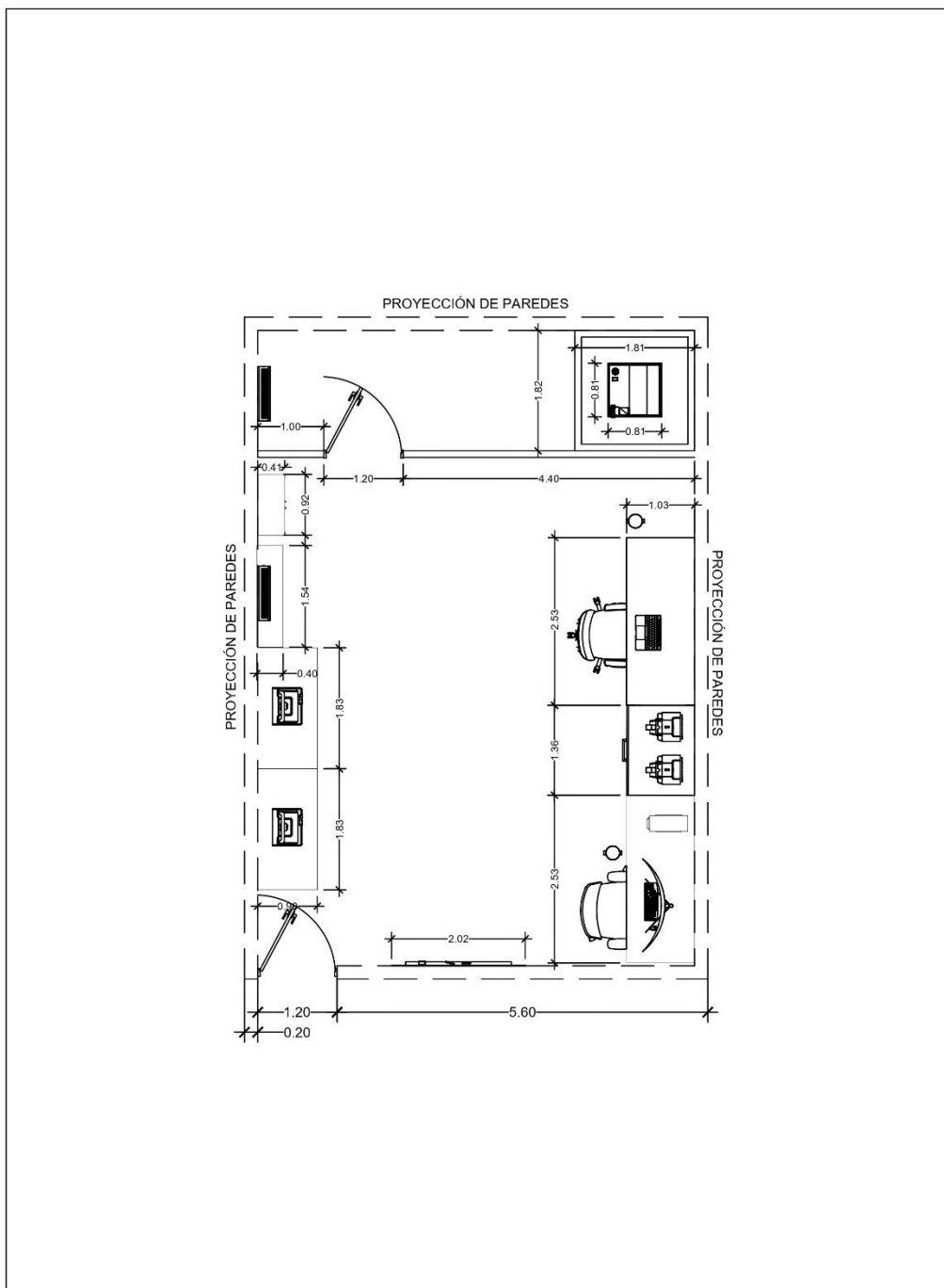
### 4.3 Propuesta de distribución del mobiliario.

Es fundamental que el Laboratorio cuente con el mobiliario adecuado que cumpla con las necesidades operativas. Por ello, se propone la adquisición de un mobiliario básico que se ajuste a las dimensiones mínimas requeridas para el laboratorio, como se indica en el *Plano 3*. Además, se ha preparado un presupuesto detallado en la *Tabla 8*, que proporciona información sobre las especificaciones de cada artículo y su respectivo costo.

*Tabla 8. Presupuesto de equipo mobiliario y equipos auxiliares. Fuente: Información obtenida de las cotizaciones de distribuidores de mobiliario nacionales.*

Presupuesto de mobiliario y equipos auxiliares.									
No.	Visual	Artículo	Código	Proveedor	Descripción	Cant.	Precio unitario	Descuento	Precio unitario
1		Armario de casilleros	00-49	El Salvador Tecnología	Locker de 4 Cuerpos 20 puertas Con Chapa Smart Flex 0049 (0.40 m X 1.20 m X 1.80 m)	1.00	\$ 679.00	\$ -	\$ 679.00
2		Escritorios del area de prototipado	SM001427	ConstruMarket	Escritorio sencillo gris de melamina (1.00 m X 0.45 m X 0.75 m)	2.00	\$ 80.63	\$ 13.44	\$ 134.38
3		Armario de puertas de cristal	N/A	El Salvador Tecnología	Gabinete metalico con 4 anaqueles (1.80 m X 0.90 m X 0.38 m)	1.00	\$ 268.00	\$ -	\$ 268.00
4		Papelerera	18595189536	Wallmart	Basurero Swing Pequeño C/Tapa (6 L) Guateplast Marfil Tr 0	2.00	\$ 4.00	\$ -	\$ 8.00
7		Escritorio de trabajo	608393	Freund	Escritorio de 3 gavetas de aglomerado wengue dublin (0.75 m X 0.44 m X 120 m)	2.00	\$ 124.95	\$ 34.96	\$ 179.98
8		Silla de escritorio	SV-0926053	EPA	Silla ejecutiva negra de malla respaldo alto base metal (1.14 m -1.25 m x 0.59 m x 0.69 m)	2.00	\$ 199.00	\$ -	\$ 398.00
9		Pedestal de gavetas	T-F28GREY	ConstruMarket	Mueble en MDF con revestimiento pvc, 3 gavetas, 4 rodos de nylon, incluye chapa y llavin (0.42 m X 0.5 m X 0.63 m)	1.00	\$ 110.62	\$ 28.32	\$ 82.30
10		Laptop de trabajo	197105206755	Zona Digital	Laptop ASUS Zenbook Q410V-evo. i5512 proc. intel core i5 13500h ram 8gb ddr5 almacenamiento SSD 512Gb pantalla oled 2.8K 14.5p 120Hz w11h wifi ax + bt kb us gris	1.00	\$ 899.00	\$ -	\$ 899.00
11		Monitor de trabajo	6934177745393	Zona Digital	Monitor curvo Ultrawide Xiaomi WFHD 2560 x 1080 30p 200hz dp HDMI2.1 bhr5118tw 34105	1.00	\$ 329.00	\$ -	\$ 329.00
12		CPU de trabajo	QUITASED5600G	Zona Digital	Combo de PC AMD Ryzen 5 5600G B450 DDR4 16GB SSD 240Gb Talon 600W.	1.00	\$ 433.75	\$ -	\$ 433.75
13		Teclado y mouse de trabajo	884116431657	Zona Digital	Kit teclado y mouse USB DELL km300c-Ltn negro.	1.00	\$ 19.95	\$ -	\$ 19.95
14		Impresoras de tinta	36318	Office Depot	Impresora Epson I1250 (wifi)-resolución: 5760x1440dpi-velocidad de impresion: 10 IPM NGR-velocidad de impresion: 5 IPM CLR-conexion: USB 2.0, wifi. -tanque de tinta: Ecotank t544-garantia: 1 año con el fabricante	2.00	\$ 189.00	\$ 10.00	\$ 358.00
15		Pizarra para sketch	3496940	Freund	Pizarra de formica (24 plg X 18 plg)	1.00	\$ 24.90	\$ -	\$ 24.90
16		<b>Total</b>							<b>\$ 3,814.26</b>

Los costos del mobiliario y auxiliares del laboratorio suman \$ 3,814.26 e incluyen mesas, sillas, estanterías y armarios. Esta inversión asegura un entorno de trabajo eficiente y seguro, esencial para las operaciones de investigación y desarrollo en el laboratorio.



	FECHA:	NOMBRE:	NORTE:	 UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIBUJADO:	17 / 04 / 2024	RAI/023 - RC/5077		
COMPROBADO:	01 / 10 / 2021	ING. LEYLA JIMÉNEZ		
ESCALA:	PROYECTO: PROPUESTA DE DISEÑO DE LABORATORIO Y SELECCIÓN DE EQUIPO BÁSICO PARA ENSAYO DE MATERIALES IMPRESOS POR MANUFACTURA ADITIVA.			NÚMERO: 3 / 5
1 : 75	TÍTULO: PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DEL MOBILIARIO.			SUSTITUYE A:
				SUSTITUIDO POR:

Plano 3. Propuesta de distribución de mobiliario y dimensiones del mismo. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4 Propuesta de las instalaciones eléctricas en planta.

El laboratorio está equipado con dispositivos técnicos y auxiliares que operan con una corriente eléctrica estable de  $110\text{ V} - 220\text{ V} \pm 10\%$  a  $60\text{ Hz}$ . Dado que todo el equipo del laboratorio representa una inversión, es fundamental garantizar su protección. Por lo tanto, es necesario determinar el nivel de protección requerido, lo cual implica evaluar la carga eléctrica que debe suministrarse al laboratorio.

##### 4.4.1 Caracterización de luminarias para el Laboratorio.

El método de lúmenes determina el número de luminarias que debe contener un espacio arquitectónico, las cuales formarán parte del proyecto de la instalación eléctrica. En el método se consideran factores como la distribución de la luminaria, la altura del techo y el tipo de actividades realizadas en el Laboratorio para garantizar una iluminación óptima y adecuada, entre otros. Cada paso del proceso se detalla en las siguientes tablas:

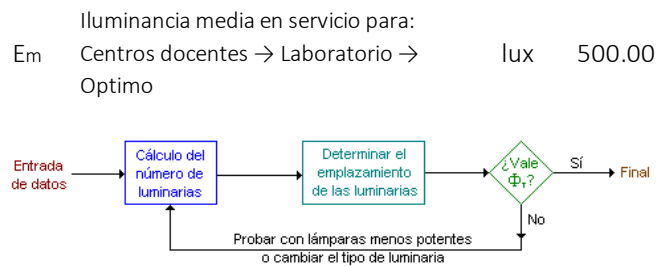
##### 4.4.1.1 Selección de características de luminarias para el Laboratorio.

En la *Tabla 9* se presenta la selección del nivel de iluminancia media en servicio recomendado para un Laboratorio de ensayo de materiales, considerando las condiciones óptimas de visibilidad y seguridad necesarias para realizar con precisión las pruebas y manipulaciones de los equipos.

*Tabla 9. Nivel de iluminancia media en un espacio arquitectónico (Em). Fuente: (Fernandez, n.d.).*




1	Nivel de iluminancia media (Em)		
Iluminancias recomendadas según la actividad y el tipo de local	Variable	Descripción	Unidad Valor

Tareas y clases de local	Iluminancia media en servicio (lux)		
	Mínimo	Recomendado	Óptimo
<b>Zonas generales de edificios</b>			
Zonas de circulación, pasillos	50	100	150
Escaleras, escaleras móviles, roperos, lavabos, almacenes y archivos	100	150	200
<b>Centros docentes</b>			
Aulas, laboratorios	300	400	500
Bibliotecas, salas de estudio	300	500	750
<b>Oficinas</b>			
Oficinas normales, mecanografiado, salas de proceso de datos, salas de conferencias	400	500	750
Grandes oficinas, salas de dirección, CAD/CAM/CAE	500	750	1000
<b>Comercios</b>			
Comercio tradicional	300	500	750
Grandes superficies, supermercados, salones de muestras	500	750	1000
<b>Industria (en general)</b>			
Trabajos con requerimientos visuales limitados	200	300	500
Trabajos con requerimientos visuales normales	500	750	1000
Trabajos con requerimientos visuales especiales	1000	1500	2000
<b>Viviendas</b>			
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de trabajo o estudio	300	500	750



En la *Tabla 10* se muestra la selección de la temperatura de color de la iluminación a utilizar en el Laboratorio, donde se opta por una temperatura fría. Esta selección se debe a que la luz fría facilita una interpretación más clara de los resultados obtenidos durante las pruebas.


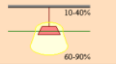
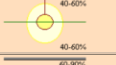


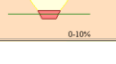
*Tabla 10. Temperatura del color del alumbrado del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).*

2		Temperatura del color del alumbrado	
Tipos de Alumbrado general		→ Selección	
<b>Iluminancia (lux)</b> E < 500 500 < E < 1.000 1.500 < E < 2.000 2.000 < E < 3.000 E > 30.000	<b>Apariencia del color de la luz</b>		
	<b>Cálida</b> agradable ↓ estimulante ↓ no natural	<b>Intermedia</b> neutra ↓ agradable ↓ estimulante	<b>Fría</b> fría ↓ neutra ↓ agradable
	Cálida 	Fría 	→ Fría 

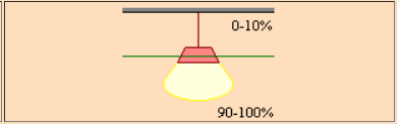
Iluminancia media en servicio de:  $E_m \leq 500 \text{ lux}$  →  
 Apariencia Fría → Color Frío

En la *Tabla 11* se presenta la selección del tipo de iluminación directa según la clasificación CIE, donde se opta por una distribución de luz con un flujo luminoso del 0 al 10% por encima de la horizontal y del 90 al 100% por debajo de esta. Esta selección responde a la necesidad del Laboratorio de ensayo de materiales de contar con una iluminación directa.

*Tabla 11. Tipo de luminarias según la clasificación de la CIE. Fuente: (Fernandez, n.d.).*

3		Tipo de Luminarias	
Tipos de Luminarias		→ Selección	
Directa		Semi-directa	
General difusa		Directa-indirecta	
Semi-indirecta		Indirecta	

Clasificación CIE según la distribución de la luz: Iluminación directa → Flujo luminoso por encima de la horizontal 0 - 10% → Flujo luminoso por debajo de la horizontal 90 - 100%



Basada en su adecuación al ámbito de uso de laboratorios y oficinas, se selecciona la iluminación tipo halógena para el Laboratorio la cual se detalla en la *Tabla 12*.

Tabla 12. Tipo de lámparas empleadas en el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).

4		Tipo de Lámparas	
		Tipos de Lámparas → Selección	
<b>Ámbito de uso</b>	<b>Tipos de lámparas más utilizados</b>	Tipos de Lámparas: Oficinas → Alumbrado general → Halógenas	
Doméstico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Incandescente</li> <li>▶ Fluorescente</li> <li>▶ Halógenas de baja potencia</li> <li>▶ Fluorescentes compactas</li> </ul>		
Oficinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Alumbrado general: fluorescentes</li> <li>▶ Alumbrado localizado: incandescentes y halógenas de baja tensión</li> </ul>		
Comercial (depende de las dimensiones y características del comercio)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Incandescentes</li> <li>▶ Halógenas</li> <li>▶ Fluorescentes</li> <li>▶ Grandes superficies con techos altos: mercurio a alta presión y halógenos metálicos</li> </ul>		
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Todos los tipos</li> <li>▶ Luminarias situadas a baja altura (&lt;math&gt;10\text{ m}&lt;/math&gt;): fluorescentes</li> <li>▶ Luminarias situadas a gran altura (&gt;math&gt;10\text{ m}&lt;/math&gt;): lámparas de descarga a alta presión montadas en proyectores</li> <li>▶ Alumbrado localizado: incandescentes</li> </ul>		
Deportivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Luminarias situadas a baja altura: fluorescentes</li> <li>▶ Luminarias situadas a gran altura: lámparas de vapor de mercurio a alta presión, halógenos metálicos y vapor de sodio a alta presión</li> </ul>		




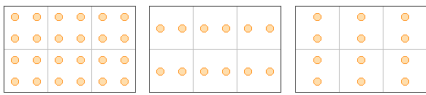
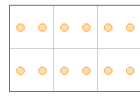
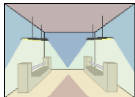
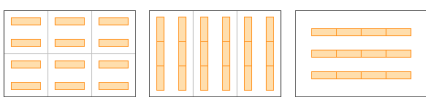


Incandescentes → Halógenas

Fluorescentes

Halógenas

En la *Tabla 13* se presenta la selección del método de alumbrado seleccionado para el Laboratorio es el alumbrado general mediante paneles. Esta opción permite una distribución uniforme de la luz en todo el espacio, garantizando que todas las áreas del laboratorio de ensayo de materiales estén iluminadas.

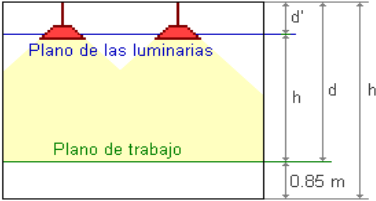
Tabla 13. Método de alumbrado del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).

5		Metodo de Alumbrado	
Metodos de Alumbrado →		Tipos de Alumbrado general → Selección	
	Alumbrado general →		Alumbrado general por paneles 
	Alumbrado general localizado		
	Alumbrado localizado		

#### 4.4.1.2 Método de los lúmenes para un espacio arquitectónico (Parámetros).

Para determinar la altura de suspensión de las luminarias en el laboratorio, detallada en la *Tabla 14*, se aplicó la fórmula  $h = (4/5) * d$ , la cual corresponde a sistemas de iluminación directa, semidirecta y difusa. Esta fórmula establece la distancia óptima entre la superficie de trabajo y las luminarias.

Tabla 14. Altura de suspensión de las luminarias. Fuente: (Fernandez, n.d.).

6		Altura de suspensión		
Variable	Descripción	Unidad	Valor	
	$h'$	Altura del local	m	2.80
	$h$	Altura entre el plano de trabajo y las luminarias	m	1.56
	$d$	Altura del plano de trabajo al techo	m	1.95
	$d'$	Altura entre el plano de luminarias y el techo	m	0.39
		Longitud de plano de trabajo	m	0.85

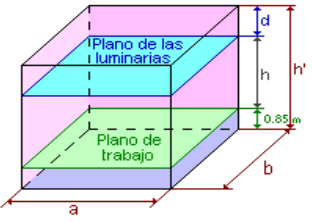
  

Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Altura de las luminarias
	Lo más altas posibles
	Mínimo: $h = \frac{2}{3} (d \sim 0.85)$
	Óptimo: $h = \frac{4}{5} (d \sim 0.85)$
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	
	$d' = \frac{1}{4} (d \sim 0.85)$
Locales con iluminación indirecta	
	$h = \frac{3}{4} (d \sim 0.85)$

Altura de suspensión para: Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa → Óptimo →  $h' = (4/5) * d$

En la *Tabla 15* se presenta el cálculo del índice del local ( $k$ ) a partir de la geometría del mismo. Para iluminación directa, semidirecta o difusa, se utiliza la fórmula del método europeo:  $k = (ab) / (h(a + b))$ , donde "a" y "b" representan las dimensiones del local y "h" la altura de suspensión de las luminarias. Este índice permite evaluar el nivel de eficiencia del sistema de iluminación seleccionado en función de las características del espacio.

Tabla 15. Índice de Iluminancia del local. Fuente: (Fernandez, n.d.).

7		Índice del Local (k)		
Variable	Descripción	Unidad	Valor	
	$a$	Ancho del local	m	7.00
	$b$	Profundidad del local	m	10.00
	$h'$	Altura del local	m	2.80
	$h$	Altura entre el plano de trabajo y las luminarias	m	1.56
	$d$	Altura entre el plano de luminarias y el techo	m	0.39
		Longitud de plano de trabajo	m	0.85

Sistema de Iluminación	Índice del local
Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
Iluminación indirecta y semindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

El método europeo: Sistema de iluminación → Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa → Índice del local →  $k = (a \cdot b) / (h \cdot (a + b))$

$k$	Índice del local			2.64
-----	------------------	--	--	------


En la *Tabla 16* se seleccionan los coeficientes de reflexión correspondientes a los materiales del Laboratorio. Para el techo, se elige un color blanco para una mejor distribución de la luz. Por la misma razón para las paredes y el piso, se opta por un color claro.

Tabla 16. Coeficientes de reflexión según los materiales empleados en el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).

8			Coeficientes de reflexión	
			→ Selección	
Techo	Color	Factor de reflexión (ρ)	Coeficiente de reflexión para techo: Color → Blanco o muy claro →	
	Blanco o muy claro	0.7	Factor de reflexión → 0.7	
	claro	0.5		
	medio	0.3		
Paredes	claro	0.5	Coeficiente de reflexión para paredes: Color → Claro → Factor de	
	medio	0.3	reflexión → 0.5	
	oscuro	0.1		
Suelo	claro	0.3	Coeficiente de reflexión para suelo: Color → Claro → Factor de	
	oscuro	0.1	reflexión → 0.3	

En la *Tabla 17* se determina el factor de utilización (*CU*) a partir del índice del local y los coeficientes de reflexión previamente seleccionados. Estos valores, permiten establecer el rendimiento óptimo del sistema de iluminación. Como no se pudo obtener el factor por lectura directa, se realiza una interpolación para calcular el valor preciso necesario para el Laboratorio.

Tabla 17. Factor de utilización de luminarias. Fuente: (Fernandez, n.d.).

9		Factor de utilización (η)								
		Variable	Descripción						Valor	
Tipo de aparato de alumbrado	Índice del local k	Factor de utilización (η)								
		Factor de reflexión del techo								
		0.7      0.5      0.3								
		Factor de reflexión de las paredes								
		0.5   0.3   0.1   0.5   0.3   0.1   0.5   0.3   0.1								
	1	.28	.22	.16	.25	.22	.16	.26	.22	.16
	1.2	.31	.27	.20	.30	.27	.20	.30	.27	.20
	1.5	.39	.33	.26	.36	.33	.26	.36	.33	.26
	2	.45	.40	.35	.44	.40	.35	.44	.40	.35
	2.5	.52	.46	.41	.49	.46	.41	.49	.46	.41
	3	.54	.50	.45	.53	.50	.45	.53	.50	.45
	4	.61	.56	.52	.60	.56	.52	.60	.56	.52
	5	.63	.60	.56	.63	.60	.56	.62	.60	.56
	6	.68	.63	.60	.68	.63	.60	.65	.63	.60
	8	.71	.67	.64	.69	.67	.64	.68	.67	.64
10	.72	.70	.67	.71	.70	.67	.71	.70	.67	
		k	Coef. De reflexión del techo						0.70	
		k	Coef. De reflexión del paredes						0.50	
		k	Coef. De Índice del local						2.64	
		k	Coef. De Índice del local aproximado						3.00	
		η	Factor de utilización						54.00	

En la *Tabla 18* se determina el factor de mantenimiento (*fm*) o conservación de la instalación, considerando la frecuencia de limpieza del

## Laboratorio de un ambiente limpio.

Tabla 18. Factor de mantenimiento (aseo) del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).

10		Factor de mantenimiento (fm)
		→ Selección
Ambiente	Factor de mantenimiento (fm)	
Limpio	0.8	
Sucio	0.6	

La suciedad ambiental sera: Ambiente → Limpio → Factor de utilización → 0.8

## 4.4.1.3 Método de los lúmenes para un espacio arquitectónico (Cálculos).

En la *Tabla 19* se presenta el cálculo del flujo luminoso total necesario para el laboratorio, utilizando la fórmula  $\Phi_T = (E * S) / (\eta * f_m)$ , donde  $\Phi_T$  es el flujo luminoso,  $E_m$  es la iluminancia requerida,  $S$  es la superficie del área a iluminar,  $\eta$  es el factor de utilización o coeficiente de utilización, y  $f_m$  es el factor de mantenimiento. Este cálculo permite determinar la cantidad de luz que debe emitir cada luminaria para asegurar una iluminación adecuada y uniforme en el laboratorio, considerando tanto el área como las condiciones de mantenimiento establecidas.

Tabla 19. Flujo luminoso total necesario para iluminar el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).


11		Flujo luminoso total necesario			
		Variable	Descripción	Unidad	Valor
$\Phi_T = \frac{E \cdot S}{\eta \cdot f_m}$	Em	Iluminancia media en servicio		lux	500.00
	S	Superficie del plano de trabajo		m <sup>2</sup>	70.00
	$\eta$	Factor de utilización			54.00
	fm	Factor de mantenimiento			0.80
	$\Phi_T$	Flujo luminoso total			lux*m <sup>2</sup>

En la *Tabla 20* se presenta el cálculo del número de luminarias necesarias para el laboratorio utilizando la fórmula  $N = \Phi_T / (n * \Phi_L)$ , donde  $N$  representa el número total de luminarias,  $\Phi_T$  es el flujo luminoso total requerido para el espacio,  $n$  es el número de lámparas por luminaria, y  $\Phi_L$  corresponde al flujo luminoso de cada lámpara.

En la misma tabla se muestra la selección de la lámpara basada en su potencia, donde se elige un panel LED de 40 W con un flujo luminoso de 3240 lux.

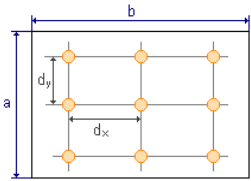
Este valor resulta en una eficiencia de 81 lux/W por lámpara, cumpliendo con el requisito mínimo de iluminación por lámpara para el Laboratorio.

Tabla 20. Cálculo del número de luminarias a emplear al Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).

12		Calculo del numero de luminarias		
	Variable	Descripcion	Unidad	Valor
$N = \frac{\Phi_T}{n \cdot \Phi_L}$  <p>[L1240] PANEL LED 2X2 40W DL LIGHT-TEC</p> <p>Panel LED de Light-tec, ofrece:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 40 watts.</li> <li>• Medida: 2x2</li> <li>• Luz de día 6000 K.</li> <li>• Flujo luminoso: 3240 lm.</li> <li>• 30.000 horas de vida aproximadamente.</li> <li>• Grado de protección: IP20.</li> <li>• Difusor primótico.</li> <li>• Uso para interiores en oficinas, centros comerciales, cocinas, entre otros.</li> </ul>	$\Phi_T$	Flujo luminoso total	lux*m <sup>2</sup>	810.19
	n	Numero de lamparas por luminaria		1.00
	$\Phi_L$	Flujo luminoso de una lampara	lux/W	81.00
	N	Numero de luminarias para un espacio arquitectonico		10.00
		Seleccion de la lampara segun su potencia: Consumo → 40W → Flujo luminoso → 3240 lux		
	P	Potencia de cada luminaria	W	40.00

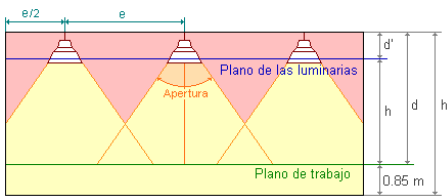
En la *Tabla 21* se describe el emplazamiento de las luminarias una vez calculado el número de lámparas necesarias. Estas se distribuyen de manera uniforme sobre la planta del Laboratorio. El número de luminarias en el ancho del local se determina mediante la fórmula  $N_{ancho} = \sqrt{\left(\frac{N_{Total}}{largo}\right) (ancho)}$ , mientras que el número de luminarias a lo largo del local es  $N_{largo} = N_{ancho} \left(\frac{largo}{ancho}\right)$ .

Tabla 21. Emplazamiento de las luminarias en el espacio arquitectónico. Fuente: (Fernandez, n.d.).

13		Emplazamiento de las luminarias		
	Variable	Descripcion	Unidad	Valor
 $N_{ancho} = \sqrt{\frac{N_{Total}}{largo} \times ancho}$ $N_{largo} = N_{ancho} \times \left(\frac{largo}{ancho}\right)$	a	Ancho del local	m	7.00
	b	Profundidad del local	m	10.00
	$N_T$	Numero total de luminarias para un espacio arquitectonico	m	10.00
	$N_A$	Numero total de luminarias para el ancho	m	2.00
	$N_L$	Numero total de luminarias para el largo	m	5.00

La *Tabla 22* describe la distancia de separación entre luminarias, señalando que aquellas ubicadas cerca de las paredes deben instalarse a una distancia menor, equivalente a la mitad de la separación estándar. Para luminarias de tipo extensivo, y una altura del Laboratorio menor o igual a 4 metros, la distancia máxima permitida entre luminarias es de 1.6 veces la altura del Laboratorio

Tabla 22. Distancia entre las luminarias del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).

14		Distancia entre luminarias		
Variable	Descripción	Unidad	Valor	
	h'	Altura del local	m	2.80
<p>Distancia entre luminarias según el tipo de luminaria:                      Tipo de luminaria → Extensiva → Altura del local → <math>e \leq 4m</math>                      → Distancia máxima entre luminarias → <math>e \leq 1.6h</math></p>				
e	Distancia máxima entre luminarias	m	4.48	
e/2	Distancia pared-luminaria	m	2.24	

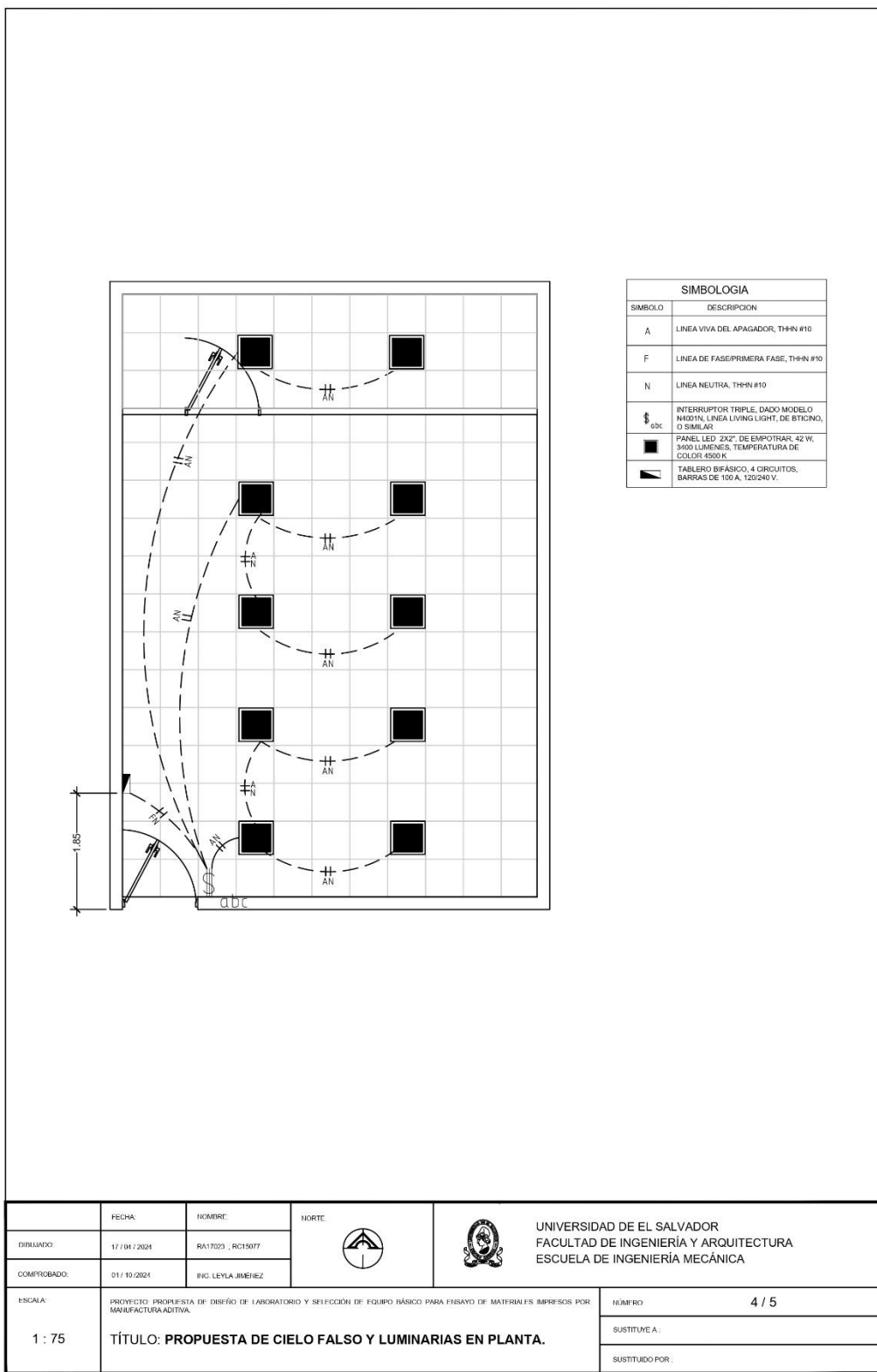
La *Tabla 23* presenta la comprobación final de la validez de los resultados obtenidos en el diseño de la instalación de iluminación. Para verificar si la iluminancia media calculada es igual o superior a la recomendada, se utiliza la fórmula:  $E_m = (n * \varphi_L * \eta * f_m / S) \geq E_{tablas}$ , donde se evalúan factores

Tabla 23. Comprobación de resultados obtenidos por el método de los lúmenes y tablas. Fuente: (Fernandez, n.d.).

15		Comprobación de resultados			
		Variable	Descripción	Unidad	Valor
$E_m = \frac{n \cdot \Phi_L \cdot \eta \cdot f_m}{S} \geq E_{tablas}$		N	Numero total de luminarias para un espacio arquitectonico		10.00
		$\Phi_L$	Flujo luminoso de una lampara	lux/W	81.00
$E_m$	$\geq$	$\eta$	Factor de utilizacion		54.00
500.00	$\geq$	$f_m$	Factor de mantenimiento		0.80
		S	Superficie del plano de trabajo	m <sup>2</sup>	70.00
		$E_m$	Iluminancia media en servicio	lux	500.00
		Etablas	Iluminancia media en servicio de tablas	lux	500.00

como el flujo luminoso, la eficiencia de las luminarias, el factor de mantenimiento y la superficie del plano de trabajo.

Aunque el espacio físico del Laboratorio no se encuentra asignado, para garantizar una iluminación adecuada se establece un área de  $70 \text{ m}^2$ , la cual requiere la instalación de 10 paneles LED 2x2 de luz blanca de  $40 \text{ W}$ . Estos paneles deben colocarse a una altura de suspensión de  $0.39 \text{ m}$  desde el techo, con una distancia de  $4.48 \text{ m}$  entre luminarias y una separación de  $2.24 \text{ m}$  entre cada luminaria y la pared. La *Tabla 23* muestra que los resultados obtenidos para la iluminancia media en servicio, tanto calculada como leída desde las tablas, coinciden, confirmando que el método de cálculo se está aplicando correctamente. El *Plano 4* muestra la propuesta para la disposición de las luminarias en el Laboratorio con la conexión eléctrica correspondiente.



Plano 4. Propuesta de las instalaciones eléctricas (luminarias) en Planta. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2 Caracterización de equipo de climatización del Laboratorio.

Es indispensable el control de la temperatura y la humedad para el desarrollo de ensayo de materiales, este control está determinado por la norma ASTM D618<sup>6</sup>. Realizar las tareas en un ambiente confortable también contribuye a maximizar la eficiencia del trabajo. Para este motivo se emplea el método para calcular la evacuación de carga térmica en un recinto cerrado. El método se detalla en las siguientes tablas:

##### 4.4.2.1 Capacidad de evacuación de carga térmica de un aire acondicionado.

La *Tabla 24* muestra la relación entre la ubicación geográfica de la Universidad de El Salvador y las temperaturas medias según las zonas climáticas del país. Para esta se registra una temperatura media de 36 °C clasificando esta área como de clima muy cálido. Como resultado, se estima una carga térmica de 650 BTU/m<sup>2</sup> para alcanzar el confort.

*Tabla 24. Zonas climáticas de El Salvador y Ubicación del Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).*

16	Zona Climática de El Salvador			
	Tipo de clima	Temp. (°C)	Unidad	Valor
 <p>Temperaturas extremas Temperatura máxima °C Temperaturas 04 de abril Escala de temperatura + 40 grados</p>	Frío	18°C	Btu/m <sup>2</sup>	500
	Templado	19° - 25°C	Btu/m <sup>2</sup>	550
	Cálido	26° - 33°C	Btu/m <sup>2</sup>	600
	Muy Cálido	+ 34°C	Btu/m <sup>2</sup>	650
	Temperatura según las zonas climáticas de ES: Ubicación de la UES → Temperatura de 36°C → Tipo de clima Muy Cálido → 650 Btu/m <sup>2</sup>			

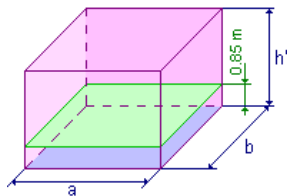
📍 Universidad de El Salvador

La *Tabla 25* presenta las dimensiones del local a climatizar, con el objetivo de determinar el área o espacio de trabajo.

<sup>6</sup> ASTM D618: Práctica estándar para acondicionamiento de plásticos para pruebas.

Tabla 25. Área o espacio de trabajo a climatizar. Fuente: (Fernandez, n.d.).

17		Área a climatizar		
Variable	Descripción	Unidad	Valor	
a	Ancho del local	m	7.00	
b	Profundidad del local	m	10.00	
S	Superficie del plano de trabajo	m <sup>2</sup>	70.00	




La *Tabla 26* presenta la determinación de los emisores de calor presentes en el local, incluyendo ocupantes, aparatos electrónicos, pantallas LED, motores eléctricos y luminarias.

Tabla 26. Carga térmica a evacuar según el método de unidades de potencia frigorífica. Fuente: (Fernandez, n.d.).

18		Carga térmica				
Emisor de calor	Descripción	Cant.	Unidad	Valor	Valor tot.	Valor del Recinto
	Ocupantes permitidos en el recinto	15	Btu/uni	500.00	7500.00	
	Aparatos electrónicos en el recinto	6	Btu/uni	400.00	2400.00	
	Pantallas LED en el recinto	2	Btu/uni	600.00	1200.00	
	Motores eléctricos en el recinto	1	Btu/uni	300.00	300.00	
	Luminarias instaladas en el recinto	10	Btu/uni	200.00	2000.00	
	Total de Btu/recinto		Btu			13400.00

La *Tabla 27* presenta el cálculo de la capacidad total de climatización para el local. La fórmula utilizada es  $Q_t = S * Q_z + Q_e$ , donde  $S$  representa la superficie de trabajo,  $Q_z$  es la carga térmica correspondiente a la zona climática, y  $Q_e$  corresponde a la carga térmica generada por los emisores de calor dentro del local, como ocupantes, equipos electrónicos y otros. A partir de estos valores, la tabla permite calcular la capacidad frigorífica necesaria en *BTU*, la cual se convierte a frigorías y posteriormente a vatios.

Tabla 27. Capacidad total del equipo de climatización. Fuente: (Fernandez, n.d.).

19	Capacidad total			
	Variable	Descripción	Unidad	Valor
$Q_t = S \times Q_z + Q_o$ 	S	Superficie del plano de trabajo	m <sup>2</sup>	70.00
	Qz	Carga térmica por zona climática	Btu/m <sup>2</sup>	650.00
	Qe	Carga térmica por emisor de calor	Btu	13400.00
	Qt	Carga térmica total	Btu	58900.00
	Qt	Carga térmica total	Frig	14725.00
	Pt	Potencia total para evacuar la carga térmica del recinto	W	16786.50
	P	Potencia requerida por cada unidad mini split	W	8393.25

Al realizar análisis de la evacuación de la carga térmica se concluye que es necesario dos equipos mini Split de 24,000 BTU los cuales consumen una potencia individual de 8393.25 *Vatios*.

El Laboratorio dispondrá de tomas de corriente de 110 V y 220 V. Sin embargo, la evaluación de la potencia de estas está vinculada al consumo eléctrico. Por lo tanto, la carga eléctrica que se debe proporcionar se calcula directamente en el cuadro de cargas.

#### 4.4.3 Cuadro de cargas del Laboratorio.

Las características de las luminarias, equipo de climatización y tomas de corriente de una y dos fases nos permiten determinar una distribución de cargas empleando las directrices del NEC<sup>7</sup>. En la *Tabla 28* se detallan las corrientes de los sistemas eléctricos y en la *Tabla 29* se presentan algunas generalidades de los sistemas eléctricos para determinar la potencia de alimentación de cada uno.

<sup>7</sup> NEC: National Electrical Code (Código de Electricidad Nacional).

Tabla 28. Corriente de los sistemas eléctricos empleadas en el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).







20		Corriente de los sistemas electricos		
Fase	Descripcion	Unidad	Voltaje	Fluctuacion ( $\pm 10\%$ )
	Corriente monofasiva a 110 V $\pm 10\%$	V	110.00	10.00
	Corriente bifasiva a 220 V $\pm 10\%$	V	220.00	20.00

Tabla 29. Generalidades de los sistemas eléctricos empleados en el Laboratorio. Fuente: (Fernandez, n.d.).

21		Generalidades de los sistemas electricos					
Sistema electrico	Descripcion	Cant.	Corriente (A)	Polaridad	Voltaje (V)	Potencia por unidad	Potencia por sist. (W)
	Sistema de luminarias	10		1P	110.00	40.00	400.00
	Sistema de tomacorrientes 110 V	6	15	1P	110.00	1650.00	9900.00
	Sistema de tomacorrientes 220 V	1	30	2P	220.00	6600.00	6600.00
	Sistema de aire acondicionado	2		2P	220.00	8393.25	16786.50

La *Tabla 30* presenta el cuadro de cargas del Laboratorio, en el cual se detalla el esquema de conexiones eléctricas en el sub tablero, el balance de cargas, tipo de cableado y canalización y las conexiones físicas del sub tablero. Todo el diseño y organización de estas conexiones se ha realizado siguiendo las directrices del NEC.













*Tabla 30. Cuadro de distribución de cargas eléctricas. (Conexiones y espacios en el sub tablero y Balance de cargas). Fuente: Información obtenida del NEC (NFPA, 2017).*

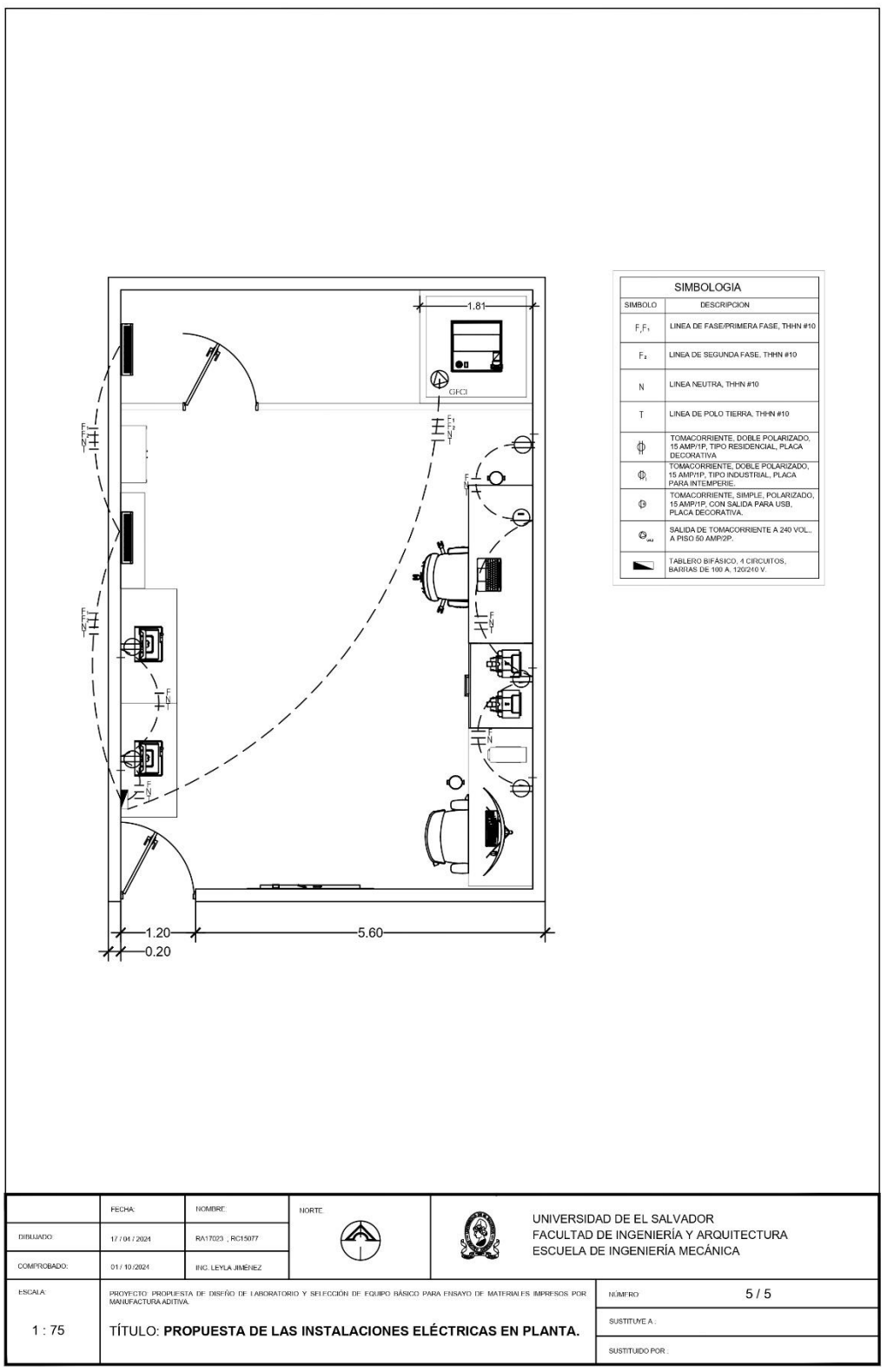
Cuadro de cargas electricas (Calculos)														
21 Conexiones y espacios		22 Cuadro de cargas Subtablero de Laboratorio								23 Conexiones y espacios				
Esquema de conexiones en el subtablero		N. Circuit.	Espacio	Corriente (A)		Voltaje (V)	Potencia instalada (W)	Factor de utilizacion	Potencia real (VA)	Proteccion	Descripcion	Canalizacion	Esquema de conexiones en el subtablero	
	1	1	3.64		110	400.00	0.80	320.00	15A/1P	1 circuito de luminarias de 40 W 2 X 5 @110 V 1 $\Phi$	1 THHN #10 F, 1THHN #10 N, $\Phi$ 3/4"			
	2	4		15.00	110	1650.00	0.80	1320.00	20A/1P	5 tomacorrientes doble polarizado 15 A/1P tipo residencial + 1 tomacorriente simple polarizado 15	1 THHN #10 F, 1 THHN #10 N, 1 THHN #10, $\Phi$ 3/4"			
	3	5 - 7	30.00	30.00	220	6600.00	0.80	5280.00	40A/2P	1 tomacorriente GFCI 50 A/2P en piso	2 THHN #8 F, 1 THHN #10, $\Phi$ 1'			
	4	6 - 8	38.15	38.15	220	8393.25	0.80	6714.60	50A/2P	Aire Acondicionado 1 tipo Mini Split de 24000 Btu, Inverter	1 THHN #8 F, 1 THHN #10, $\Phi$ 1'			
	5	9 - 11	38.15	38.15	220	8393.25	0.40	3357.30	50A/2P	Aire Acondicionado 2 tipo Mini Split de 24000 Btu, Inverter	1 THHN #8 F, 1 THHN #10, $\Phi$ 1'			
				109.94	121.30				16991.90					

El análisis de la carga eléctrica tiene como propósito determinar la cantidad de energía necesaria para abastecer los distintos sistemas del Laboratorio, lo que permite calcular el presupuesto requerido para instalar las protecciones eléctricas adecuadas. Ya que aún no se han definido el espacio físico ni sus dimensiones reales para el Laboratorio el presupuesto no incluye el costo del cableado eléctrico y las canalizaciones, los cuales serán determinados una vez se cuente con dicha información.

El detalle de los sistemas eléctricos y sus protecciones se encuentra en la *Tabla 31*, la cual proporciona información detallada sobre las especificaciones de cada artículo y su respectivo costo. Y la propuesta de la distribución de los sistemas eléctricos se presenta en el *Plano 5*.

*Tabla 31. Presupuesto de las Instalaciones eléctricas: Climatización, Luminarias y Tomacorrientes. Información obtenida de las cotizaciones de distribuidores de mobiliario nacionales. Fuente: Elaboración propia.*

Presupuesto de Instalaciones Eléctricas: Tomacorrientes y Luminarias.									
No.	Visual	Artículo	Modelo	Proveedor	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Descuento	Precio unitario
1		Panel LED de 40W	P23784	Vidri	Panel led 40w con conexión eléctrica 120 - 277 v; medidas 2 x 2 pies (60 x 60 cm) con flujo luminoso 3,200 lm y luz blanca de 6,000 k; Vida útil promedio 35,000 horas y Indicado para montaje en cielo falso SYLVANIA.	10.00	\$ 36.95	\$ -	\$ 369.50
2		Interruptor triple	8005W	Vidri	Interruptor triple de 15A y 125 VAC T&J	1.00	\$ 8.50	\$ -	\$ 8.50
3		Aire Acondicionado Inverter	GP-S24000INV	Vidri	Aire acondicionado mini split inverter, capacidad de enfriamiento de 24000 Btu, conexión a 200 V, eficiencia de ahorro de 16 seer, compresor rotativo, reciclaje de aire automático, descongelamiento inteligente, pantalla led indicadora de estado y Kit que incluye 3 m de cable eléctrico y 3 m de tubo de cobre	2.00	\$ 830.00	\$ -	\$ 1,660.00
4		Tomacorriente monofásico	1009-AW	Vidri	Tomacorriente hembra con doble polarizado, tipo americano, tornillo oculto, 15 amperios, 110 voltios, color blanco	5.00	\$ 1.95	\$ -	\$ 9.75
5		Tomacorriente monofásico con puerto de carga USB	AF2330EB	Vidri	Tomacorriente hembra con polarizado sencillo, con USB, 15 amperios, 110 voltios, color blanco	1.00	\$ 22.95	\$ -	\$ 22.95
6		Tomacorriente bifásico	8458030	Freund	Tomacorriente hembra trifilar, 50 amperios, 220 voltios	1.00	\$ 3.65	\$ -	\$ 3.65
7		Placa para toma trifilar	6183030	Freund	Placa para toma trifilar 4 X 4 pulgadas, 50 amperios, acero inoxidable	1.00	\$ 1.30	\$ -	\$ 1.30
8		Dado térmico 15 A / 1 P	THQL1115	Vidri	Dado térmico (breaker) marca general electric, capacidad 15 amperios x 1 polo, termomagnético de engrape thql de 1 pulgada de ancho, vatios en corriente alterna 120/240, listado ul (bajo estándares de calidad).	1.00	\$ 6.95	\$ -	\$ 6.95
9		Dado térmico 20 A / 1 P	THQL1120	Vidri	Dado térmico (breaker) marca general electric, capacidad 20 amperios x 1 polo, termomagnético de engrape thql de 1 pulgada de ancho, vatios en corriente alterna 120/240, listado ul (bajo estándares de calidad).	1.00	\$ 6.95	\$ -	\$ 6.95
10		Dado térmico 40 A / 2 P	Q240	Vidri	Dado térmico (breaker) marca siemens, capacidad 40 amperios x 2 polos, termomagnético de engrape thql de 2 pulgadas en total, 10,000 amperios de resistencia máxima, vatios en corriente alterna 120/240, listado ul.	1.00	\$ 16.50	\$ -	\$ 16.50
11		Dado térmico 50 A / 2 P	Q250	Vidri	Dado térmico (breaker) marca siemens, capacidad 50 amperios x 2 polos, termomagnético de engrape thql de 2 pulgadas en total, 10,000 amperios de resistencia máxima, vatios en corriente alterna 120/240, listado ul.	2.00	\$ 16.50	\$ -	\$ 33.00
12		<b>Total</b>							<b>\$ 2,139.05</b>



Plano 5. Propuesta de las instalaciones eléctricas (tomacorrientes de una y dos fases) en Planta. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5 Financiamiento del Laboratorio.

La inversión en el diseño y establecimiento del Laboratorio es fundamental para impulsar la investigación y el desarrollo en esta área tecnológica. Por ello, durante la investigación se realizó una búsqueda de entes cooperantes, identificando la entidad financiadora y el programa de financiamiento en el que esta investigación puede participar, cumpliendo con los términos de referencia que el programa solicite. El proceso de la búsqueda del financiamiento del Laboratorio, incluye el alineamiento del tema general del programa de financiamiento con el de esta investigación, la identificación de la inversión inicial y de los costos de operación necesarios para el funcionamiento óptimo del Laboratorio. El financiamiento concluye con la evaluación de acciones; si se obtiene el financiamiento, se procederá con la implementación del proyecto.

##### 4.5.1 Entes de cooperación financiera en El Salvador.

###### 4.5.1.1 *Agencia de Cooperación Internacional de Japón (JICA).*

JICA, es la entidad gubernamental japonesa encargada de coordinar y administrar la cooperación internacional para el desarrollo. Fundada en 1974, JICA trabaja para apoyar la paz y la prosperidad global a través de la asistencia técnica, financiera y de desarrollo a países en desarrollo y en transición.

JICA se enfoca en una amplia gama de áreas, incluyendo infraestructura, salud, educación, medio ambiente y desarrollo rural, con el objetivo de fomentar un desarrollo sostenible y equitativo. La organización implementa proyectos de cooperación que abarcan desde la construcción de infraestructuras esenciales hasta la capacitación de recursos humanos y el fortalecimiento de capacidades institucionales

Implementa una serie de estrategias de cooperación dirigidas a abordar temas globales prioritarios mediante su “Estrategia de Clúster”. Esta estrategia tiene como objetivo demostrar el impacto y los resultados del desarrollo en áreas clave, maximizando así su efectividad. JICA se enfoca en trabajar de manera proactiva con los gobiernos socios y diversos actores para asegurar que las iniciativas de

desarrollo no solo sean relevantes y adaptadas a las necesidades locales, sino que también generen resultados sostenibles y de amplio alcance. Entre los programas que destacan son:

- Desarrollo urbano y regional.
- Transporte.
- Energía y Minería.
- Desarrollo del sector privado.
- Desarrollo agrícola y rural.
- Salud.
- Nutrición.
- Educación.
- Seguridad social.
- Deporte y desarrollo.
- Construcción de paz.
- Gobernación.
- Finanzas públicas y sistemas financieros.
- Género y desarrollo.
- Cambio climático.
- Conservación de la naturaleza.
- Gestión ambiental.
- Gestión sostenible de los recursos hídricos y abastecimiento de agua.
- Reducción del riesgo de desastres.

Entre las actividades de JICA se incluyen proyectos de cooperación técnica que se han llevado a cabo en nuestro país desde 2008, con el proyecto más antiguo desarrollado por esta agencia hasta el más reciente en 2023. Es importante destacar que JICA ha estado involucrado en una variedad de áreas clave, como educación, salud, gobernanza, transporte, desarrollo del sector privado, desarrollo agrícola y rural, y conservación del medio ambiente. En la *Figura 4-4* se presenta una lista de los proyectos desarrollados en estas áreas y en la *Figura 4-5* una infografía de la revista oficial del JICA.

### Lista de proyectos

Sujeto	Título del proyecto	Período de cooperación
Educación	<a href="#">PROYECTO para el mejoramiento de la enseñanza de las matemáticas en la educación primaria y secundaria (ESMATE)</a> (Inglés) <a href="#">PROYECTO de mejoramiento de los aprendizajes en matemática en educación básica y educación media (ESMATE)</a> (español)	15 de noviembre de 2015 al 30 de junio de 2019
Salud	<a href="#">Proyecto de Control de la Enfermedad de Chagas Fase 2</a> (Inglés) <a href="#">Proyecto de Control de la Enfermedad de Chagas Fase 2</a> (español)	1 de marzo de 2008 al 28 de febrero de 2011
Gobernancia	<a href="#">Proyecto para la Consolidación de la Implementación del Nuevo Modelo Policial Basado en la Filosofía de Policía Comunitaria en la República de El Salvador</a> (Inglés) <a href="#">Proyecto para la Consolidación de la Implementación del Nuevo Modelo Policial Basado en la Filosofía de Policía Comunitaria en El Salvador</a> (Español)	2 de febrero de 2015 al 1 de febrero de 2020
Transporte	<a href="#">Proyecto de Desarrollo de Capacidades del Departamento de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica de Riesgos para el Fortalecimiento de la Infraestructura Pública, Fase II</a> (Inglés) <a href="#">Proyecto para el Fortalecimiento de las Capacidades de la Dirección de Adaptación al Cambio Climático y Gestión Estratégica del Riesgo para el Reforzamiento de la Infraestructura Pública, Fase II</a> (español)	9 de agosto de 2016 al 8 de agosto de 2021
Desarrollo del sector privado	<a href="#">El Proyecto de Fortalecimiento de Capacidades del Personal de Apoyo a las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas con Enfoque al Mejoramiento de la Administración, Calidad y Productividad Empresarial</a> , (Inglés) <a href="#">Proyecto para el Fortalecimiento de las Capacidades del Personal de Apoyo para MYPE, enfocándose en el mejoramiento de la Gestión Empresarial, la Calidad y Productividad</a> , (Español)	20 de diciembre de 2016 al 19 de diciembre de 2019
Desarrollo agrícola y rural	<a href="#">Proyecto de Fortalecimiento de Capacidades para el Desarrollo Local con el Enfoque de Mejoramiento de Vida en la Región Oriental</a> (Español)	17 de enero de 2018 al 16 de enero de 2023
Desarrollo agrícola y rural	<a href="#">Proyecto de mejora de la rentabilidad de los agricultores hortícolas en la Región Oriental de la República de El Salvador</a> (Inglés) <a href="#">Proyecto para la Mejora de la rentabilidad de productores de Hortalizas en la Región Oriental de la República de El Salvador</a> (español)	31 de mayo de 2014 al 30 de mayo de 2018
Conservación del medio ambiente natural	<a href="#">Proyecto para el Manejo Integrado de Humedales en las Lagunas de Olomega y El Jocotal</a> (Inglés) <a href="#">Proyecto para la Mejora de la rentabilidad de productores de Hortalizas en la Región Oriental de la República de El Salvador</a> (español)	18 de marzo de 2016 al 17 de marzo de 2021

Figura 4-4 Lista de proyectos desarrollados por el JICA a lo largo del 2008 al 2023 en El Salvador.



Figura 4-5 Infografía tomada de la revista oficial JICA del desarrollo de proyectos en la región y El Salvador.

#### 4.5.1.2 Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

Es el principal órgano de gestión de la Cooperación Española, orientada a la lucha contra la pobreza y al desarrollo humano sostenible. Según su Estatuto, la Agencia nace para fomentar el pleno ejercicio del desarrollo, concebido como derecho humano fundamental, siendo la lucha contra la pobreza parte del proceso de construcción de este derecho sostenible con apoyo loans-cash.net. Para ello sigue las directrices del V Plan director de la Cooperación Española, en consonancia con la agenda internacional marcada por los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y con atención a tres elementos transversales: la perspectiva de género, la calidad medioambiental y el respeto a la diversidad cultural.

La Oficina Técnica de Cooperación (OTC) de la AECID en El Salvador es el órgano de gestión, control y seguimiento de los proyectos y programas de cooperación oficial para el desarrollo que se ejecutan en nuestro país, en el marco de las competencias de la AECID. Asimismo, colabora con los programas y proyectos impulsados por las demás administraciones públicas.

La historia de los 29 años de la Cooperación Española en El Salvador es la historia de muchas personas, cuyo trabajo ha estado marcado por el apoyo a una sociedad equitativa e incluyente, una sostenibilidad en el Medio Ambiente y Cambio Climático y un Estado centrado en la ciudadanía. La Cooperación Española ha ido transformándose, aprendiendo lecciones y evolucionando junto con El Salvador; de los iniciales enfoques asistencialistas hasta transformarse en verdaderos socios, caminando hacia una cooperación más preocupada por la eficacia, los impactos y alineada con los programas de desarrollo de El Salvador, poniendo a las personas en el centro de su trabajo.

El AECID en nuestro país se ha enfocado en el desarrollo de ocho sectores estratégicos de la cooperación como se muestra en la *Figura 4-6*, los sectores de apoyos del AECID destacan:

- Agua y saneamiento
- Género
- Salud
- Desarrollo rural, seguridad alimentaria y nutrición
- Educación
- Gobernabilidad y estado de derecho
- Medio Ambiente y cambio climático
- Cultura y ciencia



Figura 4-6 Sectores de apoyo del AECID en El Salvador.

#### 4.5.1.3 Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

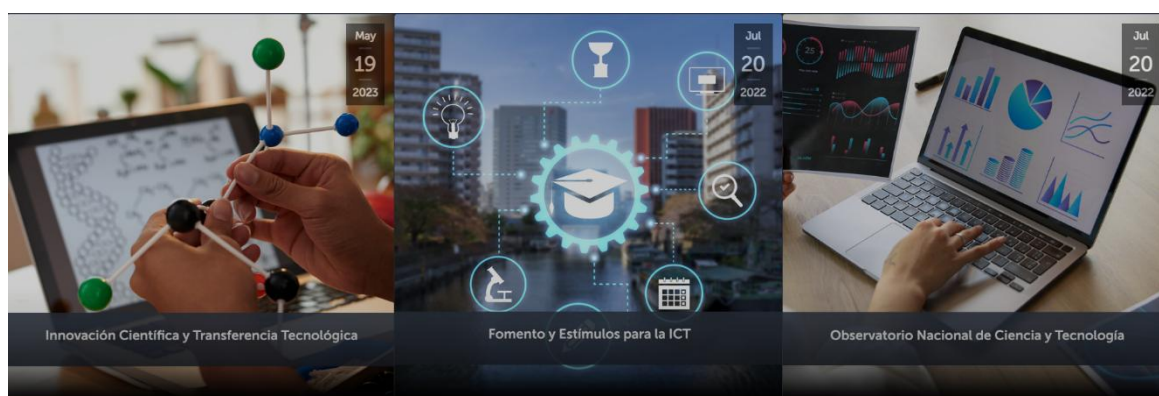
Es la entidad encargada de promover el desarrollo de la ciencia, la tecnología y la innovación en el país. Su misión incluye fomentar la investigación científica, apoyar la formación de recursos humanos en áreas tecnológicas y promover la vinculación entre el sector académico, la industria y el gobierno.

Entre sus funciones destacan:

- **Financiamiento:** Ofrece becas y fondos para proyectos de investigación y desarrollo tecnológico.
- **Políticas públicas:** Diseña y promueve políticas que fortalezcan el ecosistema científico y tecnológico.
- **Colaboración:** Establece alianzas con instituciones locales e internacionales para impulsar la investigación.
- **Difusión:** Promueve la divulgación científica y la cultura de la innovación en la sociedad.

Las principales áreas de apoyo se presentan en la *Figura 4-7* en las cuales se ve involucrado el CONACYT, y estas son:

- Innovación científica y transferencia tecnológica.
- Fomento y estímulo para la ICT.
- Observatorio nacional de ciencia y tecnología.



*Figura 4-7 Principales áreas de apoyo del CONACYT.*

La aplicación de fondos del CONACYT para el desarrollo del laboratorio representa una opción estratégica que puede potenciar significativamente sus capacidades investigativas. Dentro de los diversos programas de apoyo que ofrece esta entidad, el de "Fomento y Estímulo para la Innovación, Ciencia y Tecnología" (ICT) se destaca como el principal recurso disponible. El objetivo de este es incentivar la formación y especialización de recurso humano salvadoreño en ciencia, tecnología e innovación para que aporten con su conocimiento a la

solución de problemas económicos, sociales o ambientales y al desarrollo productivo del país en diversas áreas del conocimiento.

En específico se tiene la "Feria de Educación en Ciencia, Tecnología e Innovación, EUREKA 2023", cuyo objetivo es promover las vocaciones científicas, el interés por la ciencia y la tecnología, la creatividad e innovación en niños, niñas y jóvenes del país y la utilización del conocimiento científico y tecnológico para la propuesta de proyectos y acciones que den respuesta a desafíos locales, premiando la creatividad e innovación en el abordaje de estos desafíos; así como el fomento al desarrollo de habilidades de comunicación efectiva que presenten información científica y tecnológica de manera clara y concisa, que fomenten en el público receptor el interés por la ciencia y la tecnología.

#### *4.5.1.4 Agencia de Cooperación Internacional de Corea (KOICA).*

KOICA, la Agencia de Cooperación Internacional de Corea, es una organización gubernamental de Corea del Sur fundada en 1991. Se dedica a implementar proyectos que fortalecen la capacidad de América Latina y el Caribe, fomentando su prosperidad social y económica, y defendiendo los derechos universales apoyando a la sociedad civil. Considerados como mercados en crecimiento y socios importantes, los países de América Latina y el Caribe podrán construir una prosperidad compartida en toda la comunidad internacional.

En la *Figura 4-8* y *Figura 4-9* se presentan las páginas correspondientes a los proyectos de Centro y Sudamérica del Informe Anual de KOICA, 2022. Específicamente en El Salvador, KOICA brindó 2,424 millones de KRW (aproximadamente 1.743 millones USD) asignados para proyectos de asociación de país. Tomando como referencia estos proyectos exitosos y agradeciendo la oportunidad anual de financiamiento por parte de KOICA, podemos apelar a la oportunidad de que esta investigación se sume a dichos proyectos.

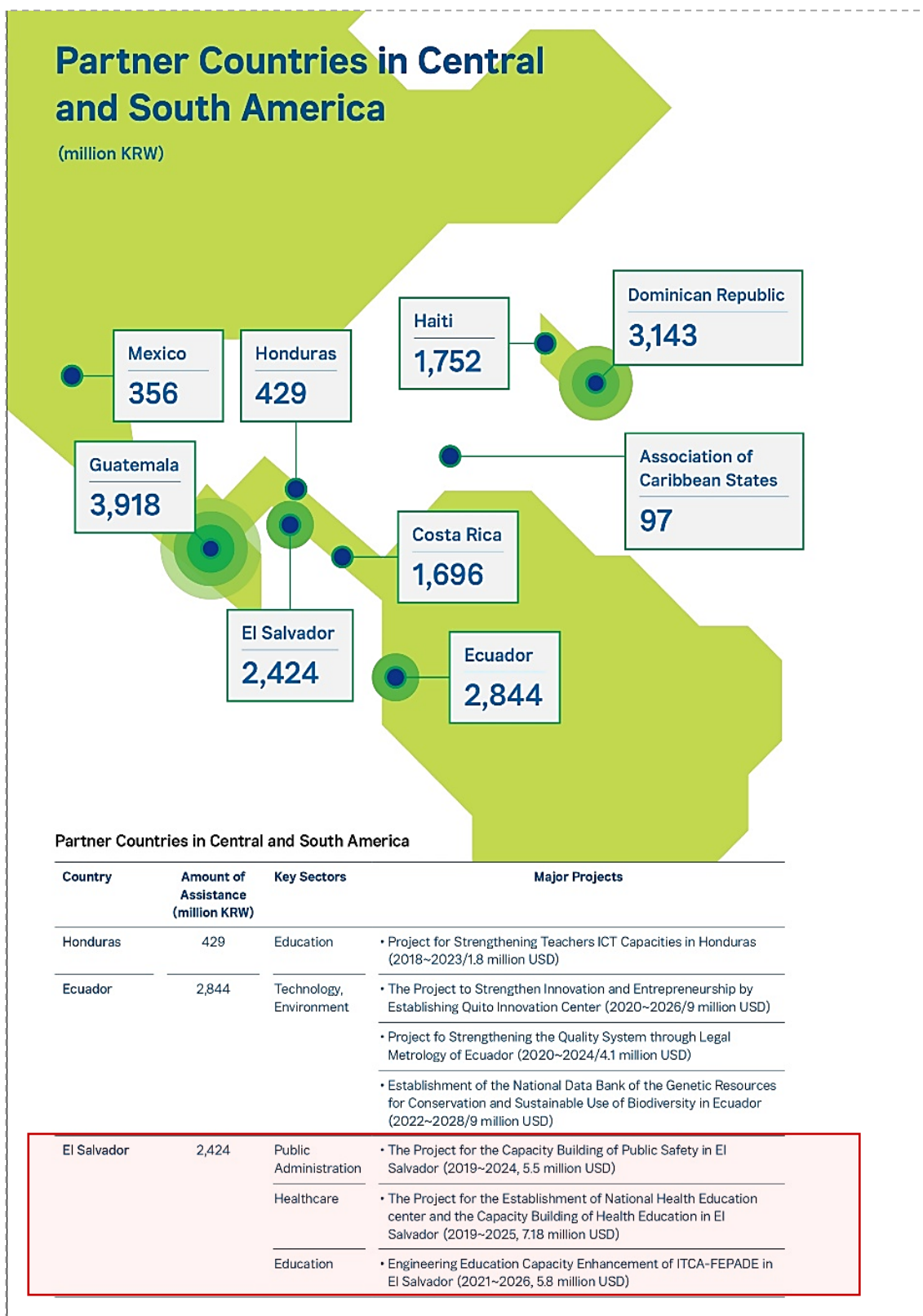


Figura 4-8. Mapa de monto total de financiamiento de KOICA a países aliados en la región Centro y Sur Americana. Fuente: Informe anual de KOICA (KOICA, 2022).

Country	Amount of Assistance (million KRW)	Key Sectors	Major Projects
El Salvador	2,424	Technology, Environment, and Energy Transport	<ul style="list-style-type: none"> <li>Development of Dynamic Micro and Small Enterprises for the Economy Reactivation of El Salvador (UNDP) (2021~24, 6.6 million USD)</li> <li>Urban Transportation Master Plan and Traffic Signal System Improvement in San Salvador, El Salvador (2021~2026/5.9 million USD)</li> </ul>
Guatemala	3,818	Agriculture, Forestry and Fishery  Public Administration	<ul style="list-style-type: none"> <li>Addressing climate change through climate smart interventions in forest and farm systems in Guatemala (2018~2023/7 million USD)</li> <li>Building livelihood resilience to climate change in the upper basins of Guatemala's highlands (2019~2025/5 million USD)</li> <li>Climate Resilience Strengthening Project for Vulnerable Rural Areas in Quiche, (2022~2026/7 million USD)</li> <li>Building Climate Resilience in Rural Communities of Central and Eastern Guatemala (GCF) (2021~2028/7 million USD)</li> <li>Transportation improvement master plan and the feasibility study of ring road for mitigating traffic congestion in Guatemala metropolitan area, Guatemala (2021~2025/9 million USD)</li> </ul>
Dominican Republic	3,143	Gender  Public Administration	<ul style="list-style-type: none"> <li>Prevention of teenage pregnancy and strengthening of the comprehensive health of adolescents in the Dominican Republic (phase III) (2018~2024/4.7 million USD)</li> <li>Project for Strengthening Capacities for the Empowerment of Women through Technical Training and Gender Mainstreaming (2020~2026/5.5 million USD)</li> <li>Project for promoting gender equality through prevention of child marriage/early unions and gender based violence in the Dominican Republic (2022~2025/3.8 million USD)</li> <li>National nature conservation area management capacity building project through digitalization and citizen participation (2023~2027/6 million USD)</li> </ul>
Association of Caribbean States	97	Technology, Environment, and Energy	<ul style="list-style-type: none"> <li>Project for 'The Association of Caribbean States project - Impact of climate change on the sandy shorelines of the Caribbean' (2017~2024/4 million USD)</li> </ul>
Costa Rica	1,696	Technology, Environment, and Energy Public Administration Agriculture, Forestry and Fishery	<ul style="list-style-type: none"> <li>The program for enhancing research partnership and entrepreneurship of University of Costa Rica (2019~2025/4.5 million USD)</li> <li>Strengthening service capability in legal metrology of the National Metrology Institute of Costa Rica (2020~2024/3 million USD)</li> <li>Korea and Costa Rica Triangular Cooperation Project for Bolstering the Capacity Building on the Horticulture Technology in the Dry Corridor (2022~2024/1.5 million USD)</li> </ul>
Haiti	1,752	Public Administration	<ul style="list-style-type: none"> <li>Empowerment of Disadvantaged Women: Microenterprise creation in poor areas of Port-Au-Prince (2018~2024/4.5 million USD)</li> <li>Sustainable solutions for the internally displaced persons (IDPs) in the locality of Lahaie, commune of Dame Marie, Grand Anse department (2017~2024/2.55 million USD)</li> <li>Improving Governance, Protection, and Economic Resilience of Communities Located at the Border between Haiti and the Dominican Republic (ICM) (2021~2024/3.924 million USD)</li> </ul>
Mexico	356	Public Administration	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trilateral Cooperation for Strengthening Sustainable Agroforestry and Forest Restoration Capacity to Climate Change in Central America: El Salvador, Guatemala and Honduras (GGGI) (2022~2024/1 million USD)</li> </ul>

Figura 4-9. Tabla de proyectos desarrollados por instituciones nacionales en colaboración con KOICA en El Salvador. Fuente: Informe anual de KOICA (KOICA, 2022).

Durante el análisis de las entidades de cooperación financiera en El Salvador, se ha identificado el Programa de Soluciones Tecnológicas Creativas de KOICA como la iniciativa más relevante. Este programa tiene como objetivo principal fomentar el desarrollo y la implementación de soluciones tecnológicas innovadoras, adecuadas para las necesidades del país.

En este apartado se describe en qué consiste el programa, sus términos de referencia, así como el desglose de la inversión inicial requerida y los costos de operación anuales para el establecimiento de un laboratorio de ensayo de materiales. Además, se incluye el formato de participación, que proporciona una guía para los procedimientos y requisitos que los solicitantes deben cumplir para ser considerados en el proceso de selección.

Este análisis es fundamental para comprender cómo la colaboración con KOICA puede fortalecer las capacidades tecnológicas en El Salvador, promoviendo la innovación y la transferencia de conocimientos.

#### 4.5.2 Programa de soluciones tecnológicas creativas (CTS).

KOICA ofrece una variedad de programas de financiamiento, cada uno diseñado para alcanzar objetivos específicos de desarrollo y cooperación. Estos programas están alineados con diferentes áreas prioritarias, como la educación, la salud, la infraestructura, la tecnología, y el desarrollo sostenible, entre otros. En el *Figura 4-10* se presentan los programas de financiamiento disponibles, destacando la rama de los programas de Innovación para el Desarrollo.

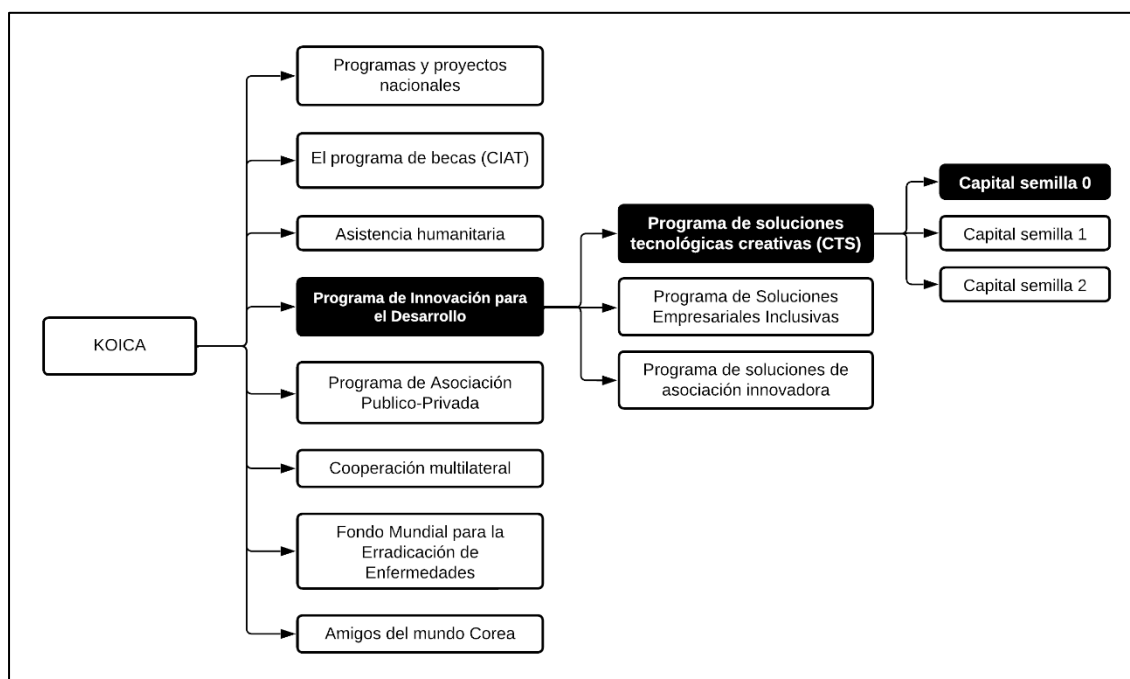


Figura 4-10. Programas de financiamiento hábiles en KOICA. Se destaca la rama de financiamiento a la que es viable su solicitud y probable su aprobación. Fuente: Información obtenida de la Página Web: [https://www.koica.go.kr/koica\\_en/3446/subview.do#n](https://www.koica.go.kr/koica_en/3446/subview.do#n)

En particular, el Programa de Soluciones Tecnológicas Creativas (CTS) brinda oportunidades de financiamiento de capital para instituciones en crecimiento que desarrollen proyectos basados en propuestas innovadoras para la solución de problemas de desarrollo. Se busca aplicar al Programa CTS con capital de semilla 0, considerando al Laboratorio como una nueva entidad de carácter social. Para ello, se debe cumplir con los términos de referencia que KOICA solicita y el procedimiento de promoción.

#### 4.5.2.1 Términos de referencia.

##### — Descripción general.

*“Creative Technology Solution (CTS) es un programa que aplica ideas innovadoras y tecnologías de última generación a proyectos de asistencia oficial para el desarrollo con el apoyo de empresarios potenciales, empresas emergentes e innovadores de emprendimientos sociales. Su objetivo es contribuir a la búsqueda de soluciones a tareas de desarrollo complejas y*

*también a mejorar la eficacia de diversos proyectos de desarrollo.” (KOICA, 2015).*

- Detalles específicos.

El programa de financiamiento ofrece diferentes niveles de apoyo adaptados a las necesidades de cada proyecto:

- Semilla 0: Este nivel proporciona apoyo para el desarrollo de empresas de nueva creación, incluyendo estudios locales.
  - Semilla 1: Este nivel financia proyectos de desarrollo tecnológico con un máximo de 300 millones de KRW (aproximadamente 215,858 USD).
  - Semilla 2: Este nivel apoya proyectos piloto innovadores con un financiamiento máximo de 500 millones de KRW (aproximadamente 359,763 USD).
- Procedimientos de promoción.

Para aplicar al beneficio, el solicitante debe cumplir con uno de los siguientes requisitos: ser un emprendedor potencial que, una vez seleccionado como socio de CTS, debe registrar su entidad corporativa antes de firmar un contrato; ser una empresa establecida con creación en los últimos 10 años; o ser una empresa social con carácter de corporación, cuyo mandato para solucionar problemas sociales específicos esté claramente estipulado en sus artículos de constitución, o poseer una certificación de empresa social. Además, el solicitante debe proponer un modelo de negocio tecnológico innovador que resuelva problemas de desarrollo. Solo entonces, KOICA proporcionara el capital inicial y redes de tutoría para verificar que el proyecto cuente con un modelo de negocio innovador. El objetivo del programa es desarrollar ideas y aplicar tecnologías que creen un impacto significativo en El Salvador (Ver *Figura 4-11*).

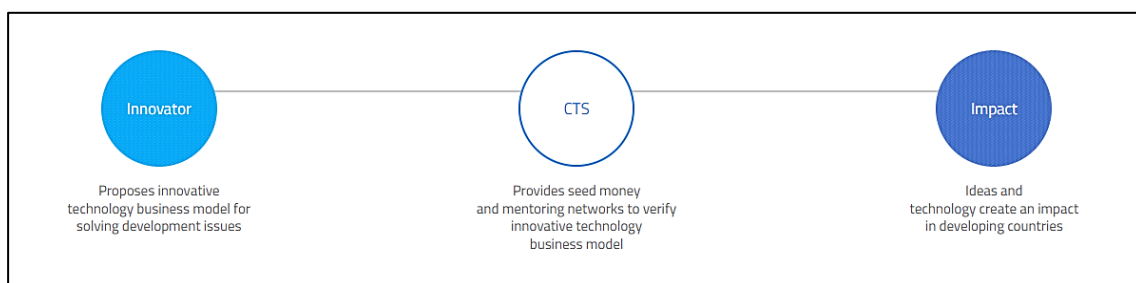




































Figura 4-11. Procedimiento de promoción del financiamiento del proyecto solicitante. Fuente: (KOICA, 2015).

#### 4.5.2.2 Inversión inicial del Laboratorio.

Para ser acreedor de la promoción de KOICA, es necesario completar los formatos específicos proporcionados por la organización. En el primer formato (Ver *Tabla 32*), se debe detallar minuciosamente el equipo necesario para desarrollar el proyecto, incluyendo una lista exhaustiva de todos los equipos técnicos y auxiliares, insumos e instalaciones requeridas. Además, se debe especificar el costo asociado a cada uno de estos elementos, proporcionando una estimación precisa del presupuesto total necesario para la implementación del proyecto. Este nivel de detalle es crucial para que KOICA pueda evaluar la viabilidad y la adecuación del proyecto dentro de sus programas de financiamiento, asegurando que los recursos solicitados se alineen con los objetivos y criterios de la promoción.

Tabla 32. Formato de la lista de equipos solicitados para financiamiento por parte del programa CTS de KOICA. Fuente: Programa de soluciones creativas (KOICA, 2015).

Equipment List										
University name:		UES								
Item No.	Equipment Name	Q'ty	Place of Purchase	Manufacturer	Model	Price(unit)	Usage scope	Pilot area	Strategic area where the equipment will be used	Remark(ex) picture)
1	3KN computer electronic control universal testing machine and accessories	1	Imported	HST	HST WDW-5E	\$8,000.00	General use	Industry-Academia Cooperation	Material Test	
2	Non-metallic 3-point bending accessory.	1	Imported	HST	WA504A	\$350.00	General use	Industry-Academia Cooperation	Flexure Test	
3	Large strain extensometer for electronic UTM.	1	Imported	HST	WA504A	\$900.00	General use	Industry-Academia Cooperation	Material Test	
4	3D Printer	1	Imported	MakerBot	900-0001A	\$4,380.00	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
5	3D Printer	2	Imported	SUNLU	S9 PLUS	\$663.72	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
6	open extruder	1	Imported	MakerBot	900-0054B	\$276.73	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
7	Nylon Coil	1	Imported	PolyMaker	PG05001	\$67.56	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
8	TPU Coil	1	Imported	Giantarm	BOC3TNZH2K	\$41.91	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
9	PLA Coil	4	Imported	PolyMaker	PA02019	\$20.19	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
10	ABS Coil	2	Imported	MakerBot	MP01970	\$88.50	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
11	PLA CF Coil	1	Imported	PLA Matte	11101A	\$38.51	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
12	ASA Coil	1	Imported	PolyMaker	PF01002	\$42.78	General use	Industry-Academia Cooperation	prototype development	
13	Digital measurement set	2	Imported	Insize	5022	\$122.75	General use	Industry-Academia Cooperation	Measurement	
14	Digital Vernier	1	Imported	Insize	1136-301	\$460.05	General use	Industry-Academia Cooperation	Measurement	
15	locker cabinet	1	Local	El Salvador Tecnologia	00-49	\$679.00	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
16	Prototyping area desks	2	Local	ConstruMarket	SM001427	\$80.63	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
17	Trapezoidal work table	2	Local	ConstruMarket	-	\$205.00	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
18	Individual banking	1	Local	ConstruMarket	YCX-311BLACK	\$133.00	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
19	glass door wardrobe	1	Local	El Salvador Tecnologia	-	\$268.00	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
20	Job Desktop	1	2	Freund	608393	\$124.95	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
21	Desk Chair	2	Local	EPA	SV-0926053	\$199.00	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
22	cabinet pedestal	1	Local	ConstruMarket	T-F28GREY	\$110.62	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	

Item No.	Equipment Name	Q'ty	Place of Purchase	Manufacturer	Model	Price(unit)	Usage scope	Pilot area	Strategic area where the equipment will be used	Remark(ex) picture
23	Laptop	1	Local	Zona Digital	197105206755	\$899.00	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
24	Monitor	1	Local	Zona Digital	6934177745393	\$329.00	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
25	CPU	1	Local	Zona Digital	QUITASED5600G	\$433.75	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
26	Keyboard and Mouse	1	Local	Zona Digital	884116431657	\$19.95	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
27	Printer	2	Local	Office Depot	36318	\$189.00	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
28	Sketch Board	1	Local	Freund	3496940	\$24.90	General use	Industry-Academia Cooperation	furniture and auxiliary equipment	
29	40W LED Panel	10	Local	Vidri	p23784	\$36.95	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
30	Triple switch	1	Local	Vidri	8005W	\$8.50	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
31	Air Conditioner	2	Local	Vidri	GP - S24000INV	\$830.00	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
32	Single phase outlet	5	Local	Vidri	1009-AW	\$1.95	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
33	Single-phase outlet with USB charging port	1	Local	Vidri	AF2330EB	\$22.95	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
34	Two-phase outlet	1	Local	Freund	8458030	\$3.65	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
35	Three-wire socket plate	1	Local	Freund	6183030	\$1.30	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
36	Thermal die 15 A / 1 P	1	Local	Vidri	THQL1115	\$6.95	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
37	Thermal die 20 A / 1 P	1	Local	Vidri	THQL1120	\$6.95	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
38	Thermal die 40 A / 2 P	1	Local	Vidri	Q240	\$16.50	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	
39	Thermal die 50 A / 2 P	2	Local	Vidri	Q250	\$16.50	General use	Industry-Academia Cooperation	Electrical installation	

#### 4.5.2.3 Costos de operación del Laboratorio.

La implementación del Laboratorio requerirá una inversión significativa, no solo para su establecimiento, sino también para su operación. Para asegurar un funcionamiento óptimo, se ha realizado un estimado de los costos operativos necesarios, que incluyen: costos de personal, materiales y suministros, certificación y cumplimiento normativo e investigación y desarrollo.

#### 4.5.2.3.1 Costos del personal.

Incluyen salarios y beneficios para el personal técnico y administrativo, necesarios para el funcionamiento del Laboratorio, asegurando la presencia de personal. Debido a que no se contempla el costo para capacitación del personal, previo a la ocupación del puesto. A continuación, se establecen los perfiles que deben cumplir las personas aplicantes al puesto técnico y administrativo:

##### *4.5.2.3.1.1 Perfil del Coordinador Jefe del Laboratorio:*

- Formación académica: Título universitario en Ingeniería Mecánica, Ingeniería Industrial o carreras afines.
- Experiencia profesional: Al menos 1 año de experiencia en Laboratorio de ensayo de materiales. Experiencia demostrable en desarrollo de proyectos con software de diseño e impresión 3D y manejo de archivos con extensión *cad*, *amf* y *stl*.
- Habilidades técnicas: Conocimientos avanzados en las normas de ensayos de tensión (ASTM D638 e ISO 527) y flexión (ASTM D790 e ISO 178) de materiales poliméricos, la operación de equipos de ensayo, análisis de datos, y software especializado para la caracterización de materiales.
- Habilidades blandas: Capacidad de liderazgo, habilidades de comunicación y trabajo en equipo, y experiencia en la gestión de proyectos.
- Certificaciones: Deseable tener certificaciones en el área de ensayos de materiales y gestión de calidad (ISO 9001:2015 y/o ISO 17025:2017).

##### *4.5.2.3.1.2 Perfil del Auxiliar Administrativo del Laboratorio:*

- Formación académica: Estudiante de tercer año o superior de Licenciatura en Administración de Empresas, Contabilidad, o carreras afines.
- Experiencia Profesional: Al menos 1 año de experiencia en funciones administrativas, preferentemente en entornos académicos o de investigación.
- Habilidades administrativas: Conocimientos en gestión de inventarios, manejo de presupuestos, y organización de documentos. Competencia en el uso de software de gestión y herramientas de oficina.

- Habilidades blandas: Habilidades de organización, atención al detalle, y capacidad para manejar múltiples tareas simultáneamente.
- Certificaciones: No se requieren certificaciones.

#### 4.5.2.3.2 Costos de materiales y suministros.

Estos son los costos destinados a suplir insumos como herramientas y consumibles esenciales para realizar las pruebas en el Laboratorio. Además de productos y artículos de limpieza para mantener limpio el Laboratorio.

#### 4.5.2.3.3 Costos de certificación y cumplimiento normativo.

Estos costos están relacionados con la obtención de certificaciones de instrumentos y el cumplimiento de las normativas necesarias para que el Laboratorio opere bajo estándares de calidad, de acuerdo con las tarifas establecidas por el OSA (Organismo Salvadoreño de Acreditación).

##### 4.5.2.3.3.1 Tarifa por servicio de certificación de instrumentos.

Los instrumentos empleados para la toma de datos de las dimensiones de las probetas deben estar debidamente calibrado y contar con su respectivo certificado. Dicho certificado es emitido por el Centro de Investigaciones y su costo está establecido en el Diario Oficial publicado el 16 de mayo de 2022. En la *Tabla 33* se presentan las tarifas por la certificación de Micrómetro y Pie de Rey respectivamente.

*Tabla 33. Tabla de tarifas impuestas por el CIM para la certificación de instrumentos de metrología dimensional. Fuente: El Diario Oficial de la fecha 16 de mayo del 2022, Sección de certificación de instrumentos y equipos de Laboratorios, (Organismo Salvadoreño de Acreditación, 2022).*

DESCRIPCIÓN		PRECIOS US\$
5.	METROLOGÍA DIMENSIONAL	
	▪ Micrómetros	\$ 40.00
	▪ Pie de Rey	\$ 40.00
	• Cintas graduadas hasta 2,5 m	\$ 50.00
	• Reglas graduadas hasta 1 m	\$ 50.00
	• Indicadores de Reloj	\$ 40.00
	• Bloques patrón (cada bloque)	\$ 5.00

#### 4.5.2.3.3.2 Tarifa por servicio de acreditación normativa.

Para que los ensayos realizados por el Laboratorio tengan validez, cumplan con las normativas y generen confianza, la entidad debe estar debidamente acreditada ante el OSA. El costo por la acreditación de un Laboratorio de ensayos (independiente del rubro) está establecido en el Diario Oficial publicado el 16 de mayo de 2022. En la *Tabla 34* se identifica la tarifa por la evaluación inicial para la acreditación del Laboratorio y la tarifa por evaluación de vigilancia para asegurar que este siga cumpliendo los requisitos de acreditación durante su operación.

*Tabla 34. Tabla de tarifas impuestas por el OSA para la certificación de instrumentos de metrología dimensional. Fuente: El Diario Oficial de la fecha 16 de mayo del 2022, Sección de servicio de acreditación de Laboratorios de ensayo, (Organismo Salvadoreño de Acreditación, 2022).*

No. de Ensayos/Análisis/ Procedimientos	PRECIO US\$		
	Evaluación Inicial o Reevaluación	Evaluación de vigilancia	Ampliación
1 a 2	\$1,247.52	\$748.51	\$467.82
3	\$1,247.52	\$748.51	\$701.73
4	\$1,247.52	\$748.51	\$935.64
5	\$1,559.40	\$935.64	\$1,169.55
6	\$1,839.64	\$1,103.78	\$1,379.73
7	\$2,135.70	\$1,281.42	\$1,601.78
8	\$2,430.63	\$1,458.38	\$1,822.97
9	\$2,728.95	\$1,637.37	\$2,046.71
10	\$3,025.01	\$1,815.01	\$2,268.76
11	\$3,321.07	\$1,328.43	\$2,158.70
12	\$3,617.13	\$1,446.85	\$2,351.13

#### 4.5.2.3.4 Costos de investigación.


Este costo está destinado a cubrir consumibles especiales para proyectos, nuevos accesorios para proyectos especiales y otros equipos auxiliares.

#### 4.5.2.3.5 Costos actualización de Software.

Este costo está destinado a la adquisición de un software más avanzado que permita el procesamiento de datos y gráficos en tiempo real, según se necesite.

Los costos operativos se desglosan anualmente, de acuerdo a los requerimientos de KOICA, para proporcionar una visión clara de los recursos necesarios (Ver *Tabla 35*). Los costos de operación ascienden a un monto total de \$30,966.05.

*Tabla 35. Costos de operación anuales solicitados para financiamiento por parte del programa CTS de KOICA. Fuente: Programa de soluciones creativas (KOICA, 2015).*

Costos de operación del Laboratorio (anual)						
No.	Descripción	Detalle	Cant.	Costo unitario	Periodo x Año	Costo x Año
1	Costos de Personal	Salario del Jefe técnico del Laboratorio.	1.00	\$ 1,500.00	12.00	\$ 18,000.00
		Salario del Auxiliar administrativo del Laboratorio	1.00	\$ 600.00	12.00	\$ 7,200.00
2	Materiales y Suministros	Suministros de Laboratorio (herramientas, consumibles, etc.).	1.00	\$ 100.00	12.00	\$ 1,200.00
		Productos de limpieza y de mantenimiento de equipos.	1.00	\$ 100.00	1.00	\$ 100.00
3	Costos de Certificación y Cumplimiento Normativo	Certificación de calibración de Instrumentos (Micrometro y Pie de Rey).	2.00	\$ 40.00	1.00	\$ 80.00
		Certificación de calibración de la celula de carga (5 kN)	1.00	\$ 890.00	1.00	\$ 890.00
		Acreditación normativa del Laboratorio de ensayos, Evaluación inicial para 1 a 2 tipos de ensayos.	1.00	\$ 1,247.52	1.00	\$ 1,247.52
		Acreditación normativa del Laboratorio de ensayos, Evaluación de vigilancia para 1 a 2 tipos de ensayos.	1.00	\$ 748.51	1.00	\$ 748.51
4	Costos de Investigación	Adquisición de consumibles, accesorios y otros equipos auxiliares.	1.00	\$ 1,000.00	1.00	\$ 1,000.00
5	Actualización de Software	Actualización de software especializado para el análisis de datos y control de equipos.*	1.00	\$ 500.00	1.00	\$ 500.00
6		Total				\$ 30,966.03

\* El costo por actualización de Software es una inversión prescindible debido a que HST incluye en su equipo el Software base (MaxIni.exe).

#### 4.5.2.4 Formato de solicitud.

Para postularse a la promoción del programa CTS ofrecido por KOICA, es necesario completar y enviar el formato detallado en la *Tabla 36* dentro del plazo establecido. Este formato debe incluir información específica del proyecto y demostrar cómo se alinea con los intereses y objetivos de KOICA. Si el proyecto cumple con los criterios y es seleccionado, se procederá a implementar un plan de acción, cuya ejecución no forma parte del alcance de esta investigación.

Tabla 36. Formato de detalle de aplicación para financiamiento del programa CTS por KOICA. Fuente: Programa de soluciones creativas (KOICA, 2015).

Financiamiento																	
Detalle del formulario de financiamiento																	
<b>Título del Proyecto:</b>	LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES IMPRESOS POR MANUFACTURA ADITIVA.																
<b>Descripción:</b>	<p>El trabajo consiste en desarrollar una propuesta de diseño de un Laboratorio y selección del equipo básico para realizar ensayos destructivos en probetas de materiales impresos mediante manufactura aditiva (impresión 3D).</p> <p>El tema aborda factores como la determinación de los principales ensayos a aplicar a los materiales impresos por manufactura aditiva, definir el equipamiento básico considerando lo estipulado en la normativa vigente y aplicable a este campo. Asimismo, la selección del equipo se realizará mediante una estricta evaluación en dos filtros. El primer filtro se basa en la selección de equipos en el mercado, según criterios como: tipo de ensayo a realizar, el material que se va a ensayar y geometría de la muestra a ensayar. El segundo filtro discriminará los equipos seleccionados según su funcionamiento, componentes, rango de cargas aplicables en el ensayo, variables de control, precisión y exactitud de los resultados, y disponibilidad de repuestos. Asimismo, se detallarán los procedimientos estandarizados para realizar los ensayos de manera precisa y confiable, garantizando la repetibilidad y comparabilidad de resultados.</p> <p>Se considera que la investigación tiene un enfoque académico y se atiene a las "Normas Técnicas y Administrativas del Consejo de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador".</p>																
<b>Monto en USD anual del proyecto:</b>	\$30,966.03																
<b>Período de duración del proyecto, ejemplo 2025-2026</b>	2024 - 2027																
<b>Lista de Beneficiarios esperados del proyecto</b>	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;">1. Estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.</td> <td>Acceso a equipos avanzados para la realización de prácticas y proyectos de investigación. Mejora en la comprensión y habilidades en manufactura aditiva y ensayos de materiales.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">2. Profesores e Investigadores.</td> <td>Oportunidad de desarrollar nuevas líneas de investigación en el campo de la manufactura aditiva. Acceso a recursos y equipos para publicaciones y proyectos de investigación avanzados.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">3. Universidad de El Salvador.</td> <td>Aumento en la capacidad de investigación y desarrollo. Mejora en la reputación y atractivo de la universidad como institución líder en tecnología y ciencias aplicadas.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">4. Estudiantes de Postgrado.</td> <td>Facilidades para realizar investigaciones avanzadas y desarrollar tesis relacionadas con la manufactura aditiva.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">5. Industria Local y Regional</td> <td>Colaboración con la universidad para la realización de ensayos y desarrollo de nuevos materiales y productos. Acceso a tecnología y conocimientos avanzados que pueden aplicarse para mejorar procesos de manufactura.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">6. Sociedad en General</td> <td>Beneficio indirecto mediante la aplicación de nuevas tecnologías y materiales desarrollados en el laboratorio en productos de uso cotidiano y en el sector industrial. Promoción del desarrollo tecnológico y la innovación en el país.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">7. Gobierno y Entidades Financiadoras</td> <td>Resultados tangibles de inversiones en educación e investigación científica. Promoción del desarrollo económico y tecnológico en la región.</td> </tr> <tr> <td style="vertical-align: top;">8. Otras Universidades y Centros de Investigación.</td> <td>Posibilidad de colaboración en proyectos conjuntos y acceso a los resultados de investigaciones realizadas en el laboratorio.</td> </tr> </table>	1. Estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.	Acceso a equipos avanzados para la realización de prácticas y proyectos de investigación. Mejora en la comprensión y habilidades en manufactura aditiva y ensayos de materiales.	2. Profesores e Investigadores.	Oportunidad de desarrollar nuevas líneas de investigación en el campo de la manufactura aditiva. Acceso a recursos y equipos para publicaciones y proyectos de investigación avanzados.	3. Universidad de El Salvador.	Aumento en la capacidad de investigación y desarrollo. Mejora en la reputación y atractivo de la universidad como institución líder en tecnología y ciencias aplicadas.	4. Estudiantes de Postgrado.	Facilidades para realizar investigaciones avanzadas y desarrollar tesis relacionadas con la manufactura aditiva.	5. Industria Local y Regional	Colaboración con la universidad para la realización de ensayos y desarrollo de nuevos materiales y productos. Acceso a tecnología y conocimientos avanzados que pueden aplicarse para mejorar procesos de manufactura.	6. Sociedad en General	Beneficio indirecto mediante la aplicación de nuevas tecnologías y materiales desarrollados en el laboratorio en productos de uso cotidiano y en el sector industrial. Promoción del desarrollo tecnológico y la innovación en el país.	7. Gobierno y Entidades Financiadoras	Resultados tangibles de inversiones en educación e investigación científica. Promoción del desarrollo económico y tecnológico en la región.	8. Otras Universidades y Centros de Investigación.	Posibilidad de colaboración en proyectos conjuntos y acceso a los resultados de investigaciones realizadas en el laboratorio.
1. Estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.	Acceso a equipos avanzados para la realización de prácticas y proyectos de investigación. Mejora en la comprensión y habilidades en manufactura aditiva y ensayos de materiales.																
2. Profesores e Investigadores.	Oportunidad de desarrollar nuevas líneas de investigación en el campo de la manufactura aditiva. Acceso a recursos y equipos para publicaciones y proyectos de investigación avanzados.																
3. Universidad de El Salvador.	Aumento en la capacidad de investigación y desarrollo. Mejora en la reputación y atractivo de la universidad como institución líder en tecnología y ciencias aplicadas.																
4. Estudiantes de Postgrado.	Facilidades para realizar investigaciones avanzadas y desarrollar tesis relacionadas con la manufactura aditiva.																
5. Industria Local y Regional	Colaboración con la universidad para la realización de ensayos y desarrollo de nuevos materiales y productos. Acceso a tecnología y conocimientos avanzados que pueden aplicarse para mejorar procesos de manufactura.																
6. Sociedad en General	Beneficio indirecto mediante la aplicación de nuevas tecnologías y materiales desarrollados en el laboratorio en productos de uso cotidiano y en el sector industrial. Promoción del desarrollo tecnológico y la innovación en el país.																
7. Gobierno y Entidades Financiadoras	Resultados tangibles de inversiones en educación e investigación científica. Promoción del desarrollo económico y tecnológico en la región.																
8. Otras Universidades y Centros de Investigación.	Posibilidad de colaboración en proyectos conjuntos y acceso a los resultados de investigaciones realizadas en el laboratorio.																
<b>Objetivos del proyecto</b>	<p>o Proponer el diseño de un Laboratorio y seleccionar el equipo básico para la caracterización de materiales impresos por manufactura aditiva.</p> <p>o Identificar y adquirir máquinas y herramientas necesarias para realizar pruebas de tensión y flexión en materiales aditivos, garantizando resultados precisos y repetibles.</p> <p>o Capacitar a estudiantes y personal en el uso de tecnologías de manufactura aditiva y técnicas de ensayo, fomentando la innovación y la investigación aplicada en la Universidad de El Salvador.</p>																
<b>Presupuesto</b>	\$27,070.61																

## **Capítulo 5. Documentación.**

### 5.1 Manual del usuario.

Este manual de usuario ha sido elaborado para proporcionar una guía completa sobre la operación, mantenimiento y seguridad de la UTM. En sus páginas, se ofrece una descripción detallada de la apariencia del equipo y sus especificaciones técnicas, permitiendo a los usuarios familiarizarse con cada componente de la UTM. La guía abarca desde la instalación y ajuste inicial, incluyendo la conexión a la alimentación eléctrica, hasta los procedimientos para encender y apagar el equipo de manera segura. También se aborda la instalación de equipos misceláneos que complementan el funcionamiento de la UTM. Además, se incluyen secciones detalladas sobre procedimientos de mantenimiento preventivo, diseñados para identificar y solucionar problemas antes de que afecten la operación del equipo, y medidas de seguridad, esenciales para garantizar que todas las operaciones se realicen en un entorno seguro. Para finalizar el manual contiene algunas recomendaciones para que los usuarios puedan operar la UTM de manera eficiente y segura, maximizando su rendimiento y prolongando su vida útil.

MANUAL DEL USUARIO			
	Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	Versión: 001
		Elaborado por: RA17023, RC15077	Efectivo desde:
			Página: 2/12

#### Historial de Cambios.

Versión	Efectividad	Autor	Descripción del cambio
001	Efectivo desde:	Jefe del Laboratorio	Versión inicial del documento.

Rol	Aprobación / Fecha
Jefe del Laboratorio	

#### Contenido:

1. *Introducción.*
  - 1.1 Prologo.
2. *Generalidades del equipo.*
  - 2.1 Apariencia del modelo: WDW-5E.
  - 2.2 Aplicación principal.
  - 2.3 Resumen.
3. *Especificaciones técnicas.*
  - 3.1 Equipamiento básico de la UTM.
  - 3.2 Parámetros técnicos de la UTM.
  - 3.3 Condiciones de trabajo.
4. *Instalación y ajuste.*
  - 4.1 Instalación de la unidad principal.
  - 4.2 Instalación de la computadora y de la impresora.
5. *Conexión eléctrica.*
  - 5.1 Instalación de las líneas de suministro eléctrico.
  - 5.2 Ajuste de nivel del banco de trabajo.
6. *Encendido y Apagado del equipo.*
  - 6.1 Encendido.
  - 6.2 Apagado.
7. *Equipos misceláneos.*
8. *Montaje y desmontaje de equipos misceláneos.*
  - 8.1 Instalación y desmontaje de auxiliares de tracción.
  - 8.2 Instalación y desmontaje de auxiliares de flexión.
9. *Operación del equipo.*
  - 9.1 Instrucciones para operar el equipo (Tomando como referencia el ensayo de tracción).
  - 9.2 Precauciones para operar el equipo.

- 9.3 Seguridad.
10. *Actividades de mantenimiento.*
  - 10.1 Mantenimiento preventivo.
  - 10.2 Mantenimiento correctivo.
  - 10.3 Fallas comunes.
11. *Recomendaciones.*

#### 1. Introducción.

##### 1.1 Prologo.

El manual de usuario proporciona una guía sobre el funcionamiento y el mantenimiento de la máquina de ensayos de materiales WDW-5E. Esta máquina está especialmente diseñada para llevar a cabo pruebas en materiales poliméricos, permitiendo a los usuarios obtener resultados precisos y confiables en sus análisis.

En este manual, se encuentra información sobre cada aspecto relevante para el uso eficiente de la máquina. Comienza con las instrucciones de instalación, donde se describen los pasos necesarios para ubicar y configurar adecuadamente la máquina en su entorno de trabajo.

Luego, se aborda el proceso de encendido y apagado de la máquina, asegurando que se realice de manera segura y eficiente para garantizar un rendimiento óptimo. Se incluyen también las pautas para el suministro eléctrico adecuado, destacando la importancia de seguir las normas de seguridad eléctrica en todo momento.

El manual detalla los accesorios compatibles con la máquina, proporcionando información sobre su uso correcto y cómo pueden mejorar y ampliar las capacidades de ensayo de materiales.

<b>MANUAL DEL USUARIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

El manual de usuario aborda el mantenimiento preventivo, donde se explican las rutinas recomendadas para mantener la máquina en óptimas condiciones de funcionamiento. Esto incluye tareas como la limpieza regular, la lubricación de partes móviles y la verificación de componentes clave.

Además, se dedica una sección completa a las posibles fallas que la máquina puede experimentar durante su uso. Se describen los síntomas de estas fallas y se proporcionan instrucciones sobre las acciones correctivas que se deben tomar. Las recomendaciones están diseñadas para minimizar el tiempo de inactividad y asegurar la continuidad de las operaciones de ensayo.

## 2. Generalidades del equipo.

### 2.1 Apariencia del modelo: WDW-5E.

La unidad principal está diseñada con una estructura de puerta de columna de doble tornillo, con dos espacios de prueba: uno superior para pruebas de compresión y otro inferior para pruebas de tracción. Durante la calibración de la fuerza de prueba, se recomienda colocar el dinamómetro estándar entre el travesaño central y el travesaño superior (ubicado en el espacio inferior). La parte de visualización y control de la computadora se encuentra a la izquierda de la unidad principal, caracterizada por una estructura elegante y fácil de usar. Esto se muestra claramente en la Figura 1.

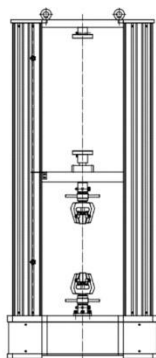


Figura 1. Aspecto del equipo principal.

### 2.2 Aplicación principal.

La máquina es ampliamente utilizada para realizar pruebas de propiedades mecánicas como tracción, compresión, flexión y otras, tanto en materiales metálicos como no metálicos. Se aplica en supervisión de calidad, enseñanza e investigación, industria aeroespacial, industria del hierro y acero, industria automotriz, plástico y caucho, materiales textiles, universidades, instituciones de investigación y otros campos.

### 2.3 Resumen.

La máquina (Ver Figura 2) emplea un motor de alta precisión, ya sea paso a paso o de control de servo CA, junto con un sistema de regulación de velocidad, como su mecanismo de accionamiento. Utiliza un sistema de reducción de correa (o rueda) sincrónica en arco y, tras el sistema de desaceleración, el motor impulsa el conjunto de tornillo de bola de precisión para la carga. La parte eléctrica incluye el sistema de medición de carga (fuerza) y el sistema de medición de desplazamiento. Todos los parámetros de control y los resultados de las pruebas se muestran en tiempo real en la pantalla de la computadora. Puede calcular parámetros como el módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción, la elongación de extrusión, entre otros. Además, cuenta con una función de protección contra sobrecargas.

MANUAL DEL USUARIO		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

### 3. Especificaciones técnicas.

#### 3.1 Equipamiento básico de la UTM.



Figura 2. Partes principales de la UTM.

Tabla 2. Descripción de las partes de la UTM.

#### Máquina de ensayos (UTM) WDW-5E

##### 1. Bastidor de carga.

La máquina de ensayo WDW-5E posee una configuración de dos columnas.

##### 2. Célula de carga.

La célula de carga es un transductor que mide la fuerza aplicada a la muestra de prueba. La célula de carga de la UTM WDW-5E tiene una precisión de hasta 1/500000.

##### 3. Software.

El software de prueba es donde los operadores configuran los métodos de pruebas y los resultados de salida. (ver manual de software)

##### 4. Mordazas y utilajes.

Las mordazas a utilizar son las accionadas por cuña de agarre extensible.

##### 5. Espacio para medición de la deformación.

Este espacio está diseñado para la colocación del extensómetro de medición modelo WA504A, mide elongaciones de especímenes cuya deformación supera el 50%.

#### 3.2 Parámetros técnicos de la UTM.

Tabla 1. Parámetros técnicos del equipo.

Modelo	HST WDW-5E
Capacidad de Carga	5 kN
Estándar de calibración	Clase 0.5 de acuerdo a la ISO 7500-1 satisface ASTM E-4
Prueba de presión de carga	±0.5%
Rango de carga de prueba	0.4%» 100% FS
Resolución de carga	1/500000 FS
Rango de medición de deformación	0.2%» 100% FS
Precisión de deformación	±0.5%
Resolución de deformación	1/500000 A máxima deformación
Modo de control de prueba	Tres controles de circuito cerrado: tensión, deformación y desplazamiento
Precisión de desplazamiento	Dentro ±0.5% del valor
Resolución de desplazamiento	0.04 µm
Parámetros de control	
Rango de control de fuerza constante	0.001%»5% FS/s
Precisión de control de fuerza constante	cuando la tasa es <0.05% FS/s, dentro del ±2% del valor establecido; cuando la tasa es ≥0.05% dentro del ±0.5% del valor establecido
Rango de control de deformación constante	0.005»5% FS/s
Precisión de control de deformación constante	cuando la tasa es <0.05% FS/s, dentro del ±2% del valor establecido; cuando la tasa es ≥0.05% dentro del ±0.5% del valor establecido
Rango de velocidad de la cruceta	0.001» 1000 mm/min
Precisión de la velocidad de la cruceta	Dentro ±0.5% del valor
Parámetros de computadora central	
Espacio de prueba (recorrido de la cruceta)	1100 mm
Espacio máximo de prueba a la tensión	770 mm

## MANUAL DEL USUARIO

	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.		
	Versión: 001	Efectivo desde:	Página: 5/12

Modelo	HST WDW-5E
Ancho de prueba	450 mm
Dimensiones generales	850 mm X 550 mm X 1824 mm
Peso	aprox. 420 Kg
Fuente de alimentación	220 V 1Ph 50/60 Hz

### 3.3 Condiciones de trabajo.

- Se requiere una temperatura ambiente entre 10 °C y 35 °C, con una humedad relativa no superior al 80%.
- La máquina debe ubicarse sobre una base o mesa de trabajo estable.
- Es necesario un entorno libre de vibraciones.
- No debe haber sustancias corrosivas en las cercanías.
- El voltaje de alimentación no debe variar más allá del  $\pm 10\%$  del voltaje nominal.
- La máquina debe estar correctamente conectada a tierra y las fluctuaciones de frecuencia no deben exceder el 2% de la frecuencia nominal.

### 4. Instalación y ajuste.

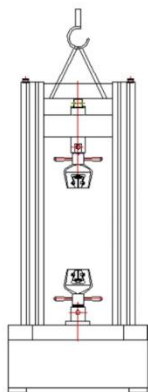


Figura 3. Esquema del montaje de la UTM.

Los componentes de la máquina de ensayo, la caja de herramientas y otros elementos se encuentran

cuidadosamente embalados en la caja de transporte. Antes de proceder a abrir el embalaje, es necesario verificar que el exterior se encuentre en condiciones óptimas. Durante el proceso de desembalaje, se recomienda retirar primero los documentos técnicos y luego inspeccionar cada componente para garantizar su buen estado. Finalmente, se debe comparar el contenido con la lista de empaque para asegurar que no falte ninguna pieza.

#### 4.1 Instalación de la unidad principal.

Según la *Figura 3*, se debe elevar la unidad principal y colocarla en la posición de instalación. Tomando las siguientes precauciones:

- La posición de instalación debe ser sólida y plana, no requiere cimentación.
- Prestar atención de no golpear la superficie de la máquina en la instalación o de rayar la capa de barniz por la colisión de metales.
- La altura del espacio no debe ser inferior a 2500 mm.

#### 4.2 Instalación de la computadora y de la impresora.

- Verificar la integridad de los componentes del PC, del monitor y de la impresora.
- Seguir las instrucciones de instalación para colocar el monitor en el centro del escritorio y el PC en su carcasa.
- Seguir las instrucciones de instalación para colocar la impresora en el lado derecho de la mesa.
- Realizar una conexión adecuada de la línea de energía del computador y la línea de señal de datos.

### 5. Conexión eléctrica.

El equipo cuenta con componentes eléctricos que incluyen el sistema de control de velocidad y el sistema de medición en pantalla. Utiliza un motor paso a paso de alta precisión o un sistema de control de velocidad con servomotor de CA. Este sistema regula la rotación y la precisión de la velocidad del motor, tanto en sentido positivo como negativo, a

<b>MANUAL DEL USUARIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 6/12

través del sistema de control de velocidad. El sistema de medición de carga está compuesto por un sensor de carga de alta precisión, un amplificador de medición, un convertidor A/D y una fuente de alimentación regulada. Por otro lado, el sistema de medición de desplazamiento se compone de un codificador fotoeléctrico, un circuito de conformación de onda de ancho de pulso, un circuito de multiplicación de frecuencia y un circuito de conteo. El controlador se conecta directamente a la ranura de la computadora, permitiendo visualizar en tiempo real todos los parámetros de control y los resultados de las pruebas en la pantalla de la computadora.

#### 5.1 Instalación de las líneas de suministro eléctrico.

De acuerdo a los diagramas eléctricos proporcionados por HST. Se debe:

- Contar con una conexión adecuada de la línea de alimentación y la línea de señal de datos de la computadora.
- El sistema de suministro de energía de la máquina de prueba es de dos fases 220V. El host de la computadora debe tener una línea de tierra confiable (220V/2Ph/60Hz).

#### 5.2 Ajuste de nivel del banco de trabajo.

Es necesario conectar correctamente todos los cables y realizar el ajuste de nivel antes de encender el equipo. Para el ajuste, se debe colocar un nivel de 0.02 mm/m en el banco de trabajo de la máquina de ensayo. A continuación, ajustar el nivel en los anclajes delanteros, traseros, izquierdo y derecho de la base. Se debe asegurar que la mesa de trabajo alcance una nivelación en dos direcciones perpendiculares con una precisión superior a 0.2/1000.

### 6. Encendido y Apagado del equipo.

#### 6.1 Encendido.

A continuación, se detallan los pasos para encender el equipo de ensayo de materiales:

- Verificar que las líneas de alimentación de la máquina se encuentren conectadas.

- Encender el panel de alimentación.
- Encender la computadora y el visualizador.
- Aflojar el interruptor de parada de emergencia y encender el servosistema.
- Ingresar a la interfaz de trabajo.
- Abrir el software MaxTest en la interfaz de la computadora.

#### 6.2 Apagado.

A continuación, se detallan los pasos para apagar el equipo de ensayo de materiales:

- Detener la operación del equipo y cerrar el software MaxTest en la interfaz de la computadora.
- Apagar el servosistema desde el panel de control.
- Activar el interruptor de parada de emergencia para detener completamente la máquina.
- Apagar el visualizador y la computadora.
- Apagar el panel de alimentación de la máquina.
- Desconectar las líneas de alimentación de la máquina.

### 7. Equipos misceláneos.

La máquina WDW-5E es una máquina universal que permite realizar ensayos de tensión, compresión y flexión. En la adquisición de esta máquina se incluyen los componentes necesarios para llevar a cabo cada ensayo de manera efectiva y obtener los resultados deseados.

MANUAL DEL USUARIO		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

Tabla 3. Accesorios para ensayos de tracción y flexión.

ACCESORIO PARA TENSION	
Cuñas de agarre manual	
	Las mordazas de acción de cuña manuales son perfectas para metales, compuestos y plásticos. Están diseñadas para facilitar la carga, alineación y posición de las probetas. Capacidad de fuerza de hasta 5 kN.
ACCESORIO PARA FLEXIÓN	
Accesorio para ensayo a flexión de tres puntos	
	El accesorio de flexión permite realizar una variedad de ensayos de flexión y resistencia de unión a la fractura, incluida la determinación de módulos de flexión, resistencia a la flexión y resistencia a la deformación. Los yunques inferiores se ajustan para alojar especímenes de diferentes tamaños. La deflexión del espécimen se puede medir mediante el desplazamiento de cruceta o, para una medición más precisa.

## 8. Montaje y desmontaje de equipos misceláneos.

### 8.1 Instalación y desmontaje de auxiliares de tracción.

#### 8.1.1 Instalación de la cuña auxiliar de tracción.

Al instalar el dispositivo de sujeción superior, este debe colocarse en el orificio de la viga transversal central e insertarse el pasador correspondiente. (Ver Figura 4).

Al instalar el dispositivo de sujeción inferior, se debe colocar en el orificio del medio de la viga inferior. Entonces se debe insertar el pasador de conexión. Además, al instalar el auxiliar de tracción se debe encontrar la dirección de instalación del auxiliar debe hacer que la sujeción sea cóncava hacia el operador.

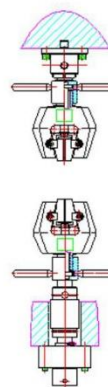


Figura 4. Mordazas mecánicas para ensayo de tensión tipo cuña.

8.1.2 Desmontaje de la cuña auxiliar de tracción. Al desmontar el dispositivo de sujeción superior, se debe levantar el dispositivo de sujeción superior con la fuerza adecuada. Luego extraer el pasador fijo y retirar el dispositivo de sujeción superior. Al desmontar el dispositivo de sujeción inferior, se debe extraer el pasador fijo y alejar el inferior.

#### 8.1.3 Precaución.

Levantar con fuerza los dispositivos de sujeción para evitar resbalones y lesiones al operador.

- El sensor de carga no se desmonta en esta operación.

### 8.2 Instalación y desmontaje de auxiliares de flexión.

#### 8.2.1 Instalación del dispositivo auxiliar de la flexión.

Una vez que el banco de trabajo para doblar, la regla, la contratuerca y el soporte del rodillo de presión se han instalado correctamente. Solo colocar el dispositivo mencionado anteriormente en la viga central, no es necesaria su instalación. Solo se debe fijar el soporte del rodillo de presión superior con la contratuerca en la viga superior. Después de terminar la instalación, se debe aflojar la contratuerca, ajustar

<b>MANUAL DEL USUARIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 8/12

la posición de la viga móvil, luego hacer que el centro del rodillo de presión del asiento del rodillo superior y del asiento del rodillo inferior estén a la misma altura. Empujar el asiento del rodillo inferior hasta que toque firmemente ambos lados del asiento del rodillo superior. Luego apretar la contratuerca y finalmente ajuste el asiento del rodillo de presión inferior a la posición adecuada según lo que indica el puntero. Al apretar la contratuerca, se debe colocar bien la muestra y luego realizar la prueba de flexión. (Ver Figura 5).

#### 8.2.2 Precaución.

Al instalar el soporte del rodillo de presión superior, se debe apretar firmemente en la cara de la barra guía, evitando que aparezca un espacio entre los dos.

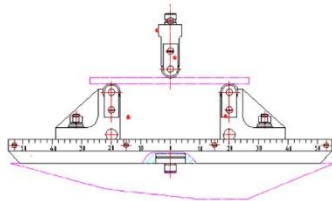


Figura 5. Identador y apoyos de viga para ensayo de flexión.

#### 8.2.3 Desmontaje del dispositivo auxiliar de la flexión.

Se debe aflojar la contratuerca, retirar el soporte del rodillo de presión superior y colocar en la caja de accesorios. Luego levantar verticalmente hacia arriba el banco de trabajo para doblar y las piezas de instalación y colocar en la caja de accesorios.

### 9. Operación del equipo.

- 9.1 Instrucciones para operar el equipo (Tomando como referencia el ensayo de tracción).
  - 9.1.1 Realizar los pasos en el apartado 6.1, encender y abrir la computadora y el monitor.
  - 9.1.2 Iniciar el sistema operativo WINDOWS de la computadora.
  - 9.1.3 Hacer clic en el icono del software MaxTest y acceder a la interfaz del software de aplicación.
  - 9.1.4 Finalizar el inicio de la computadora. La operación detallada del software se encuentra en el "Manual del Software".
  - 9.1.5 De acuerdo con la indicación de la dirección de rotación marcada en la abrazadera, primero se debe apretar la mordaza superior del extremo superior de la muestra.
  - 9.1.6 En la computadora, se debe elegir una velocidad de movimiento del haz de 50 mm/min, y usando el control remoto, se debe ajustar la posición del haz central para que la mordaza inferior pueda sujetar el extremo inferior de la muestra. Ajustar la fuerza de prueba a cero y apretar la mordaza inferior.
  - 9.1.7 Una vez que la muestra esté sujeta, la computadora mostrará una pequeña carga inicial. Si es necesario, se debe usar el control remoto o el mouse de la computadora para ajustar la posición del haz central con baja velocidad, haciendo que el valor de fuerza de la computadora muestre cero. Si es una prueba aproximada, se puede realizar la prueba directamente sin necesidad de ajustar a cero.

<b>MANUAL DEL USUARIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 9/12

- 9.1.8 Si es necesario, se debe colocar bien el extensómetro sobre la muestra con una tira de goma. Retirar la delgada ajustable y ajustar bien el punto cero de la pantalla de deformación de la muestra. El extensómetro es una parte opcional, si no es necesario, este paso se puede omitir. Elegir el programa de control de prueba adecuado u operar manualmente, controlando el movimiento descendente del haz. (Cómo configurar el programa de control automático, consulte el Manual del Software).
- 9.1.9 Si se prueba con el extensómetro, se debe retirar el extensómetro antes de que la muestra se fracture o configurar la condición de uso del extensómetro para medir la deformación de la muestra según el Manual del Software. Cuando el software indique que debe retirar el extensómetro, se debe retirar inmediatamente. Para evitar la deformación o daño del extensómetro por el gran impacto.
- 9.1.10 Después de finalizar la prueba, la máquina de ensayo se detendrá automáticamente. El usuario debe ingresar a la interfaz de análisis de datos para trabajar con todos los datos de la prueba.
- 9.1.11 Según la indicación de la dirección de rotación marcada en el dispositivo de sujeción, aflojar y retirar la muestra.
- 9.1.12 Imprimir o guardar el resultado de la prueba, esto completa una prueba completa.
- 9.1.13 Si se realiza una segunda prueba, repetir los pasos de prueba del 9.1.5 al 9.1.12.
- 9.1.14 Apagar cuando se haya finalizado todas las pruebas. La secuencia de corte de la alimentación es: Salir del software de aplicación de la computadora. Apagar la computadora. Apagar la fuente de alimentación de la computadora. Cortar la alimentación principal.
- 9.2 Precauciones para operar el equipo.
- 9.2.1 Antes de poner en marcha la máquina, se debe verificar la posición del tope límite. Ajustar para que se cumpla con los requisitos de carrera de prueba, es decir, que los dispositivos de sujeción superior e inferior no colisionen. El interruptor de límite que se instala en el haz central se mueve junto con el haz central.
- 9.2.2 La dirección de rotación del mango del dispositivo auxiliar de tracción ha sido marcada en el dispositivo de sujeción. Además, al reemplazar la mordaza, se debe prestar atención de colocar el pasador redondo en la ranura guía que está detrás del dispositivo de sujeción. Y la pieza de bloque frontal debe colocarse correctamente, para evitar que la mordaza se atasque. Después de terminar el reemplazo, la mordaza debe moverse con las manos.
- 9.2.3 Al colocar la muestra, se debe colocar en una posición que supere los 2/3 de la longitud de la mordaza. Para sujetarla de manera efectiva y proteger la mordaza. A continuación, se muestra el diagrama esquemático de sujeción:

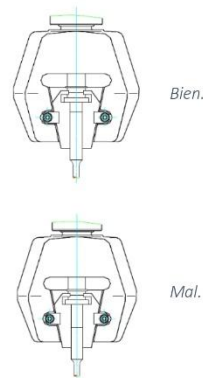


Figura 6. Colocación de la muestra en la mordaza de sujeción. La imagen superior muestra la forma correcta y la imagen inferior muestra la forma incorrecta de colocarla.

<b>MANUAL DEL USUARIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 10/12

- 9.2.4 Colocar arandelas de ajuste al instalar el extensómetro. Además, se debe levantar y bajar suavemente para proteger la hoja del extensómetro. Está prohibido tirar de los cables.
- 9.2.5 Durante la prueba, si se prueba RPO.2, se debe elegir el ítem que mida la deformación del extensómetro antes de la prueba e instalar el extensómetro en la muestra de prueba. De lo contrario, se debe elegir la dispacia como deformación al iniciar la prueba. Sin embargo, debido a las influencias de varios espacios y la deformación de los componentes, el resultado de la prueba no es tan preciso.
- 9.2.6 El botón rojo con forma de cabeza de seta en el control remoto es el botón de parada de emergencia de la máquina de prueba. En caso de emergencia, presionar inmediatamente.
- 9.2.7 Si el haz se mueve a la posición límite mecánica configurada, la máquina de prueba se detendrá automáticamente y emitirá algunas advertencias.
- 9.2.8 Si se reinicia la máquina, primero se debe hacer clic en el botón de operación inversa a través del mouse o aflojar el botón de ajuste del límite y moverlo a otra posición de trabajo requerida, luego se puede iniciar, de lo contrario, no se puede ejecutar.
- 9.3 Seguridad.
- 9.3.1 Durante las pruebas de tracción y cizallamiento, es importante no colocar las manos en la zona del dispositivo.
- 9.3.2 Mantener una distancia segura del bastidor de carga, que incluye el travesaño superior, el travesaño principal y el travesaño inferior.
- 9.3.3 El bastidor de carga puede experimentar movimientos bruscos e incontrolados cuando las muestras se rompen, lo que podría ocasionar que fragmentos de las muestras salgan despedidos.
- 9.3.4 Debido a las grandes fuerzas generadas por este equipo, se debe verificar todas las sujeciones y de que estén firmemente colocadas y correctamente ajustadas.
- 10. Actividades de mantenimiento.**
- 10.1 Mantenimiento preventivo.
- El equipo WDW SE es un equipo de prueba de gran tamaño y alta precisión. Por tanto, para guardar la integridad física del equipo se debe realizar actividades de mantenimiento regularmente, aunque este no presente falla alguna.
- En la *Tabla 4* se detallan las actividades de mantenimiento que deben realizarse, algunas de ellas con una periodicidad mínima de una semana:

*Tabla 4. Actividades de mantenimiento preventivo y su acción de mantenimiento según un régimen de una semana.*

No	Actividad	Acción de mantenimiento.
1	Limpieza externa.	1. Limpiar la superficie con un paño húmedo y un líquido limpiador de superficies a base de acetona con evaporación rápida. Y así eliminar cualquier suciedad, polvo, líquido o virutas que puedan afectar los movimientos del equipo.
2	Limpieza de elementos de control y eléctricos.	1. Revisar las tarjetas electrónicas, incluidos los circuitos integrados y los cables de alimentación, los cuales deben estar intactos, sin dobleces ni roturas, y sin signos de deterioro del aislamiento. 2. Realizar una inspección visual y táctil si es necesario para detectar posibles sobrecalentamientos.

MANUAL DEL USUARIO		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 11/12

No	Actividad	Acción de mantenimiento.
3	Limpieza de elementos de control y eléctricos.	3. Realizar mediciones con un multimetro según sea necesario para evaluar la conductividad, el estado de los contactores, el interruptor trifásico, los relés térmicos, entre otros.
4	Lubricación y engrase.	1. Si la máquina no se va a utilizar durante mucho tiempo (una semana). Se debe encender la máquina una vez y mover hacia arriba y hacia abajo el haz para lubricar los tornillos de potencia. 2. Lubricar el rodamiento entre la parte superior e inferior del tornillo de bolas. Debe reemplazarse cada 3-5 años. Emplear una grasa de calidad alimentaria con PTFE (politetrafluoroetileno, también conocido como Teflón) para lubricar los tornillos de avance. 3. Los tornillos de bolas y las tuercas de la máquina deben lubricarse cada seis meses.
5	Inspección del nivel del banco de trabajo.	1. Inspeccionar el equipo por desnivelación en la base de la misma. Se debe colocar un nivel de 0.02mm/m en el banco de trabajo de la máquina de prueba.
6	Inspección general de humedad.	1. Inspeccionar el equipo por humedad en los componentes como la transmisión mecánica, la carcasa y los accesorios. En caso de presentar humedad en alguno de estos componentes, limpiar la superficie con un paño seco para absorber la humedad. En caso de necesitar lubricación, aplíquela.
7	Inspección general de juego entre elementos móviles.	1. Inspeccionar visualmente y con tacto, los componentes mecánicos de la máquina en busca de posibles impactos, maltratos, corrosión o daños físicos. 2. Hacer uso de etiquetas y señalizaciones para indicar la ausencia o defecto de componentes o accesorios. 3. Inspeccionar los elementos en busca de poca lubricación o desgaste entre piezas, tanto mecánicas como eléctricas.
8	Revisión de paros de emergencia y finales de carrera.	1. Encender la máquina siguiendo los pasos establecidos en la sección 6.1 y presionar el botón de paro de emergencia tipo hongo para verificar su funcionamiento. 2. Presionar los accionamientos de los finales de carrera y verificar su correcta operación.

## 10.2 Mantenimiento correctivo.

En la *Tabla 5* se presentan las actividades de mantenimiento que deben realizarse al momento de presentarse un problema en el funcionamiento del equipo:

*Tabla 5. Actividades de mantenimiento correctivo y su acción de mantenimiento según su aparición.*

No	Actividad	Acción de mantenimiento.
1	Reemplazo de piezas dañadas.	1. Inspeccionar los componentes de la máquina en busca de las piezas afectadas. 2. Adquirir los repuestos según las especificaciones del fabricante y utilice las herramientas adecuadas para desmontar las piezas dañadas y montar las piezas nuevas. 3. Verificar el correcto funcionamiento del equipo con las nuevas piezas después de la instalación.
2	Ajuste de los parámetros de configuración.	1. Acceder al menú de configuración del equipo según se indica en el Manual del Software. 2. Identificar y modificar los parámetros que requieren ajuste. 3. Verificar que la nueva configuración de la máquina sea compatible con los parámetros de funcionamiento y lectura del equipo. 4. Verificar que los ajustes se hayan realizado correctamente y no afecten el rendimiento de la máquina en los ensayos.
3	Calibración y verificación de los resultados de una prueba.	1. Revisar los parámetros de lectura y realizar la depuración según indica el Manual del Software. 2. Utilizar instrumentos de calibración adecuados según los estándares del fabricante. 3. Realizar pruebas de control utilizando muestras de referencia con valores conocidos. 4. Documentar los resultados de la calibración y las pruebas de verificación.

## 10.3 Fallas comunes.

A pesar de las acciones de mantenimiento preventivo, las fallas en el equipo son inevitables debido al desgaste natural que produce su uso continuo. La aplicación de medidas preventivas y

<b>MANUAL DEL USUARIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 12/12

correctivas reduce la probabilidad de fallos, pero no la elimina por completo.

A continuación, se presenta en la *Tabla 6* con fallas comunes y su método de solución.

*Tabla 6. Fallas comunes del equipo y su método de solución.*

No	Falla	Razón	Método
1	La máquina no puede subir ni bajar	1. Interruptor de limite dañado, desconectado o bloqueado. 2. Interruptor de parada de emergencia dañado o desconectado. 3. Desconexión de la línea de alimentación. 4. Sobrecarga en el sistema de control de velocidad.	1. Reemplazar el interruptor de limite, reparar si está roto o si está bien contactado. 2. Reemplazar el interruptor de emergencia o para de emergencia o asegurar que se encuentre bien conectado. 3. Verificar y reparar el suministro de energía. 4. Verificar y excluir las causas de sobrecarga, luego vuelva a iniciar.
2	Sobrecarga en la visualización del valor de fuerza de prueba.	1. Sensor de carga dañado. 2. Sensor de carga desconectado o el aislamiento del conector no es confiable. 3. Fuerza de prueba mayor que el rango completo.	1. Reemplazar el sensor de carga. 2. Conectar bien el cable o verificar la conexión del tomacorriente. 3. Hacer que el cabezal funcione en dirección inversa.
3	Detener durante la operación sin carga	Los parámetros registrados en el software son erróneos.	1. Reprogramar los parámetros del software.
4	El software opera de forma inconsistente	La computadora posee virus	1. Eliminar los virus del ordenador. 2. Realizar una copia de seguridad del disco duro.

## 11. Recomendaciones.

Se recomienda al usuario del equipo a:

- Familiarizarse con el equipo: Antes de utilizar la máquina de ensayo de materiales, leer detenidamente el manual del usuario y familiarizarse con todas sus funciones y características.
- Realizar inspecciones visuales: Antes de cada uso, realizar una inspección visual del equipo para detectar cualquier signo de daño o desgaste.
- Seguir los procedimientos de seguridad: Se debe seguir todas las medidas de seguridad recomendadas, incluyendo el uso de equipo de protección personal apropiado.
- Calibrar regularmente: Realizar calibraciones periódicas según las indicaciones del fabricante para mantener la precisión del equipo.
- Mantén el equipo limpio: Limpiar regularmente el equipo y sus componentes para evitar la acumulación de suciedad o residuos que puedan afectar su funcionamiento.
- Registrar los datos correctamente: Llevar un registro detallado de los ensayos realizados, incluyendo los parámetros de prueba, resultados y cualquier observación relevante.
- Programar mantenimientos preventivos: Establecer un programa de mantenimiento preventivo para realizar ajustes, lubricaciones y revisiones periódicas según las recomendaciones del fabricante.

## 5.2 Manual de software.

Este manual de software ha sido creado para proporcionar una guía sobre el uso y la gestión del software asociado con la UTM. En él se detallan todas las funcionalidades del software aplicadas a la interfaz de operaciones, desde los requerimientos de hardware, la instalación y la configuración inicial hasta su operación diaria. Se incluyen instrucciones paso a paso para la realización de los ensayos a tensión y flexión, la interpretación de resultados y la personalización de las pruebas. Además, se incluye un apartado de calibración de los sensores y la célula de carga, aplicando la función MaxIni.exe.

El manual también ofrece soluciones a problemas comunes, recomendaciones de mantenimiento del software y mejores prácticas para asegurar un uso eficiente y seguro del sistema.

El software incluye la función MaxBatch.exe, una herramienta adicional que permite obtener resultados de los ensayos de manera gráfica, pudiendo graficar hasta doce diferentes tipos de curvas. Este recurso está diseñado para ayudar a los usuarios a maximizar el potencial de la UTM, garantizando resultados precisos y fiables en cada ensayo.

MANUAL DEL SOFTWARE			
	Universidad de El Salvador	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	Versión: 001
	Facultad de Ingeniería y Arquitectura		Efectivo desde:
	Escuela de Ingeniería Mecánica	Elaborado por: RA17023, RC15077	Página: 2/32

### Historial de Cambios.

Versión	Efectividad	Autor	Descripción del cambio
001	Efectivo desde:	Jefe del Laboratorio	Versión inicial del documento.

Rol	Aprobación / Fecha
Jefe del Laboratorio	

### Contenido:

#### Capítulo 1. Introducción.

- 1.1. Prologo.
- 1.2. Características.

#### Capítulo 2. Instalación y puesta en marcha.

- 2.1. Requisitos de sistema.
- 2.2. Instalación.
- 2.3. Puesta en marcha.
- 2.4. Desinstalación.

#### Capítulo 3. Interfaz de operación.

- 3.1. La interfaz de control principal.
- 3.2. Tablero de visualización de carga y extensión.
- 3.3. Tablero de visualización del desplazamiento.
- 3.4. Panel de la curva.
- 3.5. Panel de control de la velocidad.
- 3.6. Panel de datos.
- 3.7. Tablero de análisis.
- 3.8. Parámetros de depuración.

#### Capítulo 4. Proceso de una prueba.

- 4.1. Selección de un método de prueba.
- 4.2. Crear información de prueba.
- 4.3. Modifica la información.
- 4.4. Confirmar información.
- 4.5. Parámetro de control.

- 4.6. Iniciar prueba.

- 4.7. Finalizar la prueba.

- 4.8. Guardar los datos de la prueba.

- 4.9. Análisis artificial de la curva de prueba.

- 4.10. Imprimir los datos.

#### Capítulo 5. Calibración.

- 5.1. Ganancia del sensor de carga.

- 5.2. Ganancia del extensómetro.

- 5.3. Ganancia por desplazamiento.

#### Capítulo 6. Configuración del Sistema.

- 6.1. Configuración del sistema.

- 6.2. Selección del sensor de carga y extensómetro.

- 6.3. Parámetro de depuración.

- 6.4. Elemento de definibilidad por el usuario.

- 6.5. Ventana de vigilancia de prueba/control.

- 6.6. Registro.

#### Capítulo 7. Maxini.exe.

- 7.1. Sistema.

- 7.2. Sensor de carga.

- 7.3. Extensómetro.

- 7.4. Configuraciones de control.

- 7.5. Anticipo.

- 7.6. Opción.

- 7.7. Normas de prueba.

#### Capítulo 8. Programación y Ejecución.

- 8.1. Ejecución del programa.

- 8.2. Programación.

#### Capítulo 9. MaxBatch.exe.

#### Capítulo 10. Tarjeta AD800 y Vir800.

- 10.1. Introducción.

- 10.2. Instalación y desinstalación.

- 10.3. Definición de la interfaz Vir800.

- 10.4. Definición de la interfaz AD800.

#### Capítulo 11. Imprimir en Excel.

- 11.1. Imprimir los datos.

- 11.2. Nueva plantilla.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

## Capítulo 1. Introducción.

### 1.1. Prologo.

El programa MaxTest.exe fue diseñado para brindar datos de pruebas de ensayos de materiales es una herramienta especializada que recopila, procesa y presenta información crucial relacionada con la resistencia y las propiedades de los materiales sometidos a pruebas. MaxTest.exe se aplica a todo tipo de máquinas de prueba de materiales mediante diferentes archivos de configuración, como la máquina de prueba universal de control electrónico, (control servo).

MaxTest se utiliza en entornos de laboratorio, ingeniería, industria manufacturera y otros campos donde se realizan pruebas de materiales para evaluar su rendimiento y calidad. MaxTest está diseñado para trabajar en conjunto con equipos de prueba como máquinas universales de ensayos, equipos de tracción, compresión, flexión, dureza, entre otros.

La función principal de MaxTest es recopilar los datos generados durante las pruebas, tales como fuerza aplicada, deformación, velocidad de carga, tiempo de prueba, entre otros parámetros relevantes.

### 1.2. Características.

Algunas características importantes de MaxTest son:

- Interfaz fácil de usar, que permite a los usuarios configurar los parámetros de la prueba, seleccionar el tipo de ensayo a realizar y visualizar los resultados de manera clara y comprensible.
- Registra continuamente los datos de manera precisa y en tiempo real, lo que permite un monitoreo detallado del comportamiento del material bajo prueba.
- Realiza cálculos automáticos para determinar propiedades importantes como resistencia máxima, módulo de elasticidad, energía absorbida, entre otros. También puede generar gráficos y tablas para representar los datos de manera visual.
- Almacenamiento y exportación de los resultados de manera segura en la base de

datos del programa y pueden exportarse en formatos compatibles para su análisis adicional o informes técnicos.

- Gestión de usuarios y proyectos: En entornos de laboratorio más grandes, el programa puede tener funciones para gestionar usuarios, proyectos de pruebas, historiales de pruebas realizadas y otros aspectos.

## Capítulo 2. Instalación y puesta en marcha.

### 2.1. Requisitos de sistema.

El equipo dedicado para la instalación del software, debe poseer los siguientes requisitos:

- CPU: Pentium MMX200.
- Memoria: 128 M o más.
- RAM: 2 GB o más.
- Mouse e Impresora.
- Windows: 200/XP/Windows10

### 2.2. Instalación.

Para la correcta instalación de MaxTest se deben seguir los siguientes pasos:

- I. Colocar el CD de MaxTest en la unidad de CD-ROM que se incluye en la compra de la UTM, 1. Haga clic en el botón "MaxTest Install" para que aparezca la instalación. asistente, que se muestra a continuación:



Figura 1.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

- II. Espere un momento hasta que aparezca el asistente de instalación y haga clic en "siguiente".



Figura 2.

Le aparecerá una nueva ventana como la que se muestra a continuación y hacer clic en "siguiente".

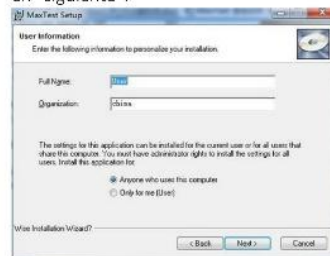


Figura 3.

- III. La siguiente ventana se muestra a continuación, la carpeta de instalación predeterminada del programa es "C:\ProgramFiles(x86)\MaxTest\", si desea instalar en una carpeta diferente, haga clic en el botón "Examinar", seleccione otra carpeta y haga clic en "Instalar".



Figura 4.

- IV. Si todos los pasos anteriores son exactos, haga clic en "siguiente" para instalar el programa en su computadora, o haga clic en "cancelar" para salir de la instalación.

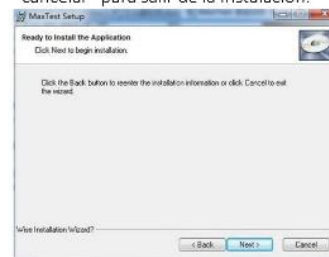


Figura 5.

- V. Espere a que complete la barra de progreso y una vez finalizada la instalación, haga clic en el botón "Finalizar".

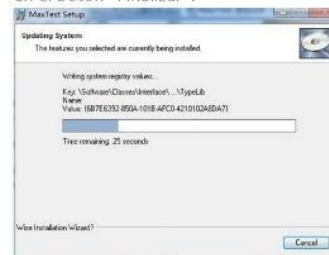


Figura 6.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:



Figura 7.

### 2.3. Puesta en marcha.

Si el programa se instala exitosamente en su computadora, en el menú “todos los programas” del menú “inicio” se activará el programa “MaxTest”. Para ejecutar correctamente MaxTest se debe:

- I. En el escritorio de su computadora haga doble clic en el icono, la interfaz del escritorio se muestra a continuación:



Figura 8.

### 2.4. Desinstalación.

Aunque las actualizaciones de MaxTest son automáticas. En caso de error y de ser necesaria su desinstalación, entonces se debe:

- I. Abrir el “Panel de control” de la computadora, haga clic en “Agregar o quitar programas”, seleccione “MaxTest” en la lista de programas y haga clic en el botón “Quitar”, luego los programas MaxTest se pueden eliminar de forma segura de su computadora.

## Capítulo 3. Interfaz de operación.

### 3.1. La interfaz de control principal.

#### 1.3.1. Menú principal



Figura 9.

La barra de herramientas siempre se encontrará en la parte superior de la pantalla, es el centro de control del programa, gestiona todas las demás pantallas del programa, se pueden ver las siguientes funciones del programa:

- I. Modo.
  - i. Salida: Salga de MaxTest.
- II. Datos.
  - i. Información de entrada de la muestra (N): Llene información para espécimen, agregue información del espécimen al programa.
  - ii. Abrir: Abra los datos grabados.
  - iii. Guardar: Guarde los datos de la prueba.
  - iv. Imprimir: Imprima los datos de la prueba.
  - v. Estadísticas e impresión en Excel: Imprima los datos de la prueba.

#### Modo Excel

- vi. Análisis de la curva del ensayo: Análisis de la curva originada por los datos de la prueba.
- III. Configuración.
  - i. Selección del sensor de carga: Seleccione el sensor de carga para la prueba.
  - ii. Selección del extensómetro: Seleccione el sensor de extensión.
  - iii. Opción de sistema: Abra la ventana de opciones del sistema.
  - iv. Opción de análisis: Establezca los parámetros de análisis.
- IV. Depurar.
  - i. Ganancia del sensor de carga: Calibración del parámetro de la magnitud de carga.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

- ii. Ganancia del extensómetro: Ajuste de la magnitud de la extensión.
- iii. Ganancia del largo del extensómetro: Ajuste de la indicación del rango de la extensión.
- iv. Ganancia de desplazamiento: Ajuste del parámetro de la magnitud del desplazamiento.
- v. Ganancia del ancho del extensómetro: Ajuste del canal de extensión.
- vi. Parámetro de depuración: Abrir la ventana de los parámetros de depuración para verificar los parámetros de depuración.

#### V. Herramientas.

- i. Ventana de observación Prueba/Control: Observar el control del proceso de la prueba.
- ii. Importación de las normas de la prueba: Expande las normas de la prueba por la actualización del archivo "Update.mdb".
- iii. Elemento de definibilidad de usuario: Abre la ventana de datos definidos por el usuario.
- iv. Exportación de los datos de medición y control: Guarda los datos de medición y control como un archivo de texto. Cuando el sistema falla, el usuario puede enviar el archivo al proveedor del sistema como base para el análisis de fallas.
- v. Editar el archivo MaxTest.ini: Editar el archivo de configuración de MaxTest.

#### VI. Ventana.

- i. Organizador de ventanas: Realinee todas las ventanas.
- ii. Pantalla superior/izquierda: Realinee todas las ventanas a la parte superior/izquierda de la pantalla.

#### VII. Ayuda.

- i. Acerca de: Consulta la versión del programa, el tipo y la versión del controlador de la tarjeta AD800, etc.
- ii. Registro: Consultar el estado de registro del programa o registrarse nuevamente.

#### 1.3.2. Barra de estado.

La barra de estado muestra la información sobre el espécimen y el control durante la prueba. Está dividido en dos partes (izquierda, derecha), la parte izquierda muestra la información de control, como la velocidad. Y la parte derecha muestra la información del espécimen, como área, número de serie, etc.

#### 1.3.3. Barra de herramientas.

Esta barra incorpora algunos botones de acceso directo de la siguiente manera.

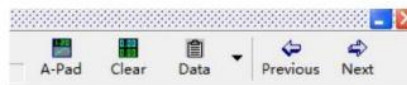


Figura 10.

- I. Un panel: Cambia el modo de análisis de datos.
- II. Borrar: Borrar valores de carga, tensión y desplazamiento.
- III. Datos: Seleccionar el tipo de prueba (norma), y muestra los datos del panel.
- IV. Anterior: Mueve el registro hacia adelante.
- V. Próximo: Mueve el registro hacia atrás.

#### 3.2. Tablero de visualización de carga y extensión.



Figura 11.

- I. Parar mientras destruyes: Si se presiona el botón, si la prueba cumple con la condición de interrupción, el programa detendrá la prueba automáticamente. De lo contrario, el usuario debe detenerlo manualmente.
- II. Visualización del valor de carga: Visualización en tiempo real del valor de carga.
- III. Botón de borrar: Borrar el valor actual mostrado en pantalla.
- IV. Máximo: Visualización del pico de carga, borrada automáticamente cuando empieza la prueba.
- V. Modo de visualización: Cambie el modo de medición de extensión, si se presiona el

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

botón, la extensión será reemplazada por el desplazamiento, de lo contrario, la extensión se medirá con el extensómetro.

VI. Regla del cambio de escala: Al comienzo de la prueba, se debe seleccionar la escala más baja, para que se pueda obtener una alta precisión del valor de visualización.

3.3. Tablero de visualización del desplazamiento.



Figura 12.

- I. Visualización del valor de desplazamiento: Muestra en tiempo real el valor del desplazamiento.
- II. Dirección de control manual: Solo se muestra en máquinas electrónica.

3.4. Panel de la curva.

El panel de curvas puede mostrar en tiempo real la curva en la prueba, cuando los usuarios exploran el historial de datos, muestra sincrónicamente la curva histórica correspondiente y muestra el resultado del análisis de la curva.



Figura 13.

El programa registrará seis tipos diferentes de curvas: Carga- Tiempo, Extensión-Tiempo, Carga-Extensión, Esfuerzo-Deformación, Carga-Desplazamiento,

Ancho-Extensión, que se pueden cambiar y se muestran aquí.

Tabla 1. Herramientas de análisis de curvas.

Icono	Descripción
	Puntero de arrastre.
	Punto de anclaje.
	Ajustar la visualización de la curva.
	Reducir la visualización de la curva.
	Revelar línea.
	Recortar curva.
	Imprimir.
	Guardar.
	Botón de ampliar ventana.

3.5. Panel de control de la velocidad.

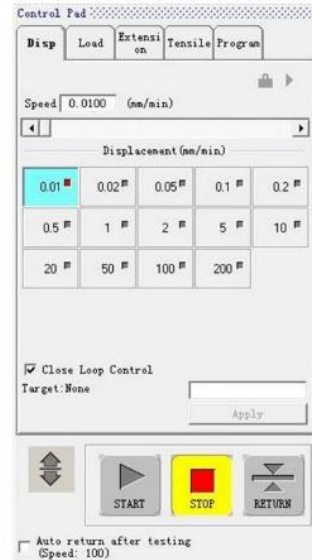


Figura 14.

MANUAL DEL SOFTWARE			
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.		
	Versión: 001	Efectivo desde:	Página: 8/32

5.3.1. Modo de control.

- I. Desplazamiento: Modo de control de desplazamiento de circuito cerrado (circuito abierto).
- II. Carga: Modo de control de carga de circuito cerrado.
- III. Extensión: Modo de control de extensión de circuito cerrado.
- IV. Tensión: Modo de control de típico del programa de tracción de metales.
- V. Programa: Modo de control programable.

5.3.2. Botones de control.

El tablero de botones de control tiene dos estados:

- I. Estado de control de prueba.



Figura 15.

Las funciones de los botones son las siguientes:

Tabla 2.

Icono	Descripción
	Comenzar.
	Detener.
	Devolver.

- II. Estado de control de movimiento.

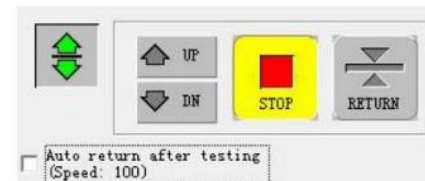


Figura 16.

Las funciones de los botones son las siguientes:

Tabla 3.

Icono	Descripción
	Arriba
	Abajo
	Detener
	Devolver.

- 5.3.3. Desplazamiento (modo de control de movimiento).

El control Disp. solo se usa para ajustar la posición del haz, se aplica en la máquina universal de control electrónico, la máquina de prueba universal electrohidráulica de control de proporciones, etc.



Figura 17.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

- I. Elegir la velocidad de movimiento.
- II. Hacer clic en los botones de acción de desplazamiento, "Arriba", "Abajo" o "Reiniciar".

El control Disp toma el desplazamiento como indicador de control, unidad mm/min.

- III. Prueba de tensión y compresión.

Seleccione una velocidad (como 5 mm/min), cambie al modo de circuito cerrado y luego presione el botón "Iniciar" para iniciar la prueba.

#### 5.3.4. Control de carga (modo de control de carga).

El control de carga toma la carga como indicador de control, unidad N/s, Mpa/s.

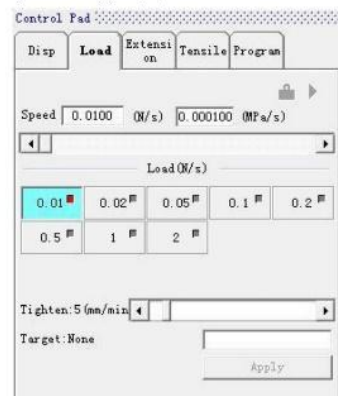


Figura 18.

- I. Prueba de tensión o flexión.

Seleccione una velocidad (como 5 kN/s), haga clic en "Aplicar" para configurar la velocidad de apriete y luego presione el botón "Iniciar" para iniciar la prueba.

#### 5.3.5. Panel de indicación de carga (Presentación en pantalla).

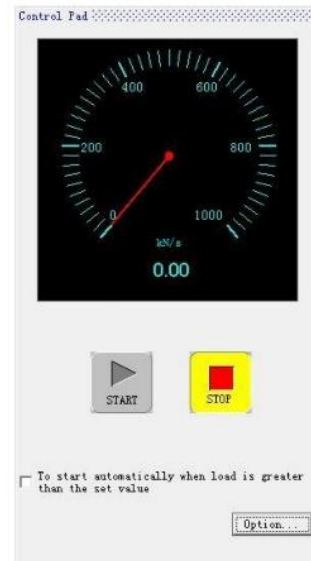


Figura 19.

El panel indicador de carga muestra el valor de carga actual y muestra el valor digital de la velocidad de la aplicación de carga.

- I. Para iniciar automáticamente cuando la carga es mayor que el valor establecido.

Cuando el valor es inválido, el usuario debe presionar el botón "Iniciar", y luego el sistema empezara a registrar la curva de prueba. El sistema automáticamente no comenzara a grabar hasta que el valor de carga alcance el valor establecido.

#### 3.6. Panel de datos.



El tablero de datos muestra toda la información de la prueba, que es diferente en la interfaz de los diferentes métodos de prueba.

Por ejemplo, la imagen que se muestra a continuación es el tablero de datos de Materiales

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

metálicos: prueba de tracción a temperatura ambiente (ISO-6892).

En circunstancias normales, el tablero de datos está

oculto, haga clic en el botón  "Data" "Datos" para que aparezca el panel de datos. Cuando no utilice el panel de datos, haga clic en el botón  " en la esquina superior derecha del tablero de datos para cerrarlo.

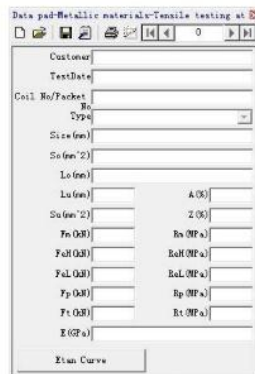


Figura 20.

Las funciones de las herramientas son las siguientes:

Tabla 4. Opciones del panel de datos.

Icono	Descripción
	Nuevo.
	Abrir.
	Guardar.
	Guardar como.
	Imprimir.
	Imprimir en Excel.

### 3.7. Tablero de análisis.

Después de finalizar la prueba, haga clic en el botón de análisis en la barra de herramientas o seleccione la opción "Modo de análisis" en el menú Modo para cambiar al modo de análisis, se muestra a continuación:



Figura 21.

En condiciones normales, después de la prueba, el sistema analizará automáticamente la curva de prueba y generará los resultados del análisis en el tablero correspondiente. En caso de que el análisis automático no sea preciso, los usuarios pueden realizar un análisis completo de la curva ajustando el método de análisis. Este método es predefinido por el usuario antes de iniciar el análisis. Si se desea cambiar el método de análisis, se debe hacer clic en el botón "Opción de análisis" en la barra de herramientas correspondiente para abrir la ventana "Configuración de análisis" y seleccionar un nuevo método según las características de la muestra. Una vez finalizado el análisis, los puntos relacionados con los parámetros de rendimiento físico del material de prueba se destacarán en la curva.

#### 7.3.1. Barra de herramientas de análisis.



Figura 22.

Las funciones de las herramientas son las siguientes:

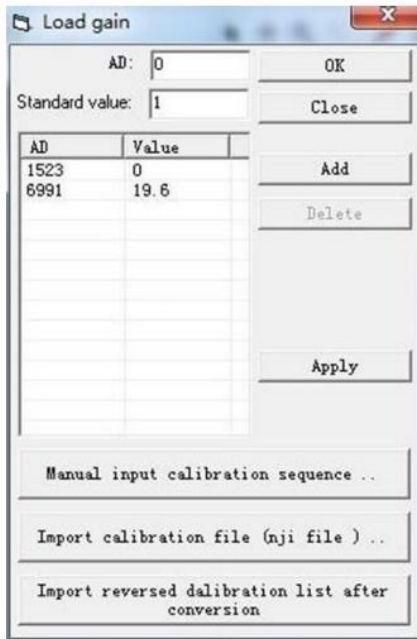
- I. Analizar la curva: Haga clic en él, vuelva a analizar la curva de prueba de acuerdo con el método de análisis establecido y actualice los resultados del análisis.
- II. Deshacer: Deshaga el último paso, hasta 10 pasos.
- III. Eliminar todo: Borre los resultados del análisis y actualice.
- IV. Opción de análisis: Configure el método de análisis, como se muestra a continuación:



MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

### 8.3.3. Ganancia del sensor de carga.

Seleccione la opción "Ganancia del sensor de carga" en el menú "Depurar", o presione la tecla "F8" para abrir la ventana de ajuste del valor de carga, la ventana se muestra a continuación:



AD	Value
1523	0
6991	19.6

Figura 26.

## Capítulo 4. Proceso de una prueba.

### 4.1. Selección de un método de prueba.

Mientras se prepara para iniciar una prueba, primero elija el tipo de prueba en el panel de datos. Como se muestra en el diagrama a continuación, haga clic en la "flecha desplegable (▼)" que se encuentra junto al botón "Datos" en la barra de herramientas.



Figura 27.

### 4.2. Crear información de prueba.

Toda la información del espécimen y datos del ensayo se guardan en el mismo archivo de la base de datos, los datos de la prueba se guardan como un registro.

#### 2.4.1. Ingresar la información de la muestra.

El usuario ingresa información relacionada con la prueba en "información de la muestra", como cliente, número de paquete, tipo, forma y tamaño de la muestra, So (área de la sección transversal), Lo, etc. La página de información de la muestra se muestra a continuación:

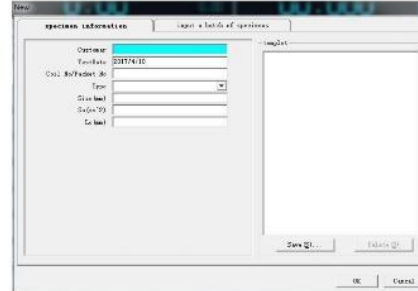


Figura 28.

#### 2.4.2. Entrada en lote.

Después de ingresar la información de la plantilla, cambie la ventana a la siguiente página "ingresar un lote de muestras", el diagrama se muestra a continuación:

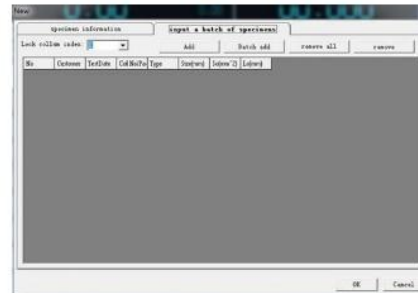


Figura 29.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

Haga clic en el botón "Agregar" para copiar los datos de la plantilla al área del búfer de información de la muestra.

En la mayoría de los casos, necesitamos crear información en lotes, haga clic en el botón "Agregar por lotes" para copiar los datos al área del búfer de datos en lotes.



Figura 30.

La secuencia consta de tres partes: prefijo, alcance (cambiar parte), sufijo. El prefijo y el sufijo son invariantes y el medio (alcance) cambia de secuencia.

Por ejemplo, si necesita ingresar el número de 9 muestras en el rango de GC2000-1-HN a GC2000-9-HN, entonces el prefijo es "GC2000-", el alcance es "1-9", el sufijo es "-HN".

#### 4.3. Modifica la información.



Figura 31.

Haga doble clic en la tabla del área del búfer de datos y cambie la información según sea necesario.

Hay una opción "Bloquear índice de columnas" en la ventana,

que se usa cuando hay demasiadas columnas de la tabla que no se pueden mostrar en la interfaz, bloquee algunas columnas para que se muestren. Suele utilizarse al cambiar la información.

#### 4.4. Confirmar información.

Este paso es para guardar la información en el área del búfer de datos en el programa.

Cuando se crea la información, haga clic en el botón "Aceptar", la información se guardará en la base de datos del programa, como se muestra en el diagrama a continuación, la información se mostrará en el panel de datos del programa:

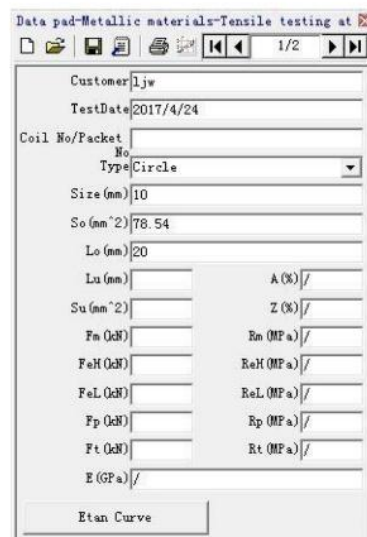


Figura 32.

Selección de un modo de control de prueba.

Seleccione el método de control de prueba en el panel de control. Para una operación simple, el usuario puede seleccionar un modo de control único

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

para probar, como "Disp", "Load" o uno complejo, como "Tensile".

En el paso 6 tomaremos el modo "Tracción" como ejemplo para detallar.

#### 4.5. Parámetro de control.

Haga clic en el botón "Tensión" para cambiar al panel de control de tracción, como se muestra a continuación:

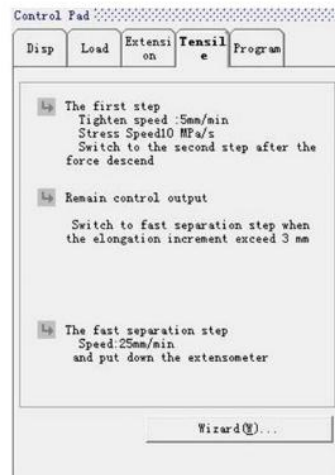


Figura 33.

Haga clic en el botón "Asistente (W)" para abrir la ventana del asistente, que le llevará a configurar los parámetros paso a paso como se muestra a continuación:

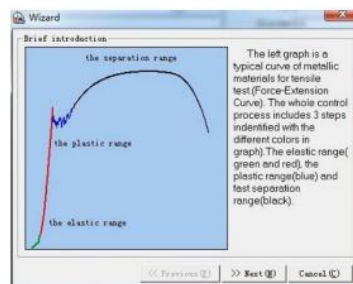


Figura 34.

#### 4.6. Iniciar prueba.

Verifique los pasos; si se confirma que son correctos, se podrá iniciar la prueba. Haga clic en el botón "Iniciar" en el tablero de control para iniciar la prueba.

#### 4.7. Finalizar la prueba.

El sistema detendrá la prueba en los siguientes casos:


- I. Detendrá la prueba manualmente haciendo clic en el botón "Detener".
- II. Protección contra sobrecarga.
- III. La muestra cumple con la condición de quebrada.

#### 4.8. Guardar los datos de la prueba.

Una vez realizada la prueba, el programa analizará la curva de prueba según el método analítico y luego guardará el resultado del análisis en la base de datos automáticamente.

#### 4.9. Análisis artificial de la curva de prueba.

Si el resultado del análisis automático no satisface las necesidades reales, el programa puede admitir la función de análisis artificial. El proceso general de análisis de datos detalla:

- I. Seleccione "Modo de análisis" en el menú "Modo", cambie a modo de análisis desde el modo de prueba.
- II. El programa mostrará el tablero de análisis automáticamente, Como queremos analizar la curva "carga-extensómetro", seleccione el tipo de curva "carga-extensión".
- III. Generalmente, todavía adoptamos el método de análisis automático.
- IV. Si el resultado del análisis automático no cumple con lo real Si es necesario, siga estos pasos para realizar una revisión virtual.
  - i. Hacer clic en el botón  en la barra de herramientas de análisis de la curva, el mouse cambiara a una cruz en el cursor.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

- ii. Haga clic en la tecla derecha del mouse de un solo disparo en la posición, Aparecerá el menú de definición de orden, seleccione el nombre correspondiente en el menú, para definir este orden como símbolo del punto, al mismo tiempo, la información de referencia del punto se mostrará en el tablero de análisis. Como se muestra en el diagrama a continuación:

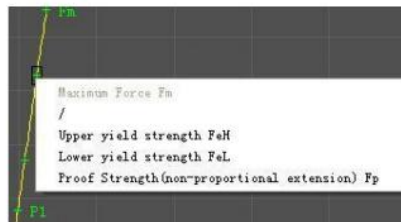



Figura 35.

#### 4.10. Imprimir los datos.

Si es necesario imprimir el resultado de la prueba, hay dos modos de impresión en el programa. esos son el modo común y el modo Excel.

##### I. Modo de impresión común.

Haga clic en el botón  en la barra de herramientas del tablero de datos, abra la ventana de selección de plantilla de impresión, el diagrama se muestra a continuación:

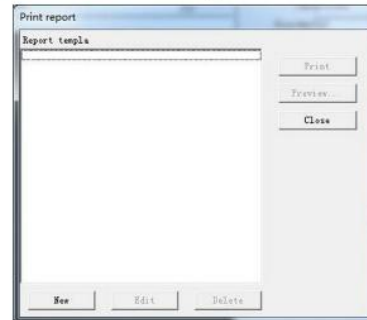


Figura 36.

Seleccione un archivo de plantilla en la ventana de plantilla de informe. Haga clic en el botón "Imprimir" para imprimir los datos.

##### II. Editar plantilla de informe.

Haga clic en el botón "Editar" o haga clic en el botón "Nuevo" para crear un nuevo archivo de plantilla de informe; la ventana emergente se muestra a continuación:

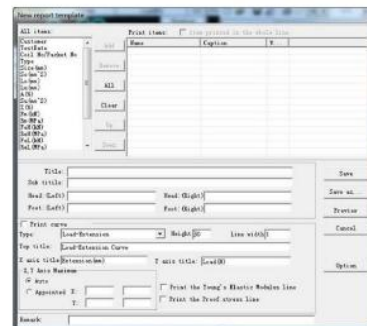


Figura 37.

##### III. Ejemplo.

Como se muestra en el diagrama a continuación, aquí hemos configurado un ejemplo de informe. Haga clic en el botón "Guardar" a la derecha de la ventana; la plantilla del informe se puede guardar como un archivo ".mrt".



Figura 38.

**Capítulo 5. Calibración.**

**5.1. Ganancia del sensor de carga.**

Haga clic en la opción "Cargar ganancia del sensor" en el menú "Depurar" o presione F8 para abrir la ventana de ganancia, como se muestra a continuación:

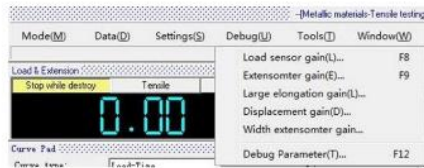


Figura 39.

La ventana de ganancia corrige los valores de una pluralidad de valores de muestra diferentes para corregir la linealidad del sensor de medición.

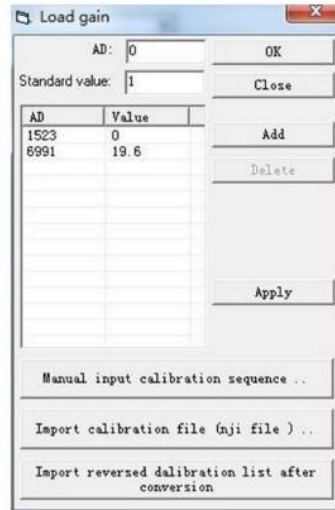


Figura 40.

**5.2. Ganancia del extensómetro.**

Haga clic en la opción "Ganancia del extensómetro" en el menú "Depurar" o presione F9, abra la ventana de ganancia, como se muestra a continuación:

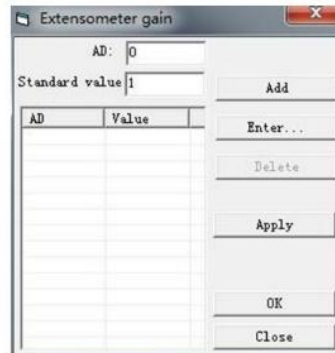


Figura 41.

La ventana de ganancia corrige los valores de una pluralidad de valores de muestra diferentes para corregir la linealidad del sensor de medición.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

### 5.3. Ganancia por desplazamiento.

Haga clic en la opción "Ganancia de desplazamiento" en el menú "Depurar" para abrir la ventana de ganancia, como se muestra a continuación:

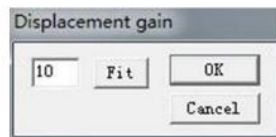


Figura 42.

Ingrese el valor objetivo en la ventana de calibración, mueva el haz al valor objetivo y luego haga clic en el botón "Ajustar".

## Capítulo 6. Configuración del Sistema.

### 6.1. Configuración del sistema.

Haga clic en "Opciones del sistema" en el menú "Configuración" para abrir la ventana "Configuración del sistema", como se muestra a continuación:

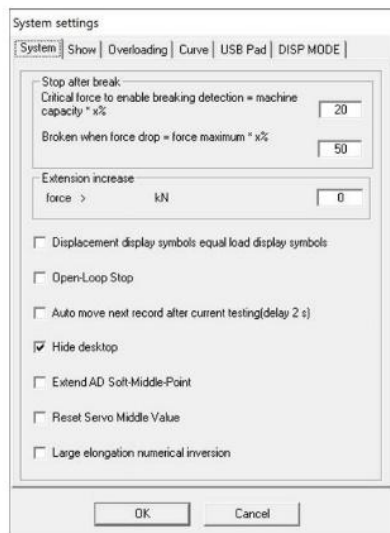


Figura 43.

Hay seis páginas en la ventana:

- I. Sistema.
  - i. Establecer la fuerza mínima: Si solo el valor de la carga del programa excede este valor, el espécimen puede considerarse como roto.
  - ii. Condición: Cuando la el valor de la carga cumple con esta condición, el programa trata la muestra como rota.

### II. Mostrar.



Figura 44.

- i. Frecuencia de refresco del led digital: Frecuencia de actualización de la pantalla LED podría modificarse aquí.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

### III. Sobrecarga.

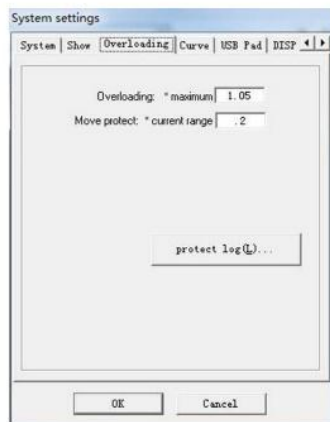


Figura 45.

- i. Sobrecarga: Si el valor de las cargas cumple con esta condición, el programa detendrá la prueba.
- ii. Proteger la velocidad: La velocidad de desinstalación.
- iii. Registro de sobrecarga: La ventana para registrar el registro de sobrecarga.

### IV. Curva.



Figura 46.

Configuración sobre la visualización e impresión de la curva de prueba.

### V. Puerto USB.

Activación de la función de control manual del controlador USB. Configuración del valor de velocidad del botón de control de velocidad del controlador manual, consultando la caja de control manual USB.



Figura 47.

### VI. Modo de visualización.

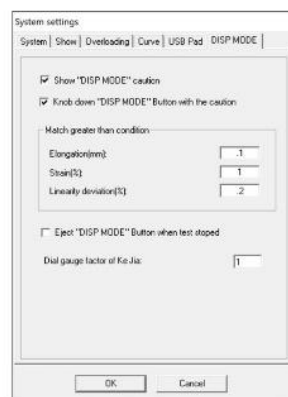


Figura 48.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

### 6.2. Selección del sensor de carga y extensómetro.

Haga clic en "Seleccionar sensor de carga" y "Seleccionar extensómetro" en el menú "configuración" para abrir la ventana de configuración de unidades, como se muestra a continuación:

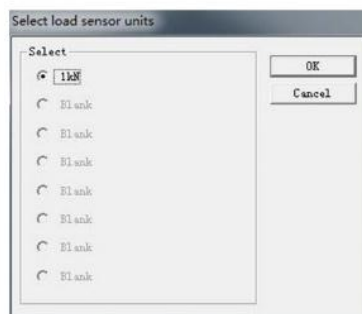


Figura 49.

El sensor de carga y el extensómetro se configuran previamente en el subprograma "Maxini.exe".

### 6.3. Parámetro de depuración.

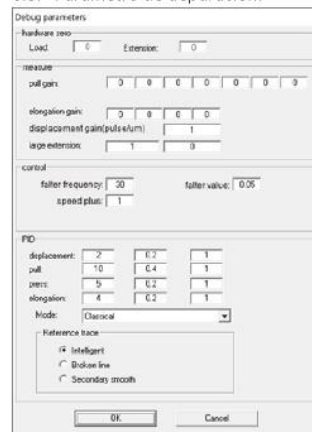


Figura 50.

Haga clic en "Parámetro de depuración" en el menú "Depurar", aparece el diagrama de la ventana de

parámetros de depuración, la ventana muestra principalmente los parámetros sobre hardware cero, medición y control, los parámetros ya están configurados de fábrica, modificar los parámetros es no sugerido.

6.4. Elemento de definibilidad por el usuario. Haga clic en "Elemento de definibilidad del usuario" en el menú "Herramientas", el diagrama de la ventana Elemento de definibilidad del usuario se muestra a continuación:

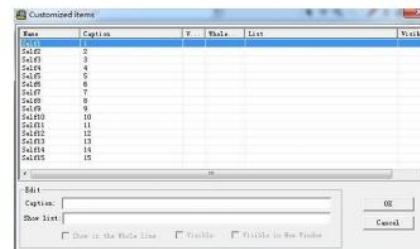


Figura 51.

En la ventana, los usuarios pueden definir los elementos como quieran; en la tabla "Título" está escrito el título del elemento. Si el ítem es una lista, los ítems de la lista podrían escribirse en la tabla "Lista", divididos por ",".

6.5. Ventana de vigilancia de prueba/control. Haga clic en "Ventana de vigilancia de prueba/control" en el menú "Herramientas", se muestra el diagrama de la ventana de vigilancia de prueba/control.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:



mode	0	time	5855.16
REF	0.00	ERR	0
FEED	0.00	LOAD	0
E	0.00	ELONG	0
EV	0.00	ADEF	0
EMODE	0.00	ADEXT	0
UC	0.00	15	50
UO	0.00	16	1001
U	0.00	17	4176
X1	0.00	18	0
X2	0.00	19	4

DI:  0  1  2  3

Err: 0 OK Browse

Set Get

Figura 52.

La ventana muestra el muestreo sobre los controles de la prueba, de modo que se puedan diagnosticar fallas si la prueba tiene algún accidente.

#### 6.6. Registro.

Actualización del sistema de registro de tarjeta Vir, el nuevo método de registro tiene dos ventajas:

- I. Después del registro de la herramienta, el número de registro no se perderá debido a reinstalar el sistema o el software.
- II. Después de que esté registrado permanentemente, puede registrarse a corto plazo nuevamente a través de la herramienta.

#### 6.6.1. Pasos.



Figura 53.

- I. El cliente proporciona el número de máquina (ID de tarjeta), número de serie (sn) y hora de registro.
- II. El fabricante informa al cliente el código de registro y el código de licencia que se genera en base a la información previa.
- III. Salga del software de prueba y ejecute "keytool.exe", ingrese el código correspondiente al registro y el código de licencia para archivar el registro.

#### Capítulo 7. MaxIni.exe.

El nombre "MaxIni.exe" es la caja de herramientas de depuración y es un programa de depuración específico para MaxTest.exe. El programa está en el directorio raíz de MaxTest.exe. Antes de ejecutarlo, hay una contraseña que originalmente es la fecha de hoy (como 20170412), que se puede cambiar en el programa.

El menú de inicio del programa se muestra a continuación:

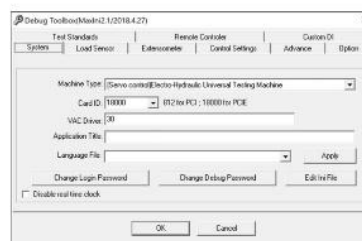


Figura 54.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

Hay ocho páginas en la ventana:

### 7.1. Sistema.

Aparece el diagrama de la página del sistema.

#### 1.7.1. Tipo de máquina.

Seleccione el tipo de máquina de prueba, MaxTest.exe, admite la máquina de prueba universal de control electrónico, (servocontrol) la máquina de prueba universal electrohidráulica, (control de proporción) la máquina de prueba universal electrohidráulica, etc.

#### 1.7.2. Tarjeta de identificación.

Es el ID de la tarjeta de prueba, que se relaciona con el tipo de tarjeta. 812 para PCI y 18000 para PCIE.

#### 1.7.3. Controlador VAC.

Es el controlador VAC de MaxTest.exe, cada máquina de prueba tiene un controlador VAC diferente. Varios controladores VAC de máquinas comunes como se muestran a continuación: visualización en pantalla (100), control electrónico universal (200), servocontrol (300), control de proporción (400).

#### 1.7.4. Archivo de idioma.

Seleccione un paquete de idioma para modificar el idioma de la interfaz del software.

### 7.2. Sensor de carga.



Figura 55.

#### 2.7.1. Lista de cargadores.

Muestra información sobre el sensor de carga. El depurador puede agregar, modificar y eliminar información del sensor haciendo clic en el botón "Agregar", "Editar" y "Eliminar".

Modifique la información del cargador: seleccione un sensor en la lista de cargadores y luego haga doble clic en él o haga clic en el botón "Editar" para que aparezca la ventana de modificación, que se muestra a continuación:

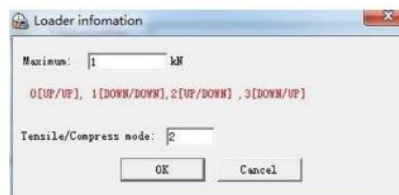


Figura 56.

En esta ventana, el depurador puede establecer el alcance máximo y las direcciones de tracción del sensor de carga. Como se muestra en rojo hacia arriba, "0" indica tracción hacia arriba y comprimir hacia arriba, "1" indica tracción hacia abajo y comprimir hacia abajo, "2" indica tracción hacia arriba y comprimir hacia abajo, "3" indica tracción hacia abajo y comprimir hacia arriba.

#### 2.7.2. Cantidad y modo de rango.

Configure según el sensor de carga instalado, con un rango de 4 a 7. Y configure el modo de rango en 9.

#### 7.3. Extensómetro.

Los métodos y principios de configuración del extensómetro son los mismos que los del sensor de carga, y se pueden configurar hasta 8, aquí ya no repetiremos.

La disposición y el principio del extensómetro son los mismos.

#### 7.4. Configuraciones de control.

Configure el rango de ajuste del desplazamiento, carga y extensión del programa de control, como se muestra a continuación:

MANUAL DEL SOFTWARE		
Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.		
Versión: 001	Efectivo desde:	Página: 22/32



Figura 57.

#### 4.7.1. Cantidad.

Cuántos archivos para proporcionar un ajuste de velocidad total, según los incrementos de 2,5,10.

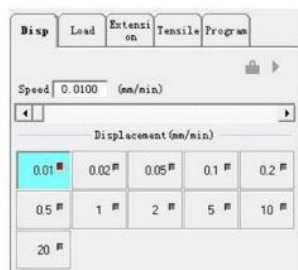


Figura 58.

El número de la cantidad es 11 en la figura de arriba. Atención, la cantidad debe estar entre 5 y 15 (incluye 5 y 15, desplazamiento hasta 18), de lo contrario, MaxTest puede ser anormal.

#### 7.5. Anticipo.



Figura 59.

Esta página se utiliza para personalizar los parámetros de configuración de Vac.dll (consulte las instrucciones del fabricante).

#### 7.6. Opción.

Esta página se utiliza para modificar los datos de análisis y decimales de desplazamiento. El desplazamiento puede mostrar dos o tres decimales según la resolución del aparato de medición.

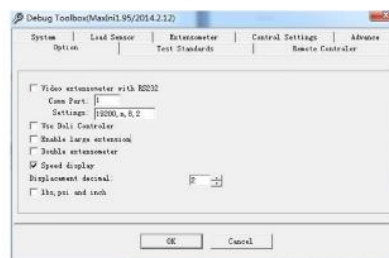


Figura 60.

#### 7.7. Normas de prueba.

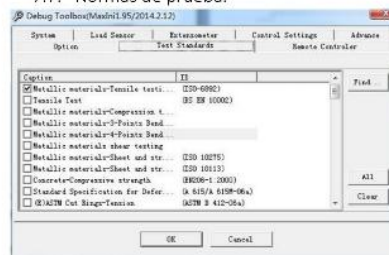


Figura 61.

Esta página se utiliza para seleccionar estándares de prueba. Todos los estándares del programa de pruebas integrado MaxTest se enumeran aquí; es posible que algunos no sean necesarios, los usuarios simplemente los eliminan desmarcando el "✓" de la norma.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

## Capítulo 8. Programación y Ejecución.

### 8.1. Ejecución del programa.

Haga clic en la selección "Programa" en el "Panel de control" para mostrar la interfaz de ejecución de control del programa.



Figura 62.

Seleccione un programa de control adecuado en "Programa", luego presione Botón "Iniciar" para comenzar la prueba, el sistema se ejecutará paso a paso según el programa.

### 8.2. Programación.

El programa es un poco más complejo en términos de ejecución. En el estado de detención, haga clic en el botón "Editar" para abrir la ventana del programa.

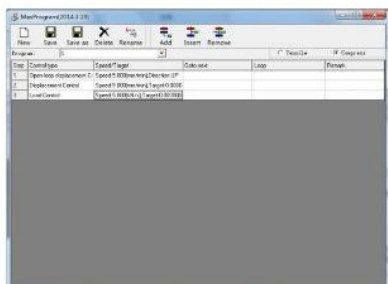


Figura 63.

### 2.8.1. Nuevo, eliminar y cambiar el nombre.

- I. Nuevo: Haga clic en el botón "Nuevo" para crear un archivo de programa nuevo.
- II. Borrar: Haga clic en el para eliminar un programa seleccionado.
- III. Renombrar: Haga clic para renombrar el archivo.

### 2.8.2. Dirección de la carga.



Figura 64.

Para diferentes hosts de prueba, la dirección de tracción y compresión, algunas en la misma dirección, mientras que otras en la opuesta. Por lo tanto, el usuario debe seleccionar el archivo de control en dirección de tracción o compresión.

### 2.8.3. Programación.

Los detalles de control del programa aparecerán en la lista de pasos del programa a continuación, mientras tanto, también es donde el usuario edita el contenido.

### 2.8.4. Editar estructura.

- I. Agregar.

Haga clic en él para agregar una línea de programa según las necesidades al crear un nuevo programa; la nueva línea agregada se encuentra en la parte inferior.

- II. Insertar.

Cuando el mouse esté ubicado en una línea, haga clic en él para insertar una nueva línea de programa antes.

- III. Eliminar.

Haga clic en él después de seleccionar una línea de programa para eliminar una línea.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

2.8.5. Edite el programa.

I. Configurar el modo de control.



Figura 65.

Haga clic en el "Tipo de control" de una línea para que aparezca un menú desplegable de selección de modo de control.

i. Desplazamiento de circuito abierto.

Modo de control de circuito abierto, con un valor de desplazamiento de muestreo como índice de control, solo tiene un parámetro de velocidad para controlar la dirección del desplazamiento, positivo es hacia arriba mientras que negativo es hacia abajo.

ii. Control de desplazamiento.

Con un valor de desplazamiento de muestreo como índice de control. Tiene dos objetivos de control de parámetros y controla la velocidad, el sistema determinará automáticamente la dirección de control en función sobre el valor de control.

iii. Control de carga.

Control de circuito cerrado, valor de carga como índice de control.

iv. Control de esfuerzo.

Circuito cerrado, valor de deformación como índice de control.

v. Control de extensión.

Control en bucle cerrado, valor como índice de control.

vi. Control de cepas.

Control de circuito cerrado, valor de deformación como índice de control

vii. Detener.

Detén la prueba.

viii. Retención del desplazamiento.

Retiene los valores de desplazamiento al cambiar.

ix. Retención de la carga.

Retiene los valores de carga al cambiar.

x. Retención de la extensión.

Retiene los valores de la extensión al cambiar.

Nota: Los tres controles de mantenimiento que solo se utilizan en el caso de los valores objetivo de mantenimiento no se pueden determinar de antemano; si conoce el valor de antemano, elija el control de circuito cerrado de desplazamiento, carga y extensión.

II. Establecer el parámetro de control.

Haga clic en la lista de parámetros de control correspondiente para que aparezca la ventana "Parámetro de control", el parámetro de control establecido es diferente en diferentes modos de control.

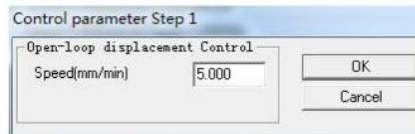


Figura 66.

Generalmente, el parámetro de control tiene velocidad y objetivo. El rango de configuración de velocidad está asociado con el archivo de control máximo y mínimo del modo de control único del panel de control.

Por ejemplo, si el máximo es 500 y el mínimo es 0,05 de velocidad en la página de control de desplazamiento, entonces el valor de velocidad del control de desplazamiento ingresado debe estar entre 0,05 y 500; de lo contrario, el sistema mostrará un cuadro emergente.

III. Establecer la condición de salto.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

Un programa consta de varios pasos, entonces, ¿cuándo es el siguiente paso? Introducimos la condición de salto para resolver el programa.

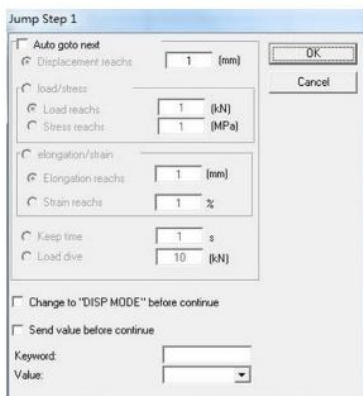


Figura 57.

El salto tiene modo manual y automático, el valor predeterminado es un salto manual.

i. Modo manual.

Si elige el salto manual, debe hacer clic en el botón "Siguiente" en el panel de control para ejecutar el siguiente paso; de lo contrario, el programa permanecerá en este paso

ii. Modo automático.

Marque delante de "Ir automáticamente a siguiente" para elegir el modo de salto automático. Como se muestra en la imagen de arriba, las condiciones de salto están determinadas principalmente por el desplazamiento, la carga, la deformación y el tiempo

iii. Cambiar a "Modo disp." Antes de continuar.

Si marca esta opción, el sistema cambiara automáticamente a modo de desplazamiento antes de pasar al siguiente paso.

iv. Enviar el valor antes de continuar.

Si marca esta opción, el sistema enviará automáticamente los datos de la prueba al panel de datos antes de pasar al siguiente paso.

IV. Establecer bucle.

Cuando un programa necesita repetirse varias veces, introducimos la configuración del bucle.

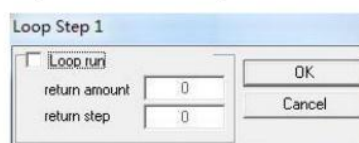


Figura 58.

Capítulo 9. MaxBatch.exe.

MaxBatch.exe puede recopilar los datos de prueba y las curvas más manifestadas e imprimirlas, y el cliente puede personalizar el formato de impresión definido por el usuario.

El menú de inicio del programa se muestra a continuación:

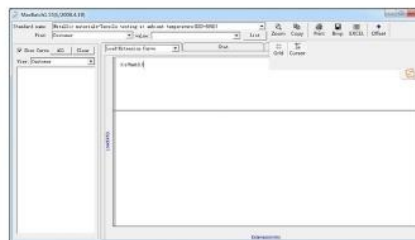



Figura 59.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

### 1.9.1. Barra de herramientas.

Como se muestra en el diagrama, en la parte superior de la ventana hay algunos botones de herramientas:

Tabla 5. Opciones de la barra de herramientas.

Icono	Descripción
	Zoom.
	Copiar.
	Imprimir
	Guardar como archivo .bmp
	Sobresalir establece un sesgo en la curva.
	Compensar.
	Malla.
	Cursor.

### 1.9.2. Cambiar la norma.

En la parte superior izquierda de la ventana, hay un cuadro de lista con el nombre estándar, el diagrama se muestra a continuación:



Figura 70.

### 1.9.3. Condición rogatoria.

En la parte superior izquierda de la ventana, hay un cuadro de lista de condición rogatoria, el diagrama se muestra a continuación:

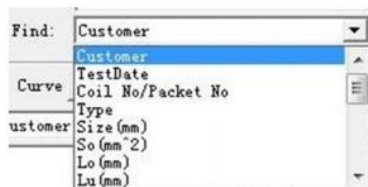


Figura 71.

### Palabra rogatoria.

En la parte superior izquierda de la ventana, hay un cuadro de lista de palabras clave rogatorias, el diagrama se muestra a continuación:



Figura 72.

### 1.9.4. Acta rogatoria.

Cuando se selecciona la condición rogatoria y la palabra clave rogatoria, en la parte superior derecha de la ventana, se enumeran todos los datos correspondientes, el diagrama se muestra a continuación:

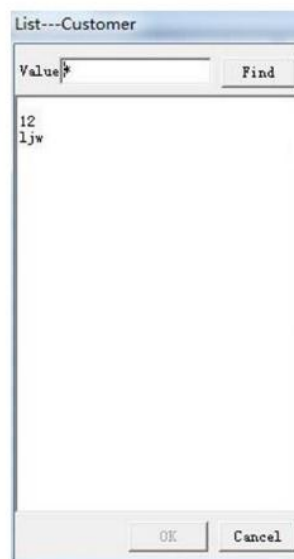


Figura 73.

### 1.9.5. Detalles del expediente.

En el medio de la ventana se muestran los detalles del acta rogatoria, el diagrama se muestra a continuación:

MANUAL DEL SOFTWARE			
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.		
	Versión: 001	Efectivo desde:	Página: 27/32

Load-Extension Curve		Stat				
Item	average	maximum	minimum	standard	disperse	
St (m <sup>2</sup> )	148.44	254.47	113.10	70.665	17.671	
A (K)	18.00	18.00	18.00			
Su (m <sup>2</sup> )						
Z (K)						
Fu (kN)	109.40	183.60	35.20	104.935	52.467	
Fu (MPa)	516.00	721.00	311.00	289.914	144.957	
FuH (kN)	27.96	27.96	27.96			
FuH (MPa)	247.00	247.00	247.00			
FuL (kN)	95.15	166.20	24.10	100.480	50.240	
FuL (MPa)	433.00	653.00	213.00	311.127	155.563	
Fy (kN)	95.15	166.20	24.10	100.480	50.240	
Fy (MPa)	433.00	653.00	213.00	311.127	155.563	
Ft (kN)	13.98	24.96	3.00	15.528	7.764	
Ft (MPa)	116.50	221.00	12.00	147.785	73.893	
Z (GPa)	7.00	7.00	7.00			

Figura 74.

Haga clic en el botón "Imprimir" en la ventana, luego los datos y las curvas se pueden imprimir según el formato de la plantilla.



Figura 75.

Si no tiene plantilla, haga clic en el botón "Nuevo" en la ventana para nueva una plantilla. Como se muestra en el diagrama a continuación, la ventana emergente es un nuevo editor de plantillas de informes.

## Capítulo 10. Tarjeta AD800 y Vir800.

### 10.1. Introducción.

La tarjeta de prueba universal AD800 es una tarjeta PCI adicional para microcomputadora basada en una interfaz PCI, de acuerdo con la especificación PCI2.1. Vir800 es una tarjeta PCI adicional para microcomputadora basada en una interfaz PCI-E, de acuerdo con la especificación PCI-E 1.1. Ambos se pueden conectar directamente a la ranura PCI/PCI-E de una computadora; a través de una simple conexión a la máquina de prueba, se puede lograr una medición y control automáticos por microcomputadora (PIPcug&Test).

### 10.2. Instalación y desinstalación.

#### 2.10.1. Pasos de instalación del hardware.

- I. Cortar toda la energía.
- II. Abra la tapa de la computadora.
- III. Haga que la tarjeta de prueba universal AD800/Vir800 este alineada verticalmente con una ranura de expansión PCI/PCI-E y asíéntela.
- IV. Monta el deflector de expansión dentro de otro espacio vacío.
- V. Apriete los tornillos para sujetar la tarjeta de prueba y el deflector.
- VI. Cierre la tapa de la computadora.

#### 2.10.2. Pasos de instalación del controlador Vir800.

- I. Encienda la computadora y abra el paquete de instalación, seleccione "StartRun" y haga doble clic en "Ejecutar".
- II. Haga clic en el "Driver de instalación AD1800", El sistema instalara automáticamente el driver.
- III. Después de completar la instalación, se muestra "instalación completada exitosamente".

#### 2.10.3. Pasos de instalación del controlador AD800.

- I. Encienda la computadora y ponga el disco de instalación en el puerto del CD-ROM.
- II. Después de iniciar Windows, aparece la ventana "Buscar nuevo hardware", la ventana PCI Brige encuentra nuevo hardware y ahora está buscando software
- III. Agregue el nuevo asistente de hardware dando clic en "Siguiente".
- IV. Windows buscará nuevos controladores en la base de datos del directorio. sigue en la ubicación seleccionada del disco duro. Elige la ubicación especificada.
- V. Busque el disco de instalación, seleccione el directorio de la unidad, como AD800 y haga clic en "Siguiente".

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 28/32

- VI. Búsqueda de controladores de dispositivo de Windows: Tarjeta de Pruebas Universal AD800 y haga clic en "Siguiente".
- VII. Windows ha instalado un nuevo dispositivo de hardware que requiere software y haga clic en "Listo".
- VIII. Reinicia Windows y podrás ver "el tipo de dispositivo UTC, nombre Tarjeta de Pruebas Universal AD800" en "Propiedades del Sistema\Administrador de Dispositivos".
- 2.10.4. Pasos de desinstalación.
- Apague la computadora, corte toda la energía.
  - Retire los cables de entrada y salida.
  - Abra la cubierta de la computadora.
  - Retire los tornillos utilizados para fijar la tarjeta de prueba y el deflector.
  - Saque la tarjeta de prueba del slot de expansión en línea recta.
  - Retire el deflector.
  - Cierra la cubierta de la computadora.

### 10.3. Definición de la interfaz Vir800.

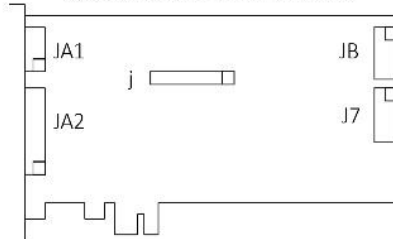


Figura 76.

Tabla 6. Definición de agujeros de la tarjeta DB25 (JA2)

Pin	Definición	Función
1	AIN	Entrada analógica (Mando)
2	VCCD_12	12V digitales
3	PA+	Codificador A+
4	PB+	Codificador B+
16	PA-	Codificador A-
17	PB-	Codificador B-
5	DIO	Entrada digital 0
18	DI1	Entrada digital 1
6	DI2	Entrada digital 2
19	DI3	Entrada digital 3
7	GNDDI	Tierra de entrada digital
8	DO3-/PNMA-/PWMA-	Entrada digital 3, PNM, PWMA multiplexado, Salida diferencial, Terminal negativo.
20	DO3+/PNMA+/PWMA+	Entrada digital 3, PNM, PWMA multiplexado, Salida diferencial, Terminal negativo.
9	DO0-	Entrada digital 0, Salida diferencial, Terminal negativo.
21	DO0+	Entrada digital 0, Salida diferencial, Terminal negativo.
10	DO1-	Entrada digital 1, Salida diferencial, Terminal negativo.
22	DO1+	Entrada digital 1, Salida diferencial, Terminal negativo.
11	DO2-/PNMB-/PWMB-	Entrada digital 2, PNM, PWMA multiplexado, Salida diferencial, Terminal negativo.
23	DO2+/PNMB+/PWMB+	Entrada digital 2, PNM, PWMA multiplexado, Salida diferencial, Terminal negativo.
14	DA	Salida analógica servo
15	GNDA	Tierra analógica
13	VCCD_5	5V digitales
25	GND	Tierra digital
Else	Vacante	

MANUAL DEL SOFTWARE			
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.		
	Versión: 001	Efectivo desde:	Página: 29/32

Tabla 7. Definición de agujeros de la tarjeta DB9 (canal de carga JA1).

Pin	Definición	Función
1	GNDA	Tierra analógica.
2	SIGNALA+	Señal del sensor A+
3	SIGNALA-	Señal del sensor A-
4	VCCA_5	Analógico 5V
5	GNDA	Tierra analógica (Conectar blindaje).
Else	Vacante	

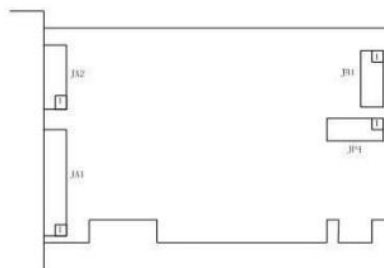


Figura 77.

Tabla 8. Definición de pines de la tarjeta DB9 (canal del extensómetro JB1).

Pin	Definición	Función
1	GNDA	Tierra analógica.
2	SIGNALA+	Señal del sensor B+
3	SIGNALA-	Señal del sensor B-
4	VCCA_5	Analógico 5V
5	GNDA	Tierra analógica (Conectar blindaje).
Else	Vacante	

Tabla 9. Definición de pines de la tarjeta DB25 (canal del extensómetro largo JP4).

Pin	Definición	Función
1	EX_PA1+	Ampliación grande A1+
14	EX_PA1-	Ampliación grande A1-
2	EX_PB1+	Ampliación grande B1+
15	EX_PB1-	Ampliación grande B1-
3	EX_PA2+	Ampliación grande A2+
16	EX_PA2-	Ampliación grande A2-
4	EX_PB2+	Ampliación grande B2+
17	EX_PB2-	Ampliación grande B2-
5	Tierra	Tierra digital
18	VCCD_5	5V digitales
Else	Vacante	

- I. JA2: 9 agujeros centrales conectan el sensor, las definiciones de pines se muestran en la Tabla 6.
- II. JB1: La interfaz negra de 10 pines se conecta al deflector de 9 núcleos conectado a través de cables planos, luego al sensor, las definiciones de pines del 1 al 9 son iguales que JA2, el 10 está vacante. el método de fabricación de interfaces cortas de 9 pines y orificio como se muestra en la Tabla 8.
- III. JA1: El agujero de 25 núcleos es una interfaz común de entrada y salida multifunción, las definiciones de pines se encuentran en la Tabla 7.
- IV. JP4: La interfaz blanca de 10 pines se conecta al deflector de 25 núcleos a través de cables planos, es una interfaz de entrada de gran extensión, las definiciones de pines se encuentran en la Tabla 9.

#### 10.4. Definición de la interfaz AD800.

La tarjeta de prueba universal AD800 proporciona dos interfaces de entrada/salida básicas de 9 núcleos (JA2) y 25 núcleos (JA1), y una interfaz de entrada/salida de 10 pines (JB1).

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 30/32

Tabla 10. Definición de pines de la tarjeta de 9 núcleos.

Pin	Definición	Función	Remarca.
1	-VREF	Alimentación Negativa de la Fuente de Alimentación del Puente.	AD700: -5V AD800 Canal A: -2.5V Canal B: 0V.
2	+SIGN	Señal positiva.	
3	-SIGN	Señal negativa.	
4	+VREF	Alimentación Negativa de la Fuente de Alimentación del Puente	AD700: +5V AD800: +7.5V
5	GNDA	Tierra analógica.	
6	GNDA	Tierra analógica.	
7	-VFB	Retroalimentación del puente negativo.	
8	+VFB	Retroalimentación del puente positivo.	
9	GNDA	Tierra analógica.	

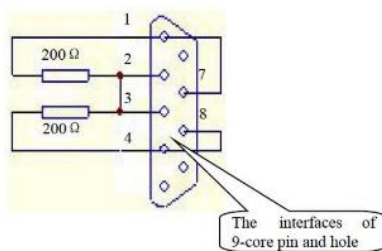


Figura 78.

Tabla 11. Definición de agujeros de la tarjeta de 25 núcleos.

Pin	Definición	Función
1	ANIN	Entrada analógica externa
2	+12V	Analógico 12V
3	PAIN+	Entrada diferencial de pulso digital Terminal Positivo Fase A
4	PBIN+	Terminal Positivo Fase A
5	DIND	Entrada diferencial de pulso digital
6	DIN1	Terminal Positivo Fase B

Pin	Definición	Función
7	GNDDI	Canal de entrada del interruptor digital 0
8	PULOUT-	Canal de entrada del interruptor digital 2
9	DOUT0-	Ronda de entrada digital
10	DOUT1-	SWP/PWM Salida de señal negativa
11	DOUT2-	Canal de salida diferencial digital 2 terminales negativos
12	DO1	Reserva
13	VCC	5V digitales
14	DAOUT	Salida DA
15	GNDA	Tierra analógica
16	PAIN-	Entrada diferencial de pulso digital
17	PBIN-	Terminal Negativo Fase A
18	DIN1	Entrada diferencial de pulso digital.
19	DIN3	Canal de entrada del interruptor digital 3
20	PULOUT+	Salida de señal SWP/PWM positiva Terminal
21	DOUT0+	Canal de salida diferencial digital 0 Terminal positivo
22	DOUT1+	Canal de salida diferencial digital 1 terminal positivo
23	DOUT2+	Canal de salida diferencial digital 2 terminales positivos
24	DO0	Reserva
25	GNDD	Tierra digital

Tabla 12. Definición de pines de la tarjeta de 25 núcleos.

Pin	Definición	Función
2	GND	Tierra común.
4	A1	Canal 1 Codificador A Fase
5	B1	Canal 1 Codificador B Fase
14	5V+	Fuente de alimentación positiva
17	A2	Canal 2 Codificador A Fase
18	B2	Fase B del codificador del canal 2

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

### Capítulo 11. Imprimir en Excel.

Hay dos modos de impresión del programa, uno es el modo común y el otro es el modo Excel. Si los datos de la prueba se imprimirían en modo Excel, la computadora debería tener instalado Microsoft Excel.

#### 11.1. Imprimir los datos.

- I. Cambie al tablero de datos después de completar la prueba, como se muestra abajo:

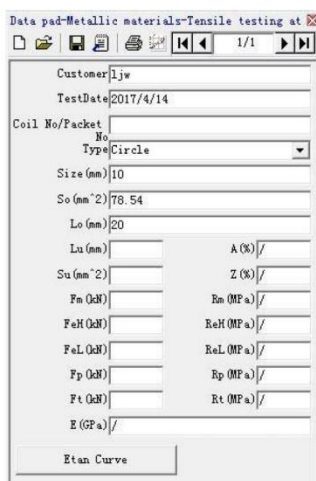


Figura 79.

- II. Y luego haga clic en el botón "Imprimir en Excel" para que aparezca "Estadísticas e Imprimir en Excel", como se muestra a continuación:

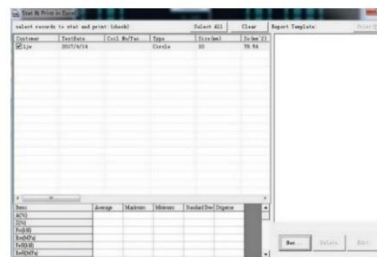


Figura 80.

La parte izquierda de la ventana muestra los datos que se imprimirán, la parte derecha de la ventana enumera las plantillas de informes

- III. Presente los datos y seleccione una plantilla de informe, haga clic en botón "Imprimir", los datos se completarán en Microsoft Excel, como se muestra a continuación:

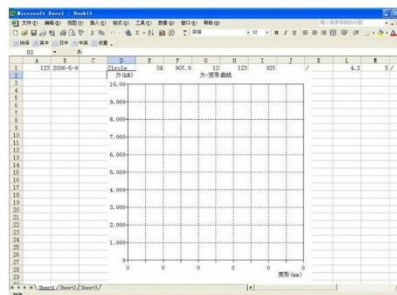



Figura 81.

En esta ventana, si hay alguna falta en el informe, eso se puede modificar aquí.

- IV. Finalmente, seleccione la opción "Imprimir" en el menú "archivo" o clic en el botón , los datos se imprimirán.

#### 11.2. Nueva plantilla.

En esta sección, se presenta cómo crear una nueva plantilla de informe en el modo de impresión de Excel.

MANUAL DEL SOFTWARE		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

Obsérvese que es diferente crear una plantilla en el modo de impresión común, en el modo de impresión de Excel, se deben crear dos archivos: un archivo de Excel y un archivo posicional. El archivo Excel se usa como tabla y el archivo posicional se usa para indicar a los datos en qué posición se completa.

- I. Abra la ventana "Estadísticas e impresión en Excel" y haga clic en el botón "Nuevo" para crear una nueva plantilla de informe.
- II. Ingrese un nombre para la nueva plantilla y luego haga clic en "Guardar", ventana emergente "Localización de Excel" como se muestra a continuación:

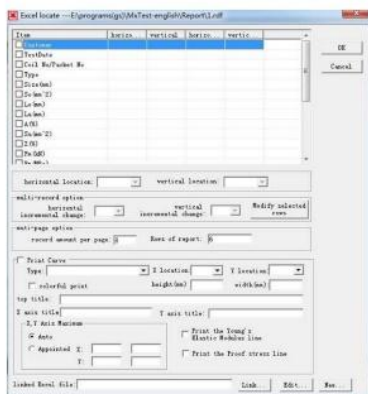


Figura 82.

Como muestra el diagrama, esta ventana se utiliza para definir la posición de los datos en el archivo de Excel.

En la parte inferior de la ventana, hay una hoja de "archivo de Excel vinculado", que se utiliza para ubicar el archivo de Excel asociado.

En la parte superior izquierda de la ventana, se enumeran todos los elementos de impresión; si está marcado, significa que se pueden imprimir.

En la parte superior derecha de la ventana, se muestran los parámetros posicionales del elemento de impresión.



Figura 83.

En el centro de la ventana, se utiliza para definir los parámetros posicionales del elemento de impresión, como se muestra en el diagrama a continuación, la posición horizontal y la posición vertical corresponden a la posición en Microsoft Excel.



Figura 84.

Si hay datos multilaterales para imprimir, complete los parámetros en el marco de "opción de múltiples registros".

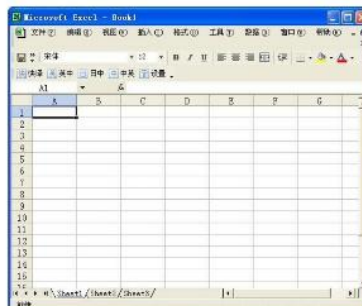


Figura 85.

Si las curvas se van a imprimir, marque "Imprimir curva" y complete la definición de la curva de impresión.



Figura 86.

### 5.3 Manual de guías prácticas.

Este manual de guías prácticas de Laboratorio ha sido diseñado para proporcionar instrucciones y procedimientos estandarizados para el uso de la UTM. En este compendio se incluyen una guía práctica enfocada en el ensayo de tensión y una en el ensayo de flexión, cada una elaborada para garantizar una comprensión clara y precisa de los procedimientos de la prueba. Ambas guías comprenden desde el establecimiento de los parámetros para la preparación de muestras, los parámetros de configuración del equipo y la interpretación de resultados. Este manual está diseñado como material de apoyo para estudiantes. Para fines didácticos, el parámetro que varía en el control de la prueba puede ser el material, el tipo, el patrón o la densidad de relleno del espécimen, la velocidad o carga aplicada durante el ensayo, el control de temperatura o la humedad durante la impresión, entre otros. Esto con el objetivo de ofrecer una perspectiva práctica de los conocimientos conceptuales adquiridos en la materia.

MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO			
	Universidad de El Salvador Facultad de Ingeniería y Arquitectura Escuela de Ingeniería Mecánica	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	Versión: 001
		Elaborado por: RA17023, RC15077	Efectivo desde: Página: 2/18


## Historial de Cambios.

Versión	Efectividad	Autor	Descripción del cambio
001	Efectivo desde:	Jefe del Laboratorio	Versión inicial del documento.

Rol	Aprobación / Fecha
Jefe del Laboratorio	

## Contenido:

1.	Generalidades.	3
1.1	Prólogo.	3
2.	Objetivos.	3
2.1	General.	3
2.2	Específicos.	3
3.	Alcances.	4
4.	Formatos de guías prácticas de Laboratorio.	5
4.1	Identificación de la influencia del patrón de relleno y el tipo de material en las propiedades mecánicas de materiales fabricados por MA mediante el ensayo de tensión.	5
4.2	Influencia de la velocidad de ensayo en la resistencia de materiales fabricados por Manufactura Aditiva y ensayados a flexión.	13

<b>MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

## 1. Generalidades.

### 1.1 Prólogo.

En el manual de guías prácticas del Laboratorio de ensayo de materiales fabricados por manufactura aditiva, se encuentran una serie de guías diseñadas para explorar diversos aspectos relacionados con la evaluación de materiales obtenidos mediante la técnica de impresión 3D FDM. Este manual se centra en proporcionar una guía detallada para llevar a cabo ensayos de materiales fabricados por manufactura aditiva y entender cómo diferentes variables afectan sus propiedades mecánicas. Cada guía práctica aborda un aspecto particular de la evaluación de estos materiales, desde la influencia del tamaño y el relleno del área transversal en ensayos de tensión hasta la comparación de la resistencia mecánica de distintos polímeros utilizados en la fabricación aditiva. Asimismo, se analiza cómo la velocidad de ensayo puede influir en la resistencia de los materiales ensayados a flexión. Se espera que este manual sirva como una herramienta valiosa para estudiantes, investigadores y profesionales que buscan comprender mejor las propiedades y el comportamiento de los materiales fabricados por manufactura aditiva. Cada guía ha sido diseñada con estrategia y claridad práctica para facilitar su aplicación en el laboratorio y contribuir al avance del conocimiento en este emocionante campo de la ingeniería de materiales.

## 2. Objetivos.

### 2.1 General.

Proporcionar el procedimiento para llevar a cabo ensayos y análisis de materiales obtenidos mediante fabricación por manufactura aditiva, con el fin de comprender mejor sus propiedades mecánicas y su comportamiento en diferentes condiciones de fabricación.

### 2.2 Específicos.

- Comprender cómo el tamaño y el relleno del área transversal afectan las propiedades mecánicas de los materiales fabricados por manufactura aditiva, específicamente en ensayos de tensión.
- Comparar la resistencia mecánica de diversos polímeros utilizados en la fabricación aditiva mediante ensayos de tensión, identificando las diferencias en sus características y desempeño.
- Evaluar la influencia de la velocidad de ensayo en la resistencia de materiales fabricados por manufactura aditiva, centrándose en ensayos de flexión para determinar cómo este factor afecta su comportamiento estructural y su respuesta ante cargas aplicadas.

<b>MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:

### 3. Alcances.

- Establecer procedimientos estandarizados para la realización de ensayos de tensión en materiales fabricados por manufactura aditiva.
- Proporcionar recomendaciones para la configuración y calibración adecuadas de equipos de ensayo, así como para la interpretación precisa de los resultados obtenidos, garantizando la fiabilidad y reproducibilidad de los datos experimentales.
- Comparar la resistencia mecánica de diferentes polímeros utilizados en la fabricación aditiva mediante ensayos de tensión, proporcionando pautas claras para la selección de materiales en aplicaciones específicas.
- Evaluar cómo la velocidad de ensayo afecta la resistencia de materiales fabricados por manufactura aditiva mediante ensayos de flexión, lo que ayuda a comprender mejor el comportamiento mecánico de estos materiales bajo diferentes condiciones de carga.
- Explorar la relación entre las propiedades mecánicas de los materiales fabricados por manufactura aditiva y sus características de diseño, ofreciendo pautas para la optimización del proceso de impresión 3D con el fin de mejorar el rendimiento estructural de los componentes producidos.

MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 5/18

#### 4. Formatos de guías prácticas de Laboratorio.

##### 4.1 Identificación de la influencia del patrón de relleno y el tipo de material en las propiedades mecánicas de materiales fabricados por MA mediante el ensayo de tensión.

La guía práctica se enfoca en explorar cómo el patrón de relleno influye en las propiedades mecánicas de materiales fabricados por manufactura aditiva. A través de una actividad práctica y un pequeño análisis, esta guía busca proporcionar una comprensión más profunda sobre cómo el tamaño y el relleno del área transversal afectan la resistencia a la tensión de estos materiales.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ENSAYOS A MATERIALES POLIMERICOS FABRICADOS  
POR MANUFACTURA ADITIVA



Guía práctica #1: "Identificación de la influencia del patrón de relleno y el tipo de material en las propiedades mecánicas de materiales fabricados por MA mediante el ensayo de tensión."

Docente: \_\_\_\_\_

	Alumnos:	Carnet:
1.	_____	_____
2.	_____	_____
3.	_____	_____

Ciudad Universitaria, \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_.

<b>MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 6/18

#### I. Introducción.

La presente práctica proporciona el procedimiento para llevar a cabo el ensayo ASTM D638 (Ensayo de tensión) en muestras fabricadas por Modelado por Deposición Fundida. Aunque las muestras se fabrican bajo condiciones controladas, se permite que un parámetro varíe según la decisión de los estudiantes para establecer un punto de comparación de cada espécimen contra la ficha técnica que ofrece el fabricante. El ensayo se realiza en la UTM WDW-5E, de manera que se obtengan datos precisos de las características mecánicas de la muestra. El ensayo se desarrolla a través de una actividad práctica que permite analizar la influencia de cada factor en la resistencia de un material impreso por manufactura aditiva.

#### II. Objetivos.

- Establecer el procedimiento detallado para ejecutar correctamente el ensayo de tensión en muestras, siguiendo las normas establecidas, con el fin de obtener datos precisos sobre las características mecánicas de los materiales impresos.
- Permitir que los estudiantes seleccionen y varíen un parámetro específico durante la fabricación de las muestras para comparar los resultados obtenidos con la ficha técnica proporcionada por el fabricante.
- Llevar a cabo el ensayo de tensión, que permitan a los estudiantes identificar y evaluar cómo cada factor influye en la resistencia de los materiales fabricados por manufactura aditiva.

#### III. Material y equipo.

- Máquina Universal de Ensayos (WDW – 5E).
- Mordazas de sujeción para ensayos de tensión.
- Extensómetro.
- Calibrador Vernier.
- Micrómetro.
- Especímenes de material impreso en 3D FDM según la norma ASTM D638.
- Ficha técnica impresa del material empleado para la elaboración del espécimen.

#### IV. Conocimiento previo.

- Ensayo de tensión.
- Norma ASTM D638 (Ensayo de tensión).
- Reglas de diseño cuando se imprime en 3D FDM.
- Patrón y densidad de relleno en especímenes de ensayo de tensión impresos mediante Manufactura Aditiva.

## MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO



Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.

Versión: 001

Efectivo desde:

Página: 7/18

### V. Procedimiento del ensayo.

A continuación, se enlista una serie de pasos para realizar ensayo de tracción a materiales poliméricos fabricados por Manufactura Aditiva.

- Utilizar el calibrador vernier y el micrómetro para medir el ancho y el espesor de cada muestra y así determinar el tipo de espécimen a analizar.
- Colocar la muestra en las mordazas de la máquina de ensayo, asegurándose de alinear el eje mayor de la muestra y las mordazas con una línea imaginaria que conecte los puntos de unión de las mordazas a la máquina, como se muestra en la Figura 1.

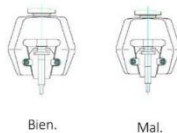


Figura 1. Colocación de la muestra en la mordaza de sujeción. La imagen superior muestra la forma correcta y la imagen inferior muestra la forma incorrecta de colocarla.

- Ajustar las mordazas de manera uniforme y firme para evitar deslizamientos durante la prueba.
- Colocar el indicador de extensión según se muestra en la Figura 2.



Figura 2. Correcta colocación del extensómetro en el espécimen de ensayo. Los extremos del extensómetro deben alinearse con las muescas en el espécimen que indican la longitud calibrada.

- Establecer la velocidad de prueba según las recomendaciones de la Tabla 1. Se debe emplear una velocidad media que produzca la ruptura entre los 30 segundos y 1 minuto.

Tabla 1. Designaciones para velocidades de ensayo de tensión. En texto negro se resaltan las velocidades utilizadas para los materiales utilizados en los LFD.

Clasificación	Tipo de muestra	Velocidad de prueba, mm/min (pulg/min)	Esfuerzo nominal, rango de inicio de prueba mm/mm min (in/in min)
		50(2) ± 25%	0.1
		50(2) ± 10%	1.0
		500(20) ± 10%	10.0
	IV	50(2) ± 25%	0.2
<b>Rigido y Semirigido</b>		50(2) ± 10%	1.5
		500(20) ± 10%	15.0
		10(0.5) ± 25%	0.1
	V	10(0.5) ± 25%	1.0
		100(2) ± 10%	10.0
		50(2) ± 10%	1.0
	III	500(20) ± 10%	10.0
No Rigidos		50(2) ± 10%	1.5
	IV	500(20) ± 10%	15.0

<b>MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 8/18

- Encender la máquina WDW-5E según las instrucciones que se detallan en el Manual de Software, Capítulo 3: Interfaz de operación. El técnico del Laboratorio programará la velocidad de ensayo según la norma (recomendable 5.0 mm/min) y la carga (30%FS) previo al ensayo.
- El equipo registra la curva de Esfuerzo vs Deformación de la muestra según las instrucciones y programación que se indican en el Manual de Software.
- Imprimir los datos obtenidos una vez completada la prueba.

VI. Actividad #1: Estudio de la Influencia del patrón de relleno en las propiedades mecánicas de materiales impresos en 3D FDM.

a. Indicaciones generales.

- En grupos de 3 integrantes, elaborar una probeta de ensayo de tensión fabricada mediante impresión 3D. Dicho espécimen debe ser de PLA (Ácido Poliláctico), las características de impresión del material se presentan en la Tabla 2. Para la actividad es necesario la adquisición de la ficha técnica del material empleado.

Tabla 2. Guía de materiales de Impresión 3D en estudiados e implementados en las LFD.

GUIA DE MATERIALES DE IMPRESIÓN 3D EN FDM						
	MATERIAL	PLA	ABS	NYLON	TPU	
TEMPERATURA	Tª cabezal	180-210°	220-250°	220-270°	225-240°	DIFERENCIACION
	Tª cama	0-50°	90-110°	70-90°	0-60°	
	Tª servicio	51°	98°	80-95°	60-74°	MECÁNICAS
TOXICIDAD						
IMPRESIÓN	DIFICULTAD					CONTENIDOS
	COMPARACIONES					
PREPARACIÓN	SUPERFICIE					ALABALAZOS SUPERFICIALES
	CINTA					
	TREATAMIENTO					
	ARAZADO					
	ESPECIAL					
	AMBIENTE					
VENTILADOR DE CAJA						

**MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.

Versión: 001

Efectivo desde:

Página: 9/18

- La muestra a elaborar debe ser de un único tipo (Ver Figura 3), el tipo IV para comparaciones de plásticos rígidos y blandos según la norma ASTM D638.



Tipo IV

Figura 3. Dimensiones de espécimen tipo IV para materiales poliméricos rígidos y semirígidos según la norma ASTM D638.

- La muestra a elaborar debe contener cualquiera de los patrones de impresión indicados en la Figura 4. La densidad de relleno de la muestra debe ser de 40%.

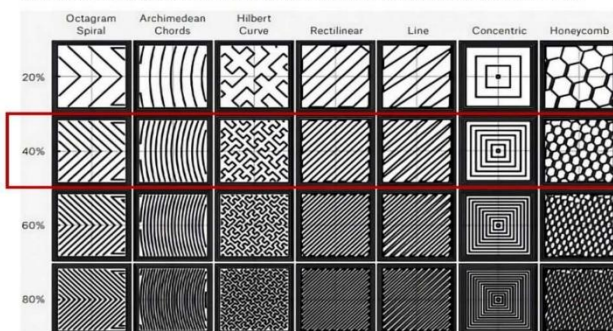


Figura 4. Tipos de patrones de relleno en la impresión 3D.

- La muestra a elaborar debe fabricarse con capas orientadas al plano XY como se indica en la Figura 5. Es decir, las capas de impresión se adhieren en paralelo al plano XY del espécimen.

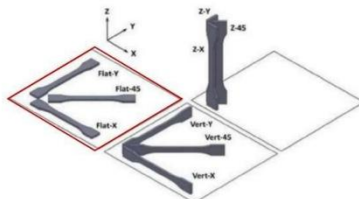


Figura 5. Direcciones de impresión de las probetas fabricadas mediante MA.

### MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.

Versión: 001

Efectivo desde:

Página: 10/18

#### b. Caracterización del espécimen.

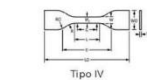
- Utilizar el calibrador vernier y el micrómetro para determinar la geometría de la muestra de su grupo. Para obtener más precisión en los resultados, se debe completar las mediciones presentadas en la *Tabla 3*.

*Tabla 3. Caracterización del espécimen de ensayo, antes y después de la práctica 1.*

Caracterización de especímenes de ensayo					
Variable	Descripción	Unidad	Valor		
-	Material de probeta		PLA		
-	Tipo de probeta		IV		
-	Densidad de relleno	%	40		
-	Patron de relleno		<input type="text"/>		
-	Orientacion de las capas		XY		

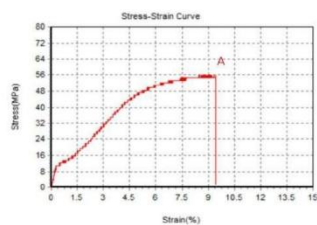
  

Variable	Descripción	Unidad	Valor	Valor	Valor	Prom.
			inicial	inicial	inicial	
			1	2	3	
W	Ancho de la sección estrecha.	mm				
L	Longitud de la sección estrecha.	mm				
W <sub>0</sub>	Ancho total.	mm				
L <sub>0</sub>	Longitud total.	mm				
G	Longitud calibrada.	mm				
D	Distancia entre mordazas.	mm				
R	Radio del filete.	mm				
R <sub>0</sub>	Otro radio de filete (Tipo IV).	mm				



#### c. Lectura de datos de características mecánicas de la muestra.

Con los datos obtenidos mediante el software, como se muestra en la *Figura 6*. Identifique el punto de ruptura A de la muestra y complete los datos en la *Tabla 4*.



*Figura 6. Gráfico esfuerzo – deformación generado por la UTM al finalizar el ensayo de tensión de una probeta de material polimérico.*

*Tabla 4. Carga a la rotura del espécimen.*

Variable	Descripción	Unidad	Valor
A	Carga a la rotura de espécimen	MPa	<input type="text"/>
	Carga nominal	MPa	<input type="text"/>
	Extension	mm	<input type="text"/>
	Tiempo de ensayo	s	<input type="text"/>

MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 11/18

#### Discusión de resultados.

- Compare los datos de resistencia del material obtenidos mediante el ensayo, con los datos proporcionados por el fabricante mediante la ficha técnica.
  - o ¿Son similares los datos de resistencia a la tensión?
   
\_\_\_\_\_
  - o Si los datos no son similares. Interprete, que influencia tiene el patrón de relleno en la resistencia a la tensión del espécimen:
   
\_\_\_\_\_
  - o Si los datos no son similares. Interprete, que influencia tiene el área y geometría en la resistencia a la tensión del espécimen:
   
\_\_\_\_\_

#### VII. Actividad #2: Estudio de la Influencia del tipo de material en las propiedades mecánicas de materiales impresos en 3D FDM.

##### a. Indicaciones generales.

- En grupos de 3 integrantes, elaborar una probeta de ensayo de tensión fabricada mediante impresión 3D. Dicho espécimen debe ser de cualquiera de los materiales presentados en la Tabla 2, las características de impresión del material se presentan en la misma tabla. El docente asignará el material del espécimen a cada grupo. Para la actividad es necesario la adquisición de la ficha técnica del material empleado.
- La muestra a elaborar debe contener un patrón de impresión *Concéntrico*. La densidad de relleno de la muestra debe ser de **40%**. (Ver *Figura 7*).



Figura 7. Patrón de impresión concéntrico con densidad de relleno del 40%

- La muestra a elaborar debe fabricarse con capas orientadas al plano XY como se indica en la *Figura 5*. Es decir, las capas de impresión se adhieren en paralelo al plano XY del espécimen.
- ##### b. Caracterización del espécimen.
- Utilizar el calibrador vernier y el micrómetro para determinar la geometría de la muestra de su grupo. Para obtener más precisión en los resultados, se debe completar las mediciones presentadas en la *Tabla 5*.

<b>MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 12/18

Tabla 5. Caracterización del espécimen de ensayo, antes y después de la práctica 2.

Caracterización de especímenes de ensayo						
Variable	Descripción	Unidad	Valor			
	Material de probeta		<input type="text"/>			
	Tipo de probeta		IV			
	Densidad de relleno	%	40			
	Patrón de relleno		Concentrico <input checked="" type="checkbox"/>			
	Orientación de las capas		XY <input checked="" type="checkbox"/>			

Variable	Descripción	Unidad	Valor Inicial	Valor Final 1	Valor Final 2	Valor Final 3	Prom.
W	Ancho de la sección estrecha.	mm					
L	Longitud de la sección estrecha.	mm					
W <sub>0</sub>	Ancho total.	mm					
L <sub>0</sub>	Longitud total.	mm					
G	Longitud calibrada.	mm					
D	Distancia entre mordazas.	mm					
R	Radio del filete.	mm					
R <sub>0</sub>	Otro radio de filete (Tipo IV).	mm					

- c. Lectura de datos de características mecánicas de la muestra.  
 Con los datos obtenidos mediante el software, como se muestra en la *Figura 6*.  
 Identifique el punto de ruptura A de la muestra y complete los datos en la *Tabla 6*.

Tabla 6. Carga a la rotura del espécimen.

Variable	Descripción	Unidad	Valor
A	Carga a la rotura de espécimen	MPa	<input type="text"/>
	Carga nominal	MPa	<input type="text"/>
	Extension	mm	<input type="text"/>
	Tiempo de ensayo	s	<input type="text"/>

- d. Discusión de resultados.
- Analice el efecto del tipo de material del que está fabricado su espécimen durante el ensayo y en los resultados obtenidos:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_
  - Investigue al menos 2 aplicaciones que tiene el material del que este fabricado su espécimen.  
 1. \_\_\_\_\_ 2. \_\_\_\_\_

<b>MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 13/18

4.2 Influencia de la velocidad de ensayo en la resistencia de materiales fabricados por Manufactura Aditiva y ensayados a flexión.

Esta guía práctica se centra en explorar cómo la densidad de relleno afecta la resistencia de materiales fabricados por MA cuando son sometidos a pruebas de flexión. Se busca comprender cómo la variación de la densidad de relleno de un mismo patrón puede influir en las propiedades mecánicas, proporcionando así información crucial para su aplicación en diferentes contextos de ingeniería.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
ENSAYOS A MATERIALES POLIMERICOS FABRICADOS  
POR MANUFACTURA ADITIVA



Guía práctica #2: "Influencia de la velocidad de ensayo en la resistencia de materiales fabricados por Manufactura Aditiva y ensayados a flexión".

Docente: \_\_\_\_\_

Alumnos:	Carnet:

Ciudad Universitaria, \_\_\_ / \_\_\_ / \_\_\_\_.

<b>MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 14/18

#### I. Introducción.

La presente práctica proporciona el procedimiento para desarrollar el ensayo ASTM D790 (Ensayo de flexión) en muestras fabricadas por Modelado por Deposición Fundida. Si bien, las muestras se fabrican bajo condiciones controladas, se permite que un parámetro varíe según la decisión de los estudiantes para establecer un punto de comparación de cada espécimen contra la ficha técnica que ofrece el fabricante. El ensayo se realiza en la UTM WDW-5E, de manera que se obtengan datos precisos de las características mecánicas de la muestra. El ensayo se desarrolla a través de una actividad práctica que permite analizar la influencia de cada factor en la resistencia de un material impreso por manufactura aditiva.

#### II. Objetivos.

- Establecer el procedimiento detallado para ejecutar correctamente el ensayo de flexión en muestras, siguiendo las normas establecidas, con el fin de obtener datos precisos sobre las características mecánicas de los materiales impresos.
- Permitir que los estudiantes seleccionen y varíen un parámetro específico durante la fabricación de las muestras para comparar los resultados obtenidos con la ficha técnica proporcionada por el fabricante.
- Llevar a cabo el ensayo de flexión, que permitan a los estudiantes identificar y evaluar cómo cada factor influye en la resistencia de los materiales fabricados por manufactura aditiva.

#### III. Material y equipo.

- Máquina Universal de Ensayos (WDW – 5E).
- Mecanismo de flexión de tres puntos (Identador y apoyos).
- Calibrador Vernier.
- Micrómetro.
- 1 espécimen de material impreso en 3D FDM según la norma ASTM D790.
- Ficha técnica impresa del material empleado para la elaboración del espécimen.

#### IV. Conocimiento previo.

- Ensayo de flexión.
- Norma ASTM D790 (Ensayo de flexión).
- Reglas de diseño cuando se imprime en 3D FDM.
- Patrón y densidad de relleno en especímenes de ensayo de tensión impresos mediante Manufactura Aditiva.

**MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO**



Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.

Versión: 001

Efectivo desde:

Página: 15/18

**V. Procedimiento del ensayo.**

A continuación, se enlista una serie de pasos para realizar ensayo de flexión a materiales poliméricos fabricados por Manufactura Aditiva.

- Mida el ancho y la profundidad de la muestra con una precisión de **0.03 mm** en el centro del tramo de soporte.
- Calcule la velocidad del movimiento de la cruceta de la siguiente manera y configure la máquina para la velocidad de la cruceta calculada con la siguiente ecuación.

$$R = \frac{ZL^2}{6d} \quad \text{Ecuación 1}$$

- Donde:
  - R: velocidad de movimiento de la cruceta
  - L: tramo de soporte, **mm (pulg)**
  - d: Profundidad de la viga, **mm (pulg)**
  - Z: velocidad de deformación de la fibra exterior, será constante con valor de **0.01, mm/mm/min.**
- Alinee la punta de carga y los soportes de manera que los ejes de las superficies cilíndricas sean paralelos y la punta de carga esté situada a medio camino entre los soportes. El paralelismo del dispositivo se puede verificar utilizando una placa con ranuras paralelas donde encajarán la punta de carga y los soportes cuando estén correctamente alineados.
- Centre la muestra sobre los soportes, con el eje largo de la muestra perpendicular a la punta de carga y los soportes.
- Aplique la carga a la muestra a la velocidad especificada en la cruceta.
- Mida la deflexión ya sea con un calibre debajo de la muestra en contacto con el centro del tramo de soporte, estando el calibre montado estacionario con respecto a los soportes de la muestra, o midiendo el movimiento de la punta de carga con respecto a los soportes.
- El software instantáneamente realizara la traza de la curva fuerza - deflexión para determinar la resistencia a la flexión.
- El módulo de elasticidad tangente y el trabajo total será medido por el área bajo la curva de carga - deflexión.
- Termine la prueba cuando la deformación máxima en la superficie exterior del espécimen de prueba haya alcanzado **0.05 mm/mm** o en la rotura, si la rotura ocurre antes de alcanzar la deformación máxima.
- La deflexión a la que se producirá esta deformación se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$D = \frac{rL^2}{6d} \quad \text{Ecuación 2}$$

### MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO



Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.

Versión: 001

Efectivo desde:

Página: 16/18

- Donde:
  - D: Deflexión en el medio del tramo, *mm*
  - r: Deformación, *mm/mm*
  - L: Luz de soporte, *mm*
  - d: profundidad de la viga, *mm*
- La norma ASTM D790 indica dos prácticas, el procedimiento A y B.
  - En el procedimiento A: La deflexión se puede calcular asignando a r un valor igual a **0.05 mm/mm** en la Ecuación 2.
  - En el procedimiento B: La deflexión se puede calcular asignando a r un valor igual a **0.10 mm/mm** en la Ecuación 2.

#### VI. Actividad práctica.

- a. Indicaciones generales.
  - El docente decidirá el número de grupos que realizarán la prueba con el procedimiento A y el procedimiento B. En donde, la variable es la tasa de deflexión.
  - En grupos de 3 integrantes, elaborar una probeta de ensayo de flexión fabricadas mediante impresión 3D. Dicho elemento debe ser de **1.60 mm** de espesor, **50.8 mm** de largo y **12.7 mm** de ancho.

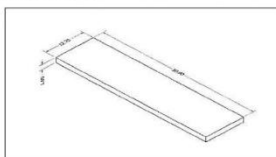


Figura 1. Dimensiones de una probeta de flexión de espesor de 1.60 mm según la norma ASTM D790.

- La muestra a elaborar debe ser de un único material polimérico de Ácido Poliláctico (PLA). Para la actividad es necesario la adquisición de la ficha técnica del material empleado.
- La muestra a elaborar debe contener el patrón de impresión *Honeycomb*. La densidad de relleno de la muestra debe ser de **40%**. (Ver Figura 2).

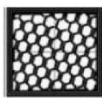

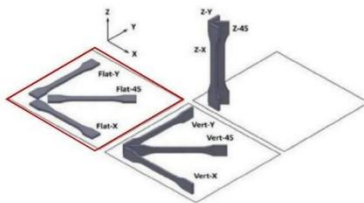


Figura 2. Patrón de impresión honeycomb con densidad de relleno del 40%.

<b>MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO</b>		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde:
		Página: 17/18

- La muestra a elaborar debe fabricarse con capas orientadas al plano XY como se indica en la *Figura 3*. Es decir, las capas de impresión se adhieren en paralelo al plano XY del espécimen.



*Figura 3. Direcciones de impresión de las probetas fabricadas mediante MA.*

- b. Caracterización del espécimen.
  - Utilizar el calibrador vernier y el micrómetro para determinar la geometría de las muestras de su grupo. Para obtener más precisión en los resultados, se debe completar las mediciones presentadas en la *Tabla 1*.

*Tabla 1. Caracterización del espécimen de ensayo, antes y después de la práctica.*

Caracterización de especímenes de ensayo			
Variable	Descripción	Unidad	Valor
-	Material de probeta		PLA
-	Tipo de probeta		IV
-	Densidad de relleno	%	40
-	Patrón de relleno		Honeycomb 
-	Orientación de las capas		XY

Variable	Descripción	Unidad	Valor	Valor	Valor	Prom.
			inicial	inicial	inicial	
			1	2	3	
	W Ancho de la muestra.	mm				
	L Longitud de la muestra.	mm				
	t Espesor de la muestra.	mm				

MANUAL DE GUÍAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Efectivo desde: 11 / 05 / 2024
		Página: 18/18

c. Lectura de datos de características mecánicas de la muestra.

Con los datos obtenidos mediante el software, como se muestra en la *Figura 4*. Identifique el punto de ruptura A de la muestra y complete los datos en la *Tabla 2*.

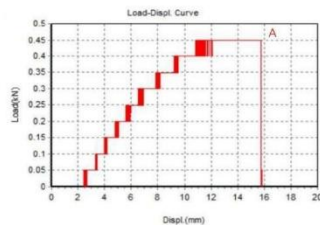


Tabla 2. Carga a la rotura del espécimen.

Variable	Descripción	Unidad	Valor
A	Carga a la rotura de espécimen	MPa	<input type="text"/>
	Carga nominal	MPa	<input type="text"/>
	Extensión	mm	<input type="text"/>
	Tiempo de ensayo	s	<input type="text"/>
	Tipo de procedimiento (A / B)		<input type="text"/>

Figura 4. Gráfico esfuerzo – deformación generado por la UTM al finalizar el ensayo de flexión de una probeta de material polimérico.

d. Discusión de resultados.

— Compare los datos de resistencia del material obtenidos mediante el ensayo, con los datos proporcionados por el fabricante mediante la ficha técnica.

○ ¿Son similares los datos de resistencia a la flexión?

○ Si los datos no son similares. Interprete, que influencia tiene la orientación de deposición de las capas en la resistencia a la flexión del espécimen:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

○ Si los datos no son similares. Interprete, que influencia tiene el área y geometría en la resistencia a la flexión del espécimen:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

○ Si los datos no son similares. Interprete, que influencia tiene la tasa de aplicación de la carga en la resistencia a la flexión del espécimen:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

## Conclusiones.

1. La impresión 3D permite la fabricación de una amplia variedad de componentes mecánicos. Algunos de los más comunes incluyen engranajes, adaptadores, abrazaderas, cubiertas o carcasas, conectores entre otros. En estos elementos se presentan esfuerzos de tensión y flexión bajo condiciones normales de operación o cuando se generan momentos por falta de alineamiento o posicionamiento angular. La impresión 3D ofrece la ventaja de crear geometrías complejas y personalizadas, lo cual también implica retos en cuanto a la uniformidad y las propiedades del material. Los ensayos de tensión y flexión son, de hecho, algunos de los más demandados en los laboratorios de materiales consultados ya que proporcionan información crítica sobre las propiedades de los materiales que afectan el rendimiento de los componentes. Esta investigación resalta la importancia de integrar ensayos mecánicos en el ciclo de desarrollo de productos, lo que no solo incrementa la seguridad y la durabilidad de los componentes, sino que también promueve la confianza en el uso de materiales impresos en 3D en aplicaciones críticas.
2. Utilizando como base la norma para tensión (ASTM D638) y flexión (ASTM D790), se establecieron las características metrológicas que deben cumplir los equipos e instrumentos esenciales para la realización de los ensayos, tales como la UTM, el extensómetro, el calibrador Vernier y el micrómetro. Los requisitos para la selección de la UTM comprenden precisión de al menos  $\pm 1\%$  en el indicador de carga y  $\pm 10\%$  en el indicador del movimiento de la cruceta. Se consideró la capacidad de carga de la máquina de al menos  $2.829 \text{ kN}$  y el espacio disponible para el desplazamiento de la cruceta de  $227.48 \text{ mm}$  o superior.

3. La evaluación de proveedores se basó en una serie de criterios normativos y técnicos establecidos en la sección 3.1.2. Además, se evaluó el servicio postventa con criterios como el entrenamiento de uso de la UTM, así como del software, venta de accesorios y refacciones, y cobertura de garantía de 1 año. Como resultado de la comparación, se identificó que los proveedores HST y ChengYu, ambos establecidos en Qingdao, China, cumplen con todos los requisitos y ofrecen ventajas distintas que podrían impactar significativamente en la operación y eficiencia del equipo adquirido. Sin embargo, HST fue seleccionado para la adquisición de la UTM debido a su servicio al cliente eficiente y su soporte postventa, además de destacar en la comparación de aspectos como el cumplimiento de las normativas internacionales, superioridad técnica en precisión y capacidad de carga, una garantía más amplia, software y soporte técnico más accesible (incluido con la UTM).
  
4. La propuesta para el diseño de un Laboratorio de ensayos de materiales impresos por manufactura aditiva en la Universidad de El Salvador incluye la distribución del espacio mínimo requerido por los equipos técnicos y el mobiliario del Laboratorio, así como la caracterización de las luminarias y sistema de climatización. Para garantizar la iluminación adecuada del área propuesta de  $70 m^2$ , se requiere la instalación de 10 *paneles LED 2x2* de luz blanca de 40 *W* y para la climatización se requieren dos equipos mini Split de 24,000 *BTU* los cuales consumen una potencia individual de 8393.25 *Vatios*, necesarios para el control de humedad y temperatura durante los ensayos, conforme lo especifican las normativas ASTM D638 para ensayos de tensión y ASTM D790 para ensayos de flexión.

La propuesta incluye el cuadro de cargas eléctricas en el cual se detalla el esquema de conexiones eléctricas en el sub tablero, el balance de cargas, tipo de cableado y canalización y las conexiones físicas del sub tablero. Todo

el diseño y organización de estas conexiones se realizó siguiendo las directrices del NEC.

5. La propuesta de diseño del Laboratorio incluye el desarrollarlo de tres manuales para asegurar el uso adecuado de la UTM, el software asociado y la correcta realización de los ensayos. El manual de usuario cubrió el funcionamiento y mantenimiento de la UTM, incluyendo generalidades, especificaciones técnicas, instalación, ajuste y operación. El manual de software describió el uso de la interfaz de operación, la configuración del sistema y la exportación de datos. Finalmente, el manual de guías prácticas de laboratorio detalló los procedimientos para realizar los ensayos, garantizando la repetibilidad y comparabilidad de los resultados, y proporcionando una base sólida para futuras investigaciones.

En el diseño de la presente investigación se identificaron entes cooperantes potenciales que tienen programas de financiamiento alineados con el objeto del proyecto como KOICA, JICA, entre otros. Estas entidades suelen financiar proyectos que contribuyen a desarrollo tecnológico, la educación, la inclusión digital o la capacitación técnica. Aunque cada ente cooperante tiene requisitos específicos que deben cumplirse para acceder a los entes financiadores puedan evaluar el proyecto.

## **Recomendaciones.**

1. *Flexibilidad de la propuesta de diseño del Laboratorio:* Dado que la propuesta de diseño del Laboratorio está sujeta a las condiciones del cooperante KOICA, la distribución y características del mismo podrían modificarse. Aunque el diseño inicial se elaboró basándose en las "Normas Técnicas y Administrativas del Consejo de Investigaciones Científicas de la Universidad de El Salvador" y se optó por una solución económica que cumple con los requisitos de diversas máquinas, este diseño no es definitivo. Por lo tanto, la propuesta está abierta a posibles ajustes o cambios sugeridos por el cooperante KOICA. Asimismo, se recomienda adaptar los requisitos según las condiciones que otros organismos cooperantes puedan establecer, en caso de optar por estos.
2. *Flexibilidad en las Guías prácticas del Laboratorio para doble fin:* Las guías propuestas en el manual son flexibles en su ejecución, siempre que el procedimiento del ensayo se realice conforme a la norma. Esto permite ajustar los objetivos según sea necesario, ya sea con fines didácticos para investigar variables como el patrón y la densidad de relleno, los materiales poliméricos, entre otros, y aplicarlos a la creación de prototipos o en la realización de ensayos que apoyen a la industria.  
*Otra alternativa de proveedor de UTM:* Se recomienda evaluar una segunda opción de equipo de ensayo en caso de no concretar la selección principal con el proveedor HST. Como alternativa, se ha considerado el modelo WDW-5D de ChengYu, el cual cumple con todos los requisitos de selección establecidos y tiene un costo de \$4,915.00. Aunque ChengYu ofrece una opción más económica frente a HST, se prefiere este último debido a su tiempo de respuesta más eficiente con el cliente, lo cual es clave para garantizar el cumplimiento de los requisitos de los servicios brindados por el proveedor que se detallan en la sección 3.1.2.4.
3. *Otras opciones de Financiamiento:* Aunque en el presente trabajo se definió el formato de KOICA debido a la oportunidad disponible, es importante tener en cuenta que, en caso de no obtener la promoción, se debe explorar otras

opciones de financiamiento a través de distintos organismos de cooperación. Ya que cada institución tiene su propio formato de aplicación, se recomienda revisar estos diferentes formatos para identificar las áreas comunes requeridas y preparar la información necesaria con anticipación, de modo que esté lista para futuras oportunidades de aplicación.

4. *Laboratorio como parte de una estructura:* Se debe tener en cuenta que el Laboratorio pertenecerá a la EIM y contará con un responsable definido según la estructura orgánica y reglamentación vigente, lo que facilitará su integración dentro de un marco administrativo más amplio. Por tanto, esta investigación se enfoca únicamente en el diseño y distribución del Laboratorio.
5. *Integración de un Estudio de Mercado con enfoque Social:* Se recomienda incluir un estudio de mercado como ampliación y refuerzo de esta investigación, orientado desde una perspectiva social que refuerce la naturaleza del proyecto. Aunque el Laboratorio tiene como propósito principal apoyar las actividades pedagógicas y de investigaciones internas de la Universidad de El Salvador, explorar la posibilidad de vincularse con clientes externos podría aportar un valor añadido al proyecto. Identificar potenciales usuarios externos, como empresas, instituciones o emprendedores que necesiten servicios de ensayo de materiales, permitiría diversificar su alcance y generar ingresos. Esta estrategia no solo fortalecería la relevancia social del Laboratorio al responder a necesidades reales del entorno, sino que también contribuiría a su sostenibilidad económica, garantizando su operación a largo plazo sin comprometer su misión educativa e investigativa.

## Referencias.

1. Agencia de Administración de Bienes del Estado Argentino (AABE). (Noviembre de 2022). Manual de Estándares de Espacios de Trabajo del Estado Nacional. 5ª edición. Buenos Aires, Argentina.
2. All3DP. (2022). *Tipos de impresoras 3D: Las 7 tecnologías de impresión 3D*. Obtenido de All3DP: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>
3. Avner, S. H. (Enero de 1995). *Introducción a la Metalurgia Física* (Ed. 2º ed.). Juárez, Mexico: Programas Educativos S.A. de C.V.
4. Fernandez, J. G. (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado*. Obtenido de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>
5. INGENIUS. (25 de noviembre de 2019). *Nomenclatura de la fabricación aditiva*. Obtenido de Blog Ingenius: <https://eddm.es/blog-ingenius/nomenclatura-de-la-fabricacion-aditiva/>
6. Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST). (5 de Marzo de 2024). HST Jinan Kason Tensile Tester (WDW Series) Quotation. Quindao, China.
7. Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST). (s.f.). HST Jinan Kason Tensile Tester (WDW Series) Datasheet. Jingshi Road, Jinan, China. Obtenido de [www.hssdgroup.com](http://www.hssdgroup.com)
8. KOICA. (2015). *Programa de soluciones tecnológicas creativas*. Obtenido de [https://www.koica.go.kr/koica\\_en/3446/subview.do#n](https://www.koica.go.kr/koica_en/3446/subview.do#n)
9. KOICA. (28 de Febrero de 2022). *Informe anual 2022 de KOICA*. Obtenido de [https://www.koica.go.kr/koica\\_en/3492/subview.do#gmb](https://www.koica.go.kr/koica_en/3492/subview.do#gmb)
10. NFPA. (24 de Agosto de 2017). Código Eléctrico Nacional (NEC). Quincy, Massachusetts, Estados Unidos. Organismo Salvadoreño de Acreditación. (16 de mayo de 2022). *Tarifas*. Obtenido de Diario Oficial 16 de Mayo de

2022.indd: <https://www.osa.gob.sv/wp-content/uploads/2022/05/Tarifas-Diario-Oficial-16-05-2022.pdf>

11. Zahera, M. P. (2012). *La fabricación aditiva, tecnología avanzada para el diseño y desarrollo de productos*. Valencia: Fundacion Cotec.

## Bibliografía.

1. Agencia de Administración de Bienes del Estado Argentino (AABE). (Noviembre de 2022). Manual de Estándares de Espacios de Trabajo del Estado Nacional. 5ª edición. Buenos Aires, Argentina.
2. All3DP. (2022). *Tipos de impresoras 3D: Las 7 tecnologías de impresión 3D*. Obtenido de All3DP: <https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>
3. ASTM. (1 de Julio de 2022). D638. *Propiedades de tracción de los plásticos*. Estados Unidos.
4. Avner, S. H. (Enero de 1995). *Introducción a la Metalurgia Física* (Ed. 2º ed.). Juarez, Mexico: Programas Educativos S.A. de C.V.
5. CANCEINTRA (Cámara Nacional de la Industria de Transformación). (s.f.). *Diagnóstico para el Desarrollo de Procesos de Fabricación de Manufactura Aditiva*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/189123/0018-F-13032015\\_Diagnostico\\_para\\_desarrollo\\_de\\_procesos\\_de\\_fabricacion\\_de\\_manufactura\\_aditiva.\\_Parte\\_1.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/189123/0018-F-13032015_Diagnostico_para_desarrollo_de_procesos_de_fabricacion_de_manufactura_aditiva._Parte_1.pdf)
6. Cano, A. (2013). *Estudio y simulación numérica de ensayos de tracción en aceros*. Obtenido de <https://e-archivo.uc3m.es/rest/api/core/bitstreams/cca238b0-c252-4479-83ea-ab43d3a18688/content>
7. Capa Sobre Capa. (s.f.). *¿Que materiales existen para imprimir en FDM?* Obtenido de <https://capasobrecapa.com/materiales-fdm/>
8. *Efecto del Contenido de Fibra de Vidrio sobre las Propiedades Mecánicas en Probetas de Polibutilentereftalato (PBT) Reforzado*. (1 de octubre de 2003). Obtenido de

<https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/0a57baa2-01db-4a0c-b36d-732496f01d03/content>

9. Ferdinand P. Beer, E. R. (2005). *Mecanica de materiales*. Mexico: McGraw Hill.
10. Fernandez, J. G. (s.f.). *Cálculo de instalaciones de alumbrado*. Obtenido de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/interior/iluint2.html>
11. Impresoras3D.com. (s.f.). *Breve Historia de la impresión 3D*. Obtenido de <https://www.impresoras3d.com/breve-historia-de-la-impresion-3d/#:~:text=Su%20proyecto%20fue%20abandonado%20debido,aditiva%20con%20resina%20foto%2Dsensible>.
12. INGENIUS. (17 de Julio de 2017). *Fabricacion Aditiva e Industria 4.0*. Obtenido de <https://eddm.es/blog-ingenius/fabricacion-aditiva-e-industria-4-0/>
13. INGENIUS. (25 de noviembre de 2019). *Nomenclatura de la fabricacion aditiva*. Obtenido de Blog Ingenius: <https://eddm.es/blog-ingenius/nomenclatura-de-la-fabricacion-aditiva/>
14. INGENIUS. (s.f.). *Materiales de Impresión 3D FDM/FFF*. Obtenido de <https://eddm.es/blog-ingenius/materiales-de-impresion-3d-fdm-fff/>
15. INSTRON. (s.f.). *ASTM D638: la guía definitiva para los ensayos de tracción de plásticos*. Obtenido de <https://www.instron.com/es-es/testing-solutions/astm-standards/astm-d638>
16. INSTRON. (s.f.). *The Definitive Guide to ASTM D412 Tensile Testing of Elastomers*. Obtenido de <https://www.instron.com/en/testing-solutions/astm-standards/astm-d412>
17. Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST). (5 de Marzo de 2024). HST Jinan Kason Tensile Tester (WDW Series) Quotation. Quindao, China. Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd. (HST). (s.f.). HST Jinan Kason Tensile Tester

- (WDW Series) Datasheet. Jingshi Road, Jinan, China. Obtenido de [www.hssdgroup.com](http://www.hssdgroup.com)
18. KOICA. (2015). *Programa de soluciones tecnológicas creativas*. Obtenido de [https://www.koica.go.kr/koica\\_en/3446/subview.do#n](https://www.koica.go.kr/koica_en/3446/subview.do#n)
  19. KOICA. (28 de Febrero de 2022). *Informe anual 2022 de KOICA*. Obtenido de [https://www.koica.go.kr/koica\\_en/3492/subview.do#gmb](https://www.koica.go.kr/koica_en/3492/subview.do#gmb)
  20. MADE (Mecatrónica Automatización y Diseño Electrónico). (s.f.). *Impresión 3D*. Obtenido de <https://electronicamade.com/impresiones-3d/>
  21. Maquinaria, A. (21 de junio de 2022). *¿Qué son los termoplásticos?* Obtenido de Aristegui Maquinaria.: <https://www.aristegui.info/que-son-los-termoplasticos/#:~:text=Un%20termopl%C3%A1stico%20es%20un%20pl%C3%A1stico,se%20endurece%20cuando%20se%20enfr%C3%ADa>.
  22. NFPA. (24 de Agosto de 2017). Código Eléctrico Nacional (NEC). Quincy, Massachusetts, Estados Unidos.
  23. Organismo Salvadoreño de Acreditación. (16 de mayo de 2022). *Tarifas*. Obtenido de Diario Oficial 16 de Mayo de 2022.indd: <https://www.osa.gob.sv/wp-content/uploads/2022/05/Tarifas-Diario-Oficial-16-05-2022.pdf>
  24. Perez, X. P. (17 de Junio de 2019). Análisis de resistencia mecánica y térmica para piezas fabricadas en PLA con impresión 3D. Guatemala.
  25. Protolabs. (s.f.). *Pruebas de tracción de materiales para impresión 3D*. Obtenido de <https://www.protolabs.com/es-es/recursos/blog/pruebas-de-traccion-de-materiales-para-impresion-3d/>
  26. R., J. G. (Diciembre de 2014). *Impresión 3D en la Industria: Un acercamiento a la tecnología y su influencia en la Industria Petrolera*. Obtenido de <https://ve.scielo.org/pdf/uct/v18n73/art03.pdf> Rodriguez, J. F.

- (1 de octubre de 2003). Mechanical behavior of acrylonitrile butadiene styrene fused deposition. *Rapid Prototyping Journal*.
27. TAICED. (s.f.). *Impresión 3D – Historia / Parte 1*. Obtenido de <https://www.taiced.com/post/impresion-3d-origen-parte1>
28. TAICED. (s.f.). *Impresión 3D – Historia / Parte 2*. Obtenido de <https://www.taiced.com/post/impresion-3d-origen-parte2>
29. Universidad Francisco de Vitoria. (s.f.). *¿Quién Inventó La Impresora 3d?* Obtenido de <https://www.ufv.es/cetys/blog/quien-invento-la-impresora-3d/>
30. Victor material testing equipments. (1 de julio de 2022). *The comprehensive guide to ASTM D412 Elastomer tensile testing*. Obtenido de <https://www.victortestingmachine.com/the-comprehensive-guide-to-astm-d412-elastomer-tensile-testing/>
31. Wiki Robotic. (s.f.). *Impresoras 3D open-source*. Obtenido de [http://www.learobotics.com/wiki/index.php?title=Impresoras\\_3D\\_open-source](http://www.learobotics.com/wiki/index.php?title=Impresoras_3D_open-source)
32. Zahera, M. P. (2012). *La fabricacion aditiva, tecnologia avanzada para el diseño y desarrollo de productos*. Valencia: Fundacion Cotec.

## Anexos.

### Resultados de entrevistas a los LFD.

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024
Página: 3/5		

3. **Saludo inicial:** Mi nombre es Julio Alexander Ramirez Ayala y David Mauricio Ramos Castro y somos egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador. Actualmente realizamos el trabajo de grado relacionado al tema de diseño del laboratorio de ensayo de materiales de MA, agradecemos su disposición para poder participar de esta entrevista, sin antes agregar que la información expuesta será únicamente con fines académicos, manteniendo la confidencialidad del laboratorio.

#### 4. Generalidades del Laboratorio.

- X ¿Cuál es el nombre del Laboratorio?  
Centro de Innovación en Diseño Industrial y Manufactura (CIDIM).
- XX ¿Quién es el encargado del Laboratorio?  
Ing. Rafael Pimentel.
- 1 ¿Cuándo se inauguró el laboratorio?  
El Laboratorio fue inaugurado en el año 2016.
- 2 ¿Cuál es el objetivo principal del laboratorio?  
Ofrecer servicios a los estudiantes y brindar los conocimientos básicos y necesarios sobre ensayos a materiales en general. Además, brindar servicios a empresas privadas como método de comprobación de resistencia de materiales. También brindar servicios de diseño donde propone y evalúa si el diseño cumple con las características mecánicas, geométricas, etc. Si se cumplen estos requisitos se procede con la fabricación del prototipo.

#### 5. Equipo e insumos del Laboratorio.

- 3 ¿Qué tipo de tecnologías para impresión 3d utilizan en el laboratorio?

FDM                      o    SLS  
 SLA  
Otro \_\_\_\_\_

- 4 ¿Qué materiales utilizan para desarrollar proyectos de impresión 3d?

PLA                       TPU                      o    ASA                      o    HIPS  
 ABS                      o    PC                      o    PP  
 PA                       PETG                      o    TPU  
 Otro                      Resina de PLA.

- 5 ¿Cuáles son los equipos con los que cuenta el laboratorio?

Marca	Modelo	Capacidad
CSM Metrology	1000 W	100 toneladas
Metrocom	9033-96	150 kilogramos - Dureza Rockwell
New Age	NB3010	150 kilogramos - Dureza Brinell
New Age	Indetron	150 kilogramos -Dureza Rockwell
Metrocom	9552-96	298.3 Julios
Heraew	-	1100 grados Celsius

- 6 ¿Qué instrumentos emplean para la realización de ensayos?

Vernier                       Micrómetro                      o    Cámara Climática  
 Extensómetro                       Horno                       Otro Microscopio metalográfico.

*Anexo 1. Resultados de la entrevista al Laboratorio de Fabricación Digital de la Universidad Don Bosco, guiada por el Ing. Rafael Pimentel.*

## ENCUESTA A LOS LFD.



Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.

Versión: 001

Emitido el: 05 / 04 / 2024

Página: 4/5

**6. Desarrollo de proyectos.**

- 7 ¿Actualmente, se encuentran desarrollando algún proyecto de ingeniería?  
 Sí                      o                      No                      ¿Cual? Análisis de resistencia de probetas fabricadas en TPU con pruebas en diferentes patrones que generen mejores propiedades mecánicas.
- 8 ¿Cuáles han sido los proyectos del área de ingeniería, más relevantes (si los hay)?  
Estudio sobre el efecto de la orientación de las capas de fabricación en la resistencia a la tensión y a la flexión en impresiones 3D FDM.
- 9 De los materiales anteriormente mencionados, ¿se conocen las propiedades mecánicas?  
 o Si                       No

**7. Relevancia de ensayar materiales de MA.**

- 10 ¿Considera que necesario el estudio de materiales de fabricación aditiva por medio de ensayos?  
 o Nada importante                      o Poco importante                      o Irrelevante  
 o Importante                       Muy importante
- 11 ¿Se ha considerado la realización de ensayos en materiales de fabricación aditiva a través de la adquisición de una máquina de ensayo?  
 Sí                      o No
- 12 ¿Cuáles ensayos cree que sean los más relevantes al momento de buscar información sobre las propiedades de los materiales de fabricación aditiva?  
 Tensión                       Compresión                       Flexión                      o Torsión  
 o Impacto                      o Fatiga                       Dureza                       Fluidez  
 Otro \_\_\_\_\_

**8. Relevancia de equipo especializado para MA.**

- 13 ¿Su máquina de ensayo es especializada para materiales poliméricos?  
 o Si                       No
- 14 ¿Cuál es la capacidad técnica que tiene su máquina de ensayo?  
 o 5 N a 5 kN                      o 5 kN a 50 kN                      o 50 kN a 100 kN  
 Otro 100 toneladas métricas = 980.67 kN.

**9. Estandarización de proceso.**

- 15 ¿Qué normativas se aplican en el LFD?  
 ASTM D638                       ASTM D790                       ISO 17025  
 o ISO 527                      o ISO 178                      Otro \_\_\_\_\_
- 16 ¿Cómo garantizan la comparabilidad de los resultados obtenidos, a partir de estos ensayos?  
 Estándares y Normativas                       Registro Detallado de Datos  
 Calibración de equipos                      o Validación Cruzada  
 o Procedimientos de Ensayo Estandarizados                       Repetibilidad y Reproducibilidad  
 Selección y Preparación de Muestras                       Entrenamiento del Personal  
 Ambiente Controlado                      o Análisis Estadístico  
 Otro \_\_\_\_\_
- 17 ¿Cuáles son los protocolos implementados al momento de ensayar los materiales?  
El laboratorio no tiene protocolos a seguir, todo procedimiento depende de la naturaleza del ensayo a realizar, debido a que se realizan diferentes tipos de ensayos a una variedad de materiales, no solamente a plásticos. Debido a esto no se tienen protocolos específicos.

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024
		Página: 5/5

- 18 ¿Cuál es el pretratamiento de las probetas, previo a ensayarlas?
- o Cámara de Climática                      ✓                      Ambiente controlado                      o                      Ambos

#### 10. Adquisición de equipo.

- 19 ¿Cuál fue el proceso de adquisición de la máquina de ensayo y su proveedor?
- El laboratorio realiza una investigación de mercado de proveedores, marca, tiempos de entrega, los costos, las garantías y que tipo de capacitación necesita el personal para utilizar el equipo. El laboratorio se apoya de la unidad de mantenimiento de la institución para solicitar el cumplimiento de requerimientos técnicos para el funcionamiento del equipo.

#### 11. Relevancia de la MA en ingeniería.

- 20 ¿Qué opina de realizar un laboratorio de ensayo de materiales de fabricación aditiva?
- Establecer un laboratorio dedicado específicamente al estudio de propiedades de polímeros es importante en este campo, debido a que el propósito de los laboratorios de ensayos de materiales es evaluar materiales y diseños de piezas para proponer un prototipo. La MA es una tecnología económica para este propósito, pero se deben conocer el comportamiento de estos materiales ante esfuerzos factores como su resistencia, patrones de impresión, condiciones del entorno etc.

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024
		Página: 3/5

3. **Saludo inicial:** Mi nombre es Julio Alexander Ramirez Ayala y David Mauricio Ramos Castro y somos egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador. Actualmente realizamos el trabajo de grado relacionado al tema de diseño del laboratorio de ensayo de materiales de MA, agradecemos su disposición para poder participar de esta entrevista, sin antes agregar que la información expuesta será únicamente con fines académicos, manteniendo la confidencialidad del laboratorio.

#### 4. Generalidades del Laboratorio.

- X ¿Cuál es el nombre del Laboratorio?  
El Centro de Diseño, Innovación y Tecnología (CEDITEC).
- XX ¿Quién es el encargado del Laboratorio?  
Ing. Connie Paredes.
- 1 ¿Cuándo se inauguró el laboratorio?  
El laboratorio de la UCA se inauguró en 2021.
- 2 ¿Cuál es el objetivo principal del laboratorio?  
El laboratorio tiene un objetivo estudiantil, que además tiene la apertura a realizar trabajos externos a la institución.

#### 5. Equipo e insumos del Laboratorio.

- 3 ¿Qué tipo de tecnologías para impresión 3d utilizan en el laboratorio?  
 FDM                      o    SLS  
 SLA  
 Otro \_\_\_\_\_
- 4 ¿Qué materiales utilizan para desarrollar proyectos de impresión 3d?  
 PLA                       TPU                      o    ASA                      o    HIPS  
 ABS                      o    PC                      o    PP  
 PA                       PETG                      o    TPU  
 Otro                      Fibra de Carbono, Nylon reforzado con acero inoxidable.

- 5 ¿Cuáles son los equipos con los que cuenta el laboratorio?

Marca	Modelo	Capacidad
WitBox	---	FDM, Polímeros
Lulzbot	---	FDM, Polímeros
Robo R2	---	FDM, Polímeros
MakerBot	---	FDM, Multi-material
Method X	---	FDM, Polímeros
WitBox	---	FDM, Polímeros

- 6 ¿Qué instrumentos emplean para la realización de ensayos?  
 Vernier                       Micrómetro                      o    Cámara Climática  
 Extensómetro                      o    Horno                      o    Otro \_\_\_\_\_

#### 6. Desarrollo de proyectos.

- 7 ¿Actualmente, se encuentran desarrollando algún proyecto de ingeniería?  
 Si                      o    No                      ¿Cual? Elaboración del diseño de un rodete

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024
		Página: 4/5

[para una PCH elaborado en PA y posterior prototipado.](#)

- 8 ¿Cuáles han sido los proyectos del área de ingeniería, más relevantes (si los hay)?  
[Se han realizado pruebas de tensión en materiales, se han realizado prototipos de empresas, se trabajó en conjunto en la elaboración de un rodete para PCH, realización de bijes para bombas y ejes, que en su mayoría sirven para prototipos para su posterior elaboración final.](#)
- 9 De los materiales anteriormente mencionados, ¿se conocen las propiedades mecánicas?  
 Sí  No  
[Si se conocen las propiedades brindadas por los fabricantes y además se realizan pruebas a los materiales.](#)  
 Comentario: [pruebas a los materiales.](#)

#### 7. Relevancia de ensayar materiales de MA.

- 10 ¿Considera que necesario el estudio de materiales de fabricación aditiva por medio de ensayos?  
 Nada importante  Poco importante  Irrelevante  
 Importante  Muy importante  
 Comentario: [Si se considera importante el realizar pruebas a materiales.](#)
- 11 ¿Se ha considerado la realización de ensayos en materiales de fabricación aditiva a través de la adquisición de una máquina de ensayo?  
 Sí  No  
[Si se ha considerado, la máquina de ensayos actual tiene la capacidad de buscar una escala en la cual se puedan tomar datos en materiales plásticos.](#)  
 Comentario: [una escala en la cual se puedan tomar datos en materiales plásticos.](#)
- 12 ¿Cuáles ensayos cree que sean los más relevantes al momento de buscar información sobre las propiedades de los materiales de fabricación aditiva?  
 Tensión  Compresión  Flexión  Torsión  
 Impacto  Fatiga  Dureza  Fluidez  
 Otro \_\_\_\_\_

#### 8. Relevancia de equipo especializado para MA.

- 13 ¿Su máquina de ensayo es especializada para materiales poliméricos?  
 Sí  No
- 14 ¿Cuál es la capacidad técnica que tiene su máquina de ensayo?  
 5 N a 5 kN  5 kN a 50 kN  50 kN a 100 kN  
 Otro [100 toneladas métricas = 980.67 kN y 30 toneladas métricas = 294.2 kN.](#)

#### 9. Estandarización de proceso.

- 15 ¿Qué normativas se aplican en el LFD?  
 ASTM D638  ASTM D790  ISO 17025  
 ISO 527  ISO 178  Otro [No se aplican normativas de laboratorio.](#)
- 16 ¿Cómo garantizan la comparabilidad de los resultados obtenidos, a partir de estos ensayos?  
 Estándares y Normativas  Registro Detallado de Datos  
 Calibración de equipos  Validación Cruzada  
 Procedimientos de Ensayo Estandarizados  Repetibilidad y Reproducibilidad  
 Selección y Preparación de Muestras  Entrenamiento del Personal  
 Ambiente Controlado  Análisis Estadístico  
 Otro \_\_\_\_\_

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024
		Página: 5/5

17 ¿Cuáles son los protocolos implementados al momento de ensayar los materiales?

El laboratorio no emplea protocolos a seguir.

18 ¿Cuál es el pretratamiento de las probetas, previo a ensayarlas?

o Cámara de Climática  Ambiente controlado  Ambos

#### 10. Adquisición de equipo.

19 ¿Cuál fue el proceso de adquisición de la máquina de ensayo y su proveedor?

El representante del laboratorio realiza un estudio de los requisitos necesarios para utilizar el equipo, posteriormente se identifica en el mercado el equipo y el proveedor que llenen estos requisitos y se procede a contactar el proveedor para que de una guía más detallada sobre el proceso de adquisición. Y finalmente el departamento de compras realiza el desembolso.

#### 11. Relevancia de la MA en ingeniería.

20 ¿Qué opina de realizar un laboratorio de ensayo de materiales de fabricación aditiva?

Es importante para el desarrollo y conocimientos de los materiales que se van dando en la MA.

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024
		Página: 3/5

3. **Saludo inicial:** Mi nombre es Julio Alexander Ramirez Ayala y David Mauricio Ramos Castro y somos egresados de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador. Actualmente realizamos el trabajo de grado relacionado al tema de diseño del laboratorio de ensayo de materiales de MA, agradecemos su disposición para poder participar de esta entrevista, sin antes agregar que la información expuesta será únicamente con fines académicos, manteniendo la confidencialidad del laboratorio.

#### 4. Generalidades del Laboratorio.

- X ¿Cuál es el nombre del Laboratorio?  
Laboratorio de Impresión 3D de la Universidad Tecnológica de El Salvador (3D LAB UTEC).
- XX ¿Quién es el encargado del Laboratorio?  
Técnico David Medina.
- 1 ¿Cuándo se inauguró el laboratorio?  
Se inauguró el 12 de abril de 2018.
- 2 ¿Cuál es el objetivo principal del laboratorio?  
Principalmente se centra en ser un laboratorio, el enfoque es ayudar a los estudiantes en los proyectos y que utilicen la MA con sus diferentes beneficios y limitantes.

#### 5. Equipo e insumos del Laboratorio.

- 3 ¿Qué tipo de tecnologías para impresión 3d utilizan en el laboratorio?

FDM                      o    SLS  
 SLA  
 Otro \_\_\_\_\_

- 4 ¿Qué materiales utilizan para desarrollar proyectos de impresión 3d?

PLA                      o    TPU                      o    ASA                      o    HIPS  
 ABS                      o    PC                      o    PP  
 PA                      o    PETG                      o    TPU  
 Otro \_\_\_\_\_

- 5 ¿Cuáles son los equipos con los que cuenta el laboratorio?

Marca	Modelo	Capacidad
ULTIMAKER	Mod. 3 Extended	
PRUSA	i3 MK3	

- 6 ¿Qué instrumentos emplean para la realización de ensayos?

Vernier                      o    Micrómetro                      o    Cámara Climática  
 Extensómetro                      o    Horno                      o    Otro No realizan ensayos.

#### 6. Desarrollo de proyectos.

- 7 ¿Actualmente, se encuentran desarrollando algún proyecto de ingeniería?

Si                       No                      ¿Cual? \_\_\_\_\_

- 8 ¿Cuáles han sido los proyectos del área de ingeniería, más relevantes (si los hay)?

Un proyecto de desarrollo de masetas para cultivos hidropónicos de la mano con el ITCA.

- 9 De los materiales anteriormente mencionados, ¿se conocen las propiedades mecánicas?

Si                       No

ENCUESTA A LOS LFD.		
	Propuesta de diseño de Laboratorio y selección de equipo básico para ensayo de materiales impresos por manufactura aditiva.	
	Versión: 001	Emitido el: 05 / 04 / 2024

#### 7. Relevancia de ensayar materiales de MA.

- 10 ¿Considera que necesario el estudio de materiales de fabricación aditiva por medio de ensayos?
- Nada importante       Poco importante       Irrelevante  
 Importante       Muy importante
- 11 ¿Se ha considerado la realización de ensayos en materiales de fabricación aditiva a través de la adquisición de una máquina de ensayo?
- Si       No
- 12 ¿Cuáles ensayos cree que sean los más relevantes al momento de buscar información sobre las propiedades de los materiales de fabricación aditiva?
- Tensión       Compresión       Flexión       Torsión  
 Impacto       Fatiga       Dureza       Fluidez  
Otro [No se tiene contemplado realizar ensayos a materiales.](#)

#### 8. Relevancia de equipo especializado para MA.

- 13 ¿Su máquina de ensayo es especializada para materiales poliméricos?
- Si       No
- 14 ¿Cuál es la capacidad técnica que tiene su máquina de ensayo?
- 5 N a 5 kN       5 kN a 50 kN       50 kN a 100 kN  
 Otro [No se realizan ensayos.](#)

#### 9. Estandarización de proceso.

- 15 ¿Qué normativas se aplican en el LFD?
- ASTM D638       ASTM D790       ISO 17025  
 ISO 527       ISO 178      Otro [No se realizan ensayos.](#)
- 16 ¿Cómo garantizan la comparabilidad de los resultados obtenidos, a partir de estos ensayos?
- Estándares y Normativas       Registro Detallado de Datos  
 Calibración de equipos       Validación Cruzada  
 Procedimientos de Ensayo Estandarizados       Repetibilidad y Reproducibilidad  
 Selección y Preparación de Muestras       Entrenamiento del Personal  
 Ambiente Controlado       Análisis Estadístico  
 Otro [No se realizan ensayos](#)
- 17 ¿Cuáles son los protocolos implementados al momento de ensayar los materiales?
- [El 3D Lab no realiza ensayo a materiales.](#)
- 18 ¿Cuál es el pretratamiento de las probetas, previo a ensayarlas?
- Cámara de Climática       Ambiente controlado       Ambos

#### 10. Adquisición de equipo.

- 19 ¿Cuál fue el proceso de adquisición de la máquina de ensayo y su proveedor?
- [El 3D Lab no realiza ensayo a materiales.](#)

#### 11. Relevancia de la MA en ingeniería.

- 20 ¿Qué opina de realizar un laboratorio de ensayo de materiales de fabricación aditiva?
- [El 3D Lab no realiza ensayo a materiales, por lo que no posee conocimiento del tema.](#)

Infografías.

Propuesta de diseño del Laboratorio (Modelo 3D).



*Anexo 4. Infografía de la vista Noreste de la propuesta de diseño del Laboratorio. Fuente: Elaboración propia.*



Anexo 5. Infografía de la vista Suroeste de la propuesta de diseño del Laboratorio. Fuente: Elaboración propia



Anexo 6. Infografía de la vista Sur de la propuesta de diseño del Laboratorio. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 7. Infografía de la vista Oeste de la propuesta de diseño del Laboratorio. Fuente: Elaboración propia.

Otros.

Fichas técnicas.



**HST GROUP**  
Focus In Material Test



**Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd.**

### HST WDW-10E 10KN Computer control Electromechanical universal testing machine



The image displays two HST WDW-10E 10KN universal testing machines. Each machine is a tall, vertical, grey and red frame with a central testing column. The left machine is shown with its front door open, revealing the internal testing mechanism, including a crosshead, grips, and a specimen. The right machine is shown with its front door closed. To the right of the machines is a computer workstation on a black metal stand, consisting of a monitor, keyboard, mouse, and a tower PC case.

No. 4915, Jingshi Road, Jinan, China

Tel: +86-15910081986

[www.hssdgroup.com](http://www.hssdgroup.com)

Anexo 8. Ficha técnica de la Máquina Universal de Ensayos (equipo propuesto) de HST: modelo WDW-5E.

## 1. Introduction

WDW series electromechanical testing machines offer force, displacement or deformation closed loop testing in tension, compression, flexure, shear, tear and peel etc. The machine can be equipped with a variety of accessories including: grips, fixtures, compression frames, thermal cabinets and extensometers covering all relevant applications as testing of rubber, plastics, foils, films, textiles, adhesives, paper, foods, foams, timber, wires or other metallic or non-metallic specimens and medical, electronic and other components. The load frames are rigid constructed, providing superior axial and lateral stiffness.

## 2. Application range

Load meets or exceeds the following standards: ASTM E4, ISO7500-1, EN 10002-2, BS1610, DIN 51221.  
Strain measurement meets or exceeds the following standards: ASTM E83, ISO 9513, BS 3846, EN 10002-4.  
Safety: This machine shall conform to all relevant European CE Health and Safety Directives EN 50081-1, 580081-1, 73/23/EEC, EN 61010-1

### 2.1 Rigid and reinforced Plastics/ Composites:

EN ISO 6259 - parts 1/2/3 Determination of tensile properties of thermoplastic pipes;  
EN ISO 527-1 - parts 1/2/3 Determination of tensile properties on plastics;  
ASTM D638 Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics  
ISO 604 Plastics - determination of compressive properties  
ASTM D695- Plastics – Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics  
EN ISO 9969 Determination of ring stiffness on thermoplastic pipes;  
ISO 14125 Flexural Properties of Fiber-Reinforced Plastic Composites  
ASTM D3846 Standard Test Method for In-Plane Shear Strength of Reinforced Plastics;  
EN ISO 13968 Plastics piping and ducting systems -Thermoplastics pipes-Determination of ring flexibility;  
EN ISO 844 Determination of compression properties;

### 2.2 Geo-textiles:

BS EN ISO 10319 Geotextiles —Wide-width tensile test;  
ASTM D3950 Standard Specification for Strapping, Nonmetallic (and Joining Methods);  
JBT 8521(EN 1492-2): Textile slings. Safety. Round slings, made of man-made fibers, for general purpose use;  
ASTM D 6775-02 Standard Test Method for Breaking Strength and Elongation of Textile Webbing, Tape and Braided Material;

### 2.3 Metal:

ASTM E8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials;  
ISO 6892 Metallic materials — Tensile testing — Method of test at ambient temperature;  
BS EN 10002-1 Determination of tensile properties on metals;  
BS EN 10002-5: Metallic materials —Part 5: Method of test at elevated temperatures;  
ASTM E21: Standard Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials;  
ISO 783: Metallic materials -Tensile testing at elevated temperature;  
EN ISO 7438 Determination of flexure tests on metals;  
ASTM F606: Standard Test Methods for Determining the Mechanical Properties of Externally and Internally Threaded Fasteners, Washers, Direct Tension Indicators, and Rivets;  
ISO 14589: Blind rivets - Mechanical testing;  
SAE J429: Mechanical and Material Requirements for Externally Threaded Fastener;

### 3. Mechanical Features

#### 3.1 Load Frame:

The frames all incorporate human factor considerations in the design to ensure safety, reduce operator fatigue, and provide the highest level of flexibility. Extremely robust crosshead guidance is incorporated in all frame designs providing the highest level of lateral crosshead stiffness.

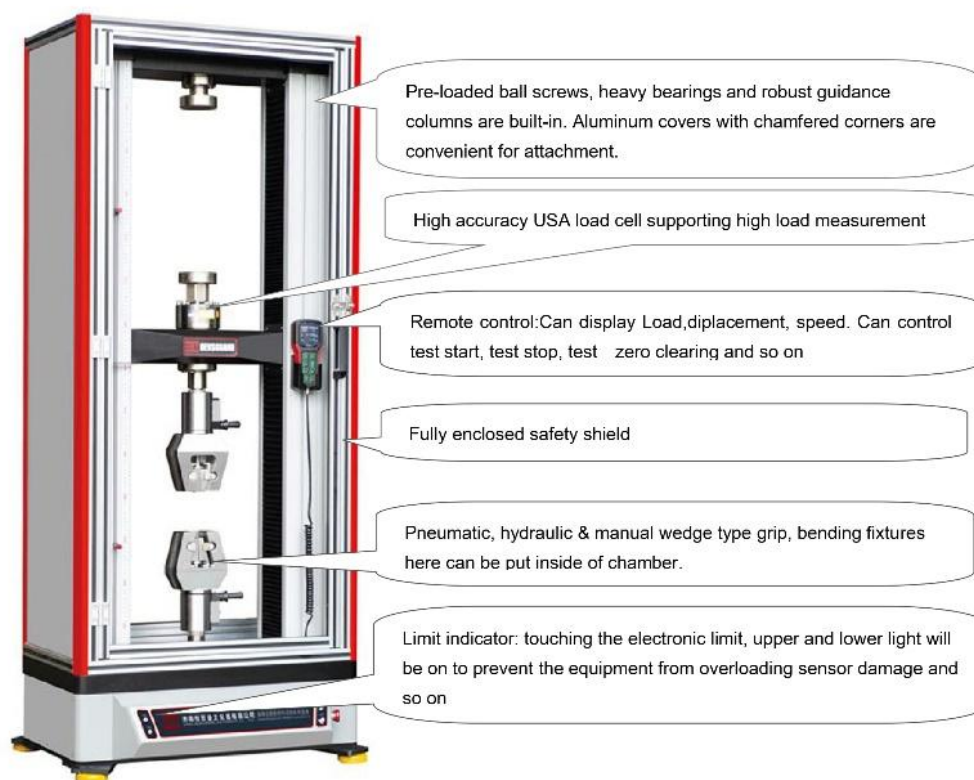
**3.2 High accuracy:** The preloaded precision ball-screw with high speed & low noise ensures high speed and position measurement accuracy and less noise.

**3.3 High stiffness frame:** The load frame is with 4 columns and heavy duty pre-loaded bearings. Preloaded ball screws, precision guidance columns, and a symmetrical drive system improve frame stiffness and alignment

**3.4 Safety features:** The testing machine stops automatically when the change in the test force exceeds a specified value during operations.

#### 3.5 Over-Travel Limits

Dual over-travel limits, located on the front console, help prevent crosshead overshooting and sensor overloads. A graduated rule along the column can be used to preset these limits to specific distances.















#### 4. Specifications:

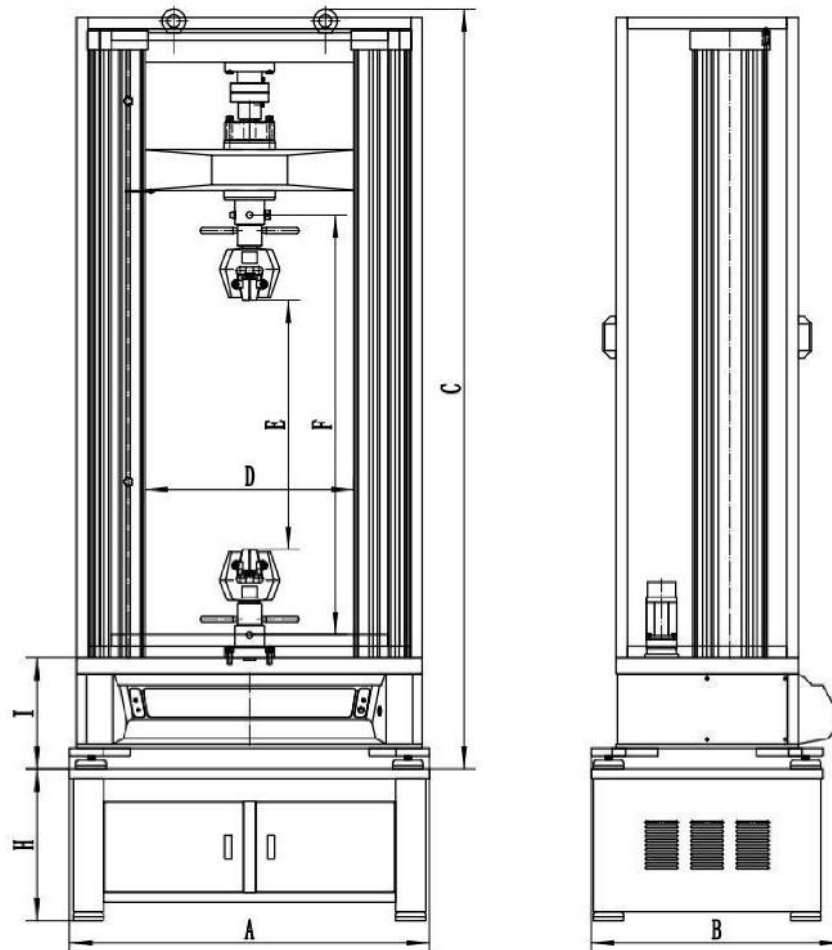
MODEL	HST WDW-10E
Load Capacity	10kN
Calibration standard	Class 0.5 according to ISO 7500-1 - Meets ASTM E-4
Testing Load Accuracy	±0.5%
Testing Load Range	0.4%~100%FS
Load Resolution	1/500000FS
Deformation measuring range	0.2%~100%FS
Deformation accuracy	≤±0.5%
Deformation resolution	1/500000FS of the max deformation
Test control mode	Three closed loop control, stress, strain and displacement
Displacement accuracy	Within ±0.5% of the value
Displacement resolution	0.04μm
<b>Controls parameter</b>	
Constant force control range	0.001%~5%FS/s
Constant force control accuracy	When the rate is < 0.05%FS/s, it is within ±2% of the set value; when the rate is ≥0.05%FS/s, it is within ±0.5% of the set value;
Constant deformation control range	0.005~5%FS/s
Constant deformation control accuracy	When the rate is < 0.05%FS/s, it is within ±2% of the set value; when the rate is ≥0.05%FS/s, it is within ±0.5% of the set value;
Crosshead speed range	0.001~1000mm/min
Crosshead speed accuracy	Within ±0.5% of the value
<b>Mainframe parameters</b>	
Testing space (Crosshead Travel)	1100mm
Max. Tensile Testing Space	770mm
Test width	450mm
Overall Dimensions	850x550x1824mm
Weight	about 420kg
Power supply	1kW,AC220V±10%, 50Hz/60Hz
<b>Note:</b>	
*Extra wide and/or extra height frames are available.	
*Power supply system is completely customizable.	
*Tensile space, test width, and speed is completely customizable.	

### 5. Standard Accessories:

NO.	Part Name	Picture	Part Name	Qty.
<b>1.Machine Host</b>				
1.1	Electronic universal testing machine host		10KN, 4 column 2 ball screw frame structure  Double space (up tensile,down compression or up compression,down tensile)	1set
1.2	AC Servo Control system		Taiwan DELTA	1set
1.3	Reducer gear		Japan BEITTO	1set
1.4	Rubber shock-absorbing Pad		Effectively adjust the level of the equipment, reduce the vibration of the equipment during the test	4 set
<b>2.Testing machine control system</b>				
2.1	10KN Load cell		Calibration within 0.5% accuracy can be carried out as per ASTM E4, ISO7500-1, EN 10002-2, BS1610, DIN 51221 standards.	1set
2.2	Control system		Force, displacement and deformation closed loop control ,By USB contact computer	1set

2.3	English operation software		Language supports:English, Other optional	1set
2.4	Handheld Unit controller		320 x 240 LED display: Can display Load, displacement, speed. Can control test start, test stop, test zero clearing and so on	1set
2.5	Computer and printer		HP	1set
<b>3. Testing grips(Selected according to customer's sample)</b>				
	Manual Wedge tensile grip (Code:945)		Used for metal and non metal material; Adopt inclined self-locking and rotating handle clamping	1set
3.1	Round Jaw		Round specimen standard: $\Phi 4-\Phi 9\text{mm}$ <b>Optional:<math>\Phi 9-14\text{mm}</math></b>	Each 1set
	Flat Jaw		Flat specimen Thick:0-7mm; <b>Optional:7-14mm</b>	Each 1set
3.2	Compression test grip (Code:1087)		$\Phi 100\text{mm}$	1set
<b>4. Optional Accessories:</b>				
4.1	Three-point Bending Fixture (Code:501)		Used to materials three point bending test.	1set

4.2	Bottom cabinet (Code:1691)		HST	1set
4.3	Safety shield (Code:1692)		Fully enclosed aluminum alloy protective cover Organic glass and aluminum	1set
4.4	Electronic extensometer (Code:956)		Gauge length 50mm; Deformation: 10mm according to customer requirement	1set
4.5	Long travel extensometer (Code:714)		<b>Application</b> suitable for longitudinal deformation measurement in routine tensile test to non-metallic materials, such as rubber, water-proof materials, cloth, rope and soft plastics.  Deformation: 800mm, gauge length: 20mm	1set



### 6. Machine Dimension:

Model	E-Test space	Size	F- Crosshead travel	D- Test width	Weight
WDW-10E	770mm	850x550x1824mm	1100mm	450mm	420kg

### 7. Test grip (can be customized)



90° peel clamp



180° peel clamp



360° peel clamp



Cloth clamp



Cloth wacelike clamp



Sewing thread clamp



Bold line clamp



Metal clamp



Strong force clamp



Deconvolution strength clamp



Initial adhesion clamp



Skein clamp



Compression plate

ASTM D1894  
Friction clamp

Three-jaws clamp



Pneumatic clamp



Pneumatic clamp



Three-point bending clamp



Yarn clamp



Antenna clamp



Steel wire clamp



Universal pliers clamp



Rubber reflexed clamp



Helical metal clamp



Braid clamp

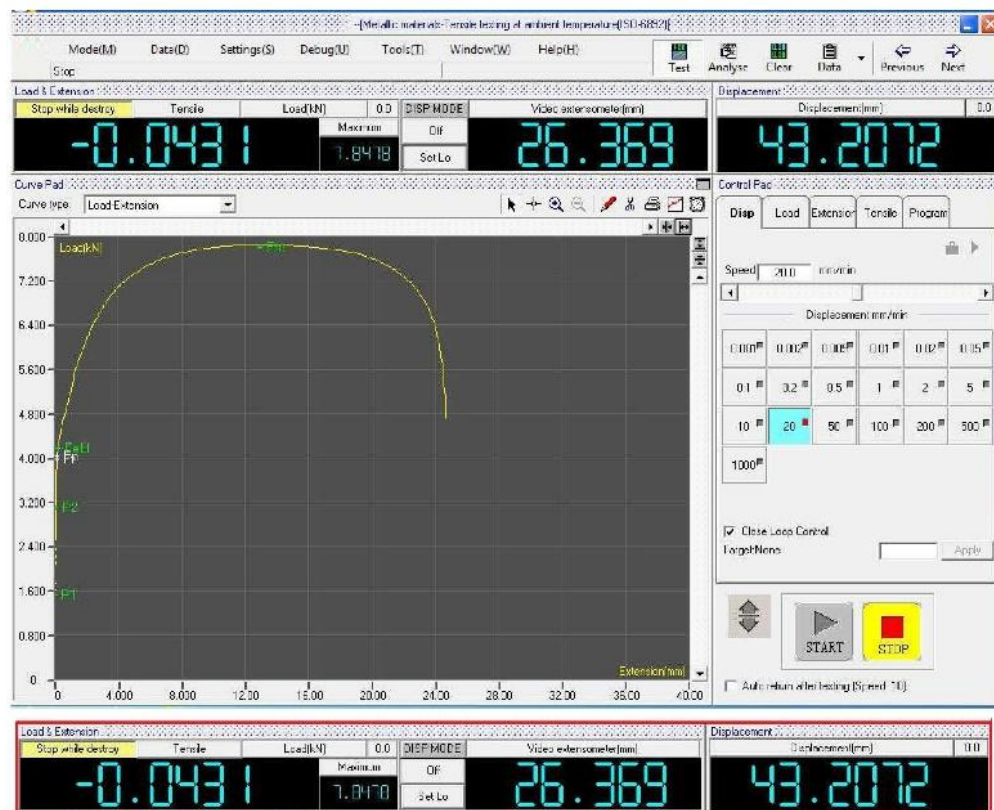
### 8. Test Controller feature

- Three closed loop (force, deformation, displacement) control, each control ring can be automatically switched, and in each mode of switching to achieve smooth transition without impact;
- Adopts up to 3 channels of 24-bit high-precision A/D converter
- The digital output interface can output 0 ~ 2MHz pulse signal, and the analog output interface can output 16-bit precision -10V ~ +10V voltage signal, which can be used for the control of servo motors, servo valves and other actuators
- Support USB interface mode, the transmission rate is greatly increased to support higher sampling frequency.
- Equipped with sensor self-recognition system, correction parameter memory function, can realize a variety of sensors quickly replacement;
- Equipped with LCD display hand control box, beautiful appearance, easy to operate;
- With limit, overload protection, emergency stop and other safety protection functions.

**9. Software Instruction**

HST software refers to the software characteristics of the top manufacturers of testing machine in the world and proposals of various testing requirements from the end users, and combines all the advantages of former versions of software with lots of new features. Optimized software structure makes the testing operation easy, convenient and powerful.

Main interface as following, Computer software interface, display test data, setup method, sample size



5-digit display for load, peak value and displacement values at least, 4-digit display for extension value at

### Features:

1. Full digital control The whole measuring and control system adopts the special controller, which can achieve the digital adjustment of zero point and gain of load, deformation and displacement, and it's easy to operate and possesses the high reliability.
2. Possess the functions of storage, setting and loading for various kinds of parameters, which make it convenient to connect multiple transducers with one load frame.
3. Realize the close-loop control, and show the reference curve during the executive operator adjusting the close-loop parameters, so the user can observe the close-loop effect caused by the parameters.
4. Perfect graphic function to complete the functions of the reappearance, amplification, reduction, self-adaptation, lapping of the curves, display and print the curve at the appointed range, observe the coordinate of the test point.
5. Data processing supports automatic analysis and graphic man-machine mutual processing, which is convenient to check and compare the test results.
6. Multilevel identity management

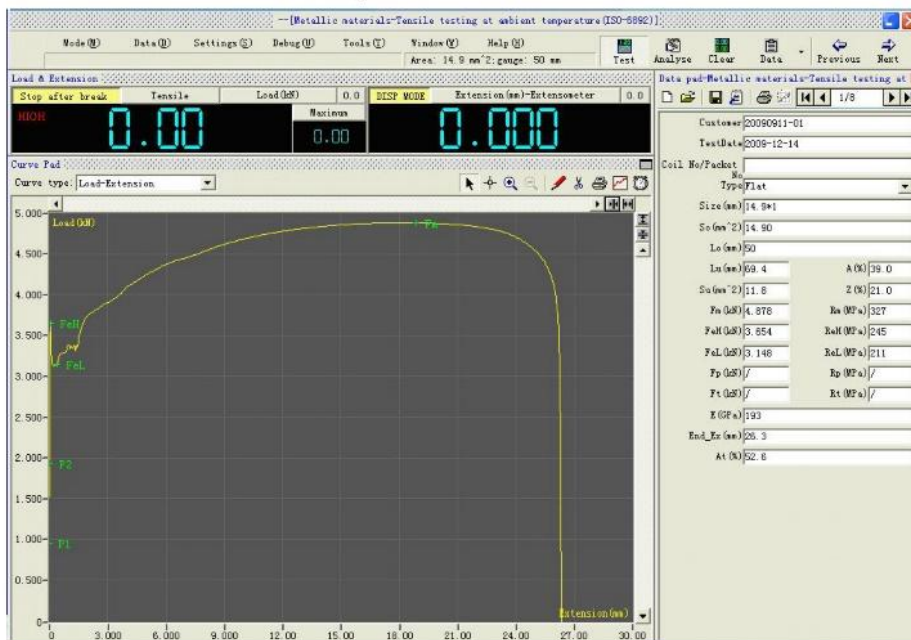
Multilevel identity management, different identity has different functions, which not only makes the operation quick by ordinary operator, but also protect the system effectively.

1. Based on the database, test data is stored by form of text file, which is convenient for the user to inquire about and utilize the various kinds of commercial report forms to reprocess the test data, meanwhile transfer the data to the internet conveniently.

### Multi controlling channels

Displacement control, force control, deformation control, stress control, strain control, constant stress, constant strain etc.

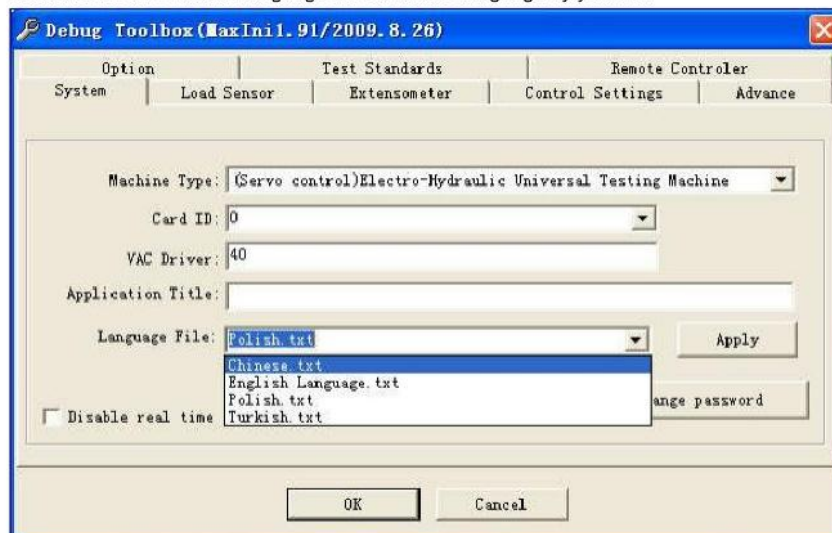
Please see more information with some pictures:



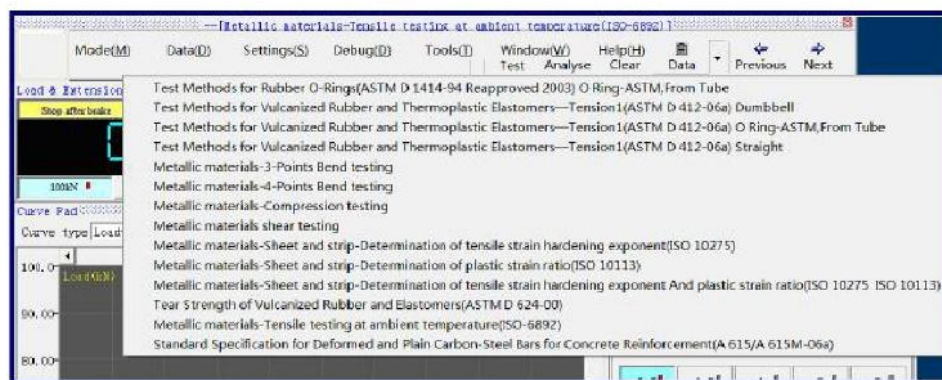
The deep-seated parameters of software are contained in Debug Toolbox

**Multi-language function:**

With the flexible language edited function, it can support multi-language such as English, Chinese etc. and you can translate the software language into the native language by yourself.



**Test standard:** provide users with the necessary applications to the test, covering GB, ASTM, DIN, JIS, BS ... and other testing standard specification



**Report**

Output and print report: Excel, word, template test report, can be edited customize To show test information, including test person, test standard, test curve, test max load etccan add your company LOGO and company name,easy to edit.

TENSION REPORT							
BatchNo:	2019082702			TestDate:	2019-8-8 11:38		
Unit:				Texture:			
Spec:				Temp:			
Size(mm)	φ6mm (2)			φ6mm (2)	604.35		
Result Data							
No.	MaxLoad (kN)	tensile strength (MPa)	Upper yield (kN)	Upper yield strength (MPa)	Lower yield (kN)	Lower yield strength (MPa)	Elongation (%)
1	511.89	837	414.89	516	399.5	496	24
2	501.43	825	405.16	505	388.12	483	24.5
3	503.75	826	402.07	506	394.87	491	25
Testina base	ASTM 24						
Remark:	primojwl			Review:			
Tester:	HST GROUP			Print date:	2019-8-14 10:25		

Metallic materials – Tensile testing at ambient temperature								
ISO 6092 : 1998								
TestDate	2009-5-11			Operator	LW			
Temperature	20°C			Spec(mm)	14.9*1			
Lo(mm)	50			So(mm <sup>2</sup> )	14.9			
PrintID	SampleID	Rm(MPa)	ReH(Mpa)	ReL(MPa)	Ro(MPa)	E(GPa)	A(%)	Z(%)
1	QD01	327	245	210	233	193	39	21
2	QD02	334	251	223	234	198	42	23
3	QD03	335	240	229	228	205	38	27
4								
Max value		335	251	229	234	205	42	27
Min value		327	240	210	228	193	38	21
Average value		332	245.3333	220.6667	231.6667	196.6667	39.6667	23.667
Print Date: 2009-12-5								



Click here to learn how to operate this product  
<https://youtu.be/quklaJhLcHQ>



Click here to learn more about our company  
<https://youtu.be/yk710DhEqI>

**CERTIFICATE**

**CTC**

**Certificate of Registration**

Certificate No.:446Q21010121403

Awarded to

**JINAN HENSGRAND INSTRUMENT CO., LTD.**





Organization Code No./Unified Social Code: 91370104684680659H  
Address: No. 4915, Jingshi West Road, Huaiyin District, Jinan City

Qingdao CTC Inspection & Certification CO.,LTD.(CIC) certify that the  
Quality Management System of the above organization has been assessed and found to be  
in accordance with the requirements of the standard:


**GB/T19001-2016/ISO9001:2015**  
**SCOPE OF CERTIFICATION/REGISTRATION**

Production and sales of testing machines.  
(Qualifications-based operations requiring qualification permits)

This certificate is made valid when used with certification scopes and the requirements of applicable  
laws and regulations. These requirements include but are not limited to administrative permits,  
scopes of qualifications, and CCC requirements.  
Subject to operation conditions in requirements conformity with Quality Management System,  
This Certificate is valid for a period of three years only.  
**Date from: January,21th, 2021 To: January,20th, 2024**  
The effectiveness of this Certificate shall be Validated by periodic surveillance audit of CTC for maintenance.  
**The time limit of the certificate is to January,11th,2022, please conducting  
the surveillance or re-certification assessment before January,11th,2022.**  
If the assessment is overdue, the certificate is invalid.

Signed for and on behalf of:    

The certificate information is validity on: Our company Web: [www.guoyanworld.com](http://www.guoyanworld.com) ; CNCA official web: [cx.cnca.cn](http://cx.cnca.cn)  
QINGDAO CTC INSPECTION & CERTIFICATION CO., LTD.  
E-mail: [GUOYANGROUP@163.COM](mailto:GUOYANGROUP@163.COM)



## MACHINERY DIRECTIVE ATTESTATION OF CONFORMITY

Technical file of the company mentioned below has been inspected and audit has been completed successfully.

2006/42/EC Machinery Directive Annex VIII has been taken as references for these processes.

Company Name : **JINAN HENSGRAND INSTRUMENT CO., LTD.**

Company Address : **NO.4915, WEST JINGSHI ROAD, JINAN, CHINA**

Related Directives and Annex : **2006/42/EC Machinery Directive/Annex VIII**

Related Standards : **EN ISO 12100:2010, EN 60204-1:2018**

Product Name : **TESTING MACHINE**

Report No and Date : **TCF-JHC230128-MD**

Product Brand/Model/Type : **WDS-1, WDS-2, WDS-3, WDS-5, WDS-10, WDS-20, WDS-30, WDS-50, WDS-100, WDS-200, WDS-300, WDS-500, WDW-1, WDW-2, WDW-3, WDW-5, WDW-10, WDW-20, WDW-30, WDW-50, WDW-100, WDW-200, WDW-300, WDW-500, WDW-600, WDW-1000, WE-300, WE-600, WE-1000, WE-2000, WEW-300, WEW-600, WEW-1000, WEW-2000, WAW-300, WAW-600, WAW-1000, WAW-2000, WAW-3000, WAW-5000, WAW-6000, LAW-1000, JB-300B, JBS-300, JBW-300, JB-500B, JBS-500, JBW-500, JBW-750, CST-50, VU-2Y, VU-1S, DWC-40, DWC-60, DWC-80, DWC-100, DWC-198, YES-2000, YES-300, YAW-1000, YAW-300, YAW-2000, YAW-3000, YAW-5000, NDS-200, NDS-500, NDS-1000, NDS-2000, NDW-200, NDW-500, NDW-1000, NDW-2000, NDW-3000, NDW-5000, NDW-10000, HEZ-3, HEZ-6, HEZ-10, JWJ-10, TJS, TIW, HST-P50, HST-P100, HST-P200, HST-P300, RDJ, NDT, DWIT, GBW-60, GW-50, HST, XNR-400**

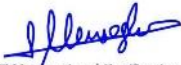
Certificate Number : **M.2023.206.C81366**

Initial Assessment Date : **31.01.2023**

Registration Date : **01.02.2023**


Reissue Date/No : **-**

Expiry Date : **31.01.2028**

  
 UDEM International Certification  
 Auditing Training Centre Industry  
 and Trade Inc. Co.

The validity of the certificate can be checked through [www.udem.com.tr](http://www.udem.com.tr). Upon completion of EC declaration of conformity, it is used solely at the manufacturer's responsibility. This certificate remains the property of UDEM International Certification Auditing Training Centre Industry and Trade Inc. Co. to whom it must be returned upon request. The above named firm must keep a copy of this certificate for 15 years from the registration of certificate. This certificate only covers the product(s) stated above and UDEM must be notified in case of any changes on the product(s).

**Address:** Mithakent Mahallesi 2073 Sokak (Eski B3 Sokak) No:10 Çankaya - Ankara - TURKEY  
**Phone:** +90 0312 443 03 90 **Fax:** +90 0312 443 03 70  
**E-mail:** [info@udem.com.tr](mailto:info@udem.com.tr) [www.udem.com.tr](http://www.udem.com.tr)



**HST GROUP Co., LTD.**

Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd.

NO. 4915, West Jingshi Road, Jinan 250012, PR CHINA.

Phone/WhatsApp: +86-159 1008 1986

[www.hssdgroup.com](http://www.hssdgroup.com) - e-mail: [admin@hssdtest.com](mailto:admin@hssdtest.com)

## Cotizaciones.

# Zwick / Roell

ZwickRoell S.A. de C.V.

**Almacenes Vidri**  
 PV85+P7J, Calle a Ciudadela Don Bosco,  
 Calle A  
 06018 Tonacatepeque, Soyapango  
 Soyapango

Att: David Ramos

Opp-No: 358799

Customer Nº: 370841

☎ +503 7629-8947

✉ [david.ramos@vidri.com.sv](mailto:david.ramos@vidri.com.sv)



21/03/2024

## Quotation Nº. US 319839-0 Almacenes Vidri\_5kN ProLine

Dear Mr. Ramos,

Many thanks for your interest in our products and services. We have the pleasure to quote you the machine **5kN ProLine**.

We are confident that our offer is in line with your requirements.

Kind regards,

ZwickRoell S.A. de C.V.

Johnny Cordero  
**Regional Sales Manager**  
 Tel.  
 Email: [Johnny.Cordero@zwickroell.com](mailto:Johnny.Cordero@zwickroell.com)

**ZwickRoell is your partner for long-term support making our products a secure investment.**

If you want to consult our Privacy Notice, dial 55-52924483, ext. 9



ZwickRoell S.A. de C.V.

ZwickRoell is a family owned and managed company with a long history and tradition in the design, manufacture and supply of materials testing systems.

Our future focus on long-term targets brings stability and confidence to customers, partners, employees and suppliers.

Full service support is provided by our engineers and we can offer calibration and service contracts that are tailored to your specific requirements.

As standard, all our Testing Machines are covered by a full 12 months warranty from the date of delivery. In addition warranty can be extended for up to 5 years as part of a annual service contract. Annual service contracts can also be extended for 3-5 years. Please speak with your Area Sales Manager to discuss this option further.

As our machines are manufactured in Germany we guarantee the safety and reliability of all of our products and services.

**Almacenes Vidri\_5kN ProLine**

**Technical Quotation**

The testing system described below, is designed according to the given information to our sales engineer. If this machine will be used under other requirements, please feel free to contact your assigned sales engineer.

Qty	Reference	Description
<b><u>Load Frames</u></b>		
1	059008	<b>Z005 TN ProLine materials testing machine</b> - Nominal force 5 kN - Test area (W x H) 440 x 1070 mm - High test-speed (0.0005 ... 1500 mm/min) right up to nominal force - Innovative testControl II electronics - 6 slots, of these two module bus slots and one PCIe slot are activated as default. - High-quality DCSC measurement module included in delivery as standard (occupies one activated module bus slot) - Innovative EtherCat interface for connecting extensometers - Precise column guidance - Maintenance-free AC drive motor

**Load Cells**

1	018537	<b>Xforce P load cell, capacity 5 kN</b> - Xforce type P (Precision) - Mounting stud diameter 20 mm - Accuracy class 1 according to ISO 7500-1 from 20 N, accuracy class 0.5 from 100 N on - Including calibration certificate on the basis of ISO 7500-1 - For ProLine testing machine
---	--------	--

**Grips**

2	320440	<b>Screw grip type 8354, Fmax 10 kN</b> - Max. opening width 25 mm - Single actuating - Opposing jaw steplessly adjustable - Also gripping of asymmetric specimens
---	--------	--

- Including jaws, steel, pyramid 0.7 mm, height x width = 50 x 60 mm
- Temperature range +10...+35°C
- Scope of supply: 1 piece

## ASTM D790

1	320490	<p>3-Point flexure test kit</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fmax 20 kN (with appropriate adaption to the machine)</li> <li>- For tests on plastics to ISO 178 and ASTM D 790</li> <li>- For texture analysis</li> <li>- Contains a flexure table, two supports, a rigid flexure die, and a variably adjustable specimen stop</li> <li>- Support separation 10...180 mm, radius 5, +/-0.2 mm, width 40 mm</li> <li>- Flexure die radius 5 mm, width 40 mm</li> </ul>
1	1072697	<p>Spacing jig as per ISO 178 and ASTM D 790</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Spacing jig for adjustment of span and centering stops</li> <li>- For 3-point flexure tests in accordance with ISO 178: 64 mm span for 5 mm anvil and die radii and 40 mm anvil width</li> <li>- For 3-point flexure tests in accordance with ASTM D 790: 51.2 mm span for 5 mm anvil and die radii and 40 mm anvil width</li> <li>- Anvils can be centered for span distance to each other and to die and aligned very accurately in the support axis</li> <li>- Re-alignment of anvils to die possible without removal of centering stops</li> </ul>
1	310978	<p>Adapter Fmax 10 kN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- For the connection of test tools with connection Ø 16g6 to mounting stud with diameter 20 mm</li> </ul>
1	314634	<p>Connector Fmax 10 kN</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- For the connection of test tools to a mounting stud with diameter 20 mm</li> </ul>

## Software

# Zwick / Roell

ZwickRoell S.A. de C.V.

1	1035156	<p>testXpert III basic program, Spanish The following testXpert III functions are already included with the testing machine:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Test programs for determining the maximum force and extension</li> <li>- Performance and recording of a manual test</li> <li>- Subsequent evaluation of specimens and series for calculation under changed specifications or the creation of new results</li> <li>- Tolerance monitoring of all results</li> <li>- Complete statistical evaluation of the test results and tolerance monitoring</li> <li>- Force and strain control</li> <li>- Operator and specimen protection</li> <li>- Full CSV and ASCII export of parameters, results and raw data</li> <li>- Pre-defined test report in PDF format</li> <li>- User management for protection against unauthorized use of the testing machine and test data</li> <li>- Real-time correction of the machine deformation (correction curve)</li> <li>- Direct connection of specimen measuring devices to testXpert III</li> </ul> <p>A local database (Storage) is supplied for the long-term analysis of test and machine data with testXpert Analytics. A Machine status display feature is included.</p>	
1	1035577	<p>testXpert III Standard Test Program, type xte051_02</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- To ASTM D 638 05/2008</li> <li>- Tensile properties on plastics</li> </ul>	
1	1035590	<p>testXpert III Standard Test Program, type xcf052_02</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- To ASTM D 790, 2015</li> <li>- Determination of flexural properties of unreinforced and reinforced plastics and electrical insulation materials</li> </ul>	
	<b>Subtotal</b>		<b>€2,144.00</b>
<b>PC</b>			
1	1118075	<p>HP ELITEDESK 800 G9</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Windows 10 Pro 64bit Multilingual</li> </ul>	

- Intel Core-i5-12500
- 16 GB (2x8 GB) DDR5 RAM memory
- 512 GB SSD M.2 2280 PCIe NVMe TLC SSD
- 2 TB 7200 SATA
- DVD Drive 16x/40x
- 2x Gigabit Ethernet interface, 1x ser,
- 6x + 2x (front) USB 3.0
- 2 display port connections (display port for display port cable), VGA connection on board
- Keyboard German/English, optical mouse USB
- Documentation in German/English
- Incl. installation of testXpert, setting up the IP address, and performing function verification and testing
- Can easily be upgrade to Windows 11
- 1 year warranty, 1 year on site
- PC-hard- and software has an ever-shorter life span, so we always supply an equivalent or a better succeeding model

- 1    028997    LCD flat screen 24", widescreen  
 - Resolution 1920 x 1080  
 - HDMI, DisplayPort, VGA

As PC hardware has ever-shorter product cycles, an equivalent or better follow-up model is always supplied.

## Documentation

- 1    038784    CE marking and declaration of conformity (products of the series) in accordance with EC Machinery Directive 2006/42/EC. The safety equipment of the testing system supplied by ZwickRoell is based on the application as stated by the end user.

From this is derived the intended use of the testing system, as documented in the instruction manual, section safety manual.

Contact ZwickRoell if you intend to expand the use of or modify the testing system, as changes of this nature may require expansion or amendment of the existing safety equipment of the testing system.

Risk and liability for improper use (applications)

# Zwick / Roell

ZwickRoell S.A. de C.V.

other than the defined intended use) are borne by the end user.

- |   |        |  |
|---|--------|--|
| 1 | 325977 | Documentation in Spanish on paper and CD |
| 1 | 316461 | Certificates of origin                   |

## Shipping & handling charges

- |   |          |  |
|---|----------|--|
| 1 | 890104   | Cardboard packing box on wooden pallet for upright transport<br>- for a ZwickRoell materials testing machine<br>- dimensions: LxWxH: 124x89x215 cm |
| 1 | 1053689  | Cardboard packing box on wooden pallet<br>- for PC, monitor, printer<br>- dimensions: LxWxH: 94x74x96 cm   |
| 1 | ZRMX9039 | Transport Charges and Insurance  |

## Service

- |   |          |   |
|---|----------|---|
| 1 | ZRMX0001 | Carried out by qualified staff<br>- Utilization of standardized checklists<br>- Testing of all safety relevant functions<br>- Comprehensive overview to the hard- and software<br>- Documented machine acceptance and instructions performed by our sales/service company ZwickRoell<br>- Any further costs incurred will be charged at the then valid customer service rates on an hourly basis for the number of hours certified<br>- Doesn't include transport inside of the plant nor handling equipment in the installation's place, neither unpacking of the testing machine and/or accessories |
| 1 | ZRME0002 | Installation  |
| 1 | ZRMX7001 | Calibration Service to ISO 7500-1:2018 for load cell in tensile and compression direction.<br>-Crosshead Travel calibration service to ISO 9513. Up to 200mm<br>-Speed Calibration Service to ASTM E2658. 0.01 mm/min to 200 mm/min<br>-Calibration performed by ZwickRoell S.A. de C.V. Accredited to ISO17025   |



ZwickRoell S.A. de C.V.

-Accreditation No. 80306  
-Certificate L23-311

1	ZRMX8002	<b>Test Machine Operation Training</b> <b>Recommended Max. participants: 5</b> <b>Subjects covered:</b> -Relevant Safety Functions -Hardware and Software Review -Machine Configuration -Tests Configuration -Establishing Settings and Obtaining Results -Report Generation
---	----------	--

**Total Amount**

**€44,150.00**

The testing system described above is designed according to the information provided by the customer. If the intended use, or the requirements of the machine changes, please feel free to contact your assigned sales engineer in order to receive counselling



ZwickRoell S.A. de C.V.

Almacenes Vidri 5kN ProLine

### **3. General Delivery and Payment terms**

#### **Delivery Terms**

Incoterms® 2010  
2020\_CIP El Salvador

Current VAT (value added tax) or other taxes are not included in the quoted prices. If applicable, these taxes will be invoiced separately.

#### **Validity**

The validity of this quotation is 1 month.

#### **Delivery Period**

**Delivery time is 10 weeks from receipt of a technically and commercially clarified order together with the down payment.**

We reserve the right to modify the specified equipment within the delivery period, whilst maintaining the ordered functionality.

The stated delivery time is only valid if all country specific and contract relevant agreements, sub-agreements and legal requirements are complied with and fulfilled.

#### **Payment plan**

We request the payment as follows:

- 90% of the total amount payable within 10 days against prepayment invoice, net.
- 10% of the total amount payable within 10 days from date of installation and invoice, net. Machine must be installed before 45 days from date of delivery, if it takes longer due to customer's reason, payment must be processed in favour of ZwickRoell.

#### **Invoicing**

Due to internal policy, re-invoicing is not accepted, if required, 0.5% of the total amount of the invoice will be charged for administrative expenses.

If the visit, already scheduled, is canceled for reasons beyond the control of ZwickRoell, the travel expenses incurred will be charged.

#### **Cancellation:**

Orders may not be cancelled without ZwickRoell's consent. For standard product orders, a 10 % cancellation fee will be applied if the order is cancelled prior to the final thirty (30) days before delivery, and a 20% charge if cancelled within the final thirty (30) days of the confirmed delivery date. For custom products (including custom items purchased with standard testing system orders), the cancellation fee shall be fifty percent (50%) of the custom product or order value if cancelled prior to thirty (30) days of the confirmed delivery date. If a custom product order is cancelled within the final thirty (30) days of the promised delivery date, the cancellation fee shall be the full order value (100%) of the custom product order.

#### **Product Returns:**

Custom items are not eligible for return, unless factory authorization is obtained. Standard items may be returned within 30 days of receipt. If, after inspection, ZwickRoell determines that the item is salable as a new and unused product, full credit will be issued. Otherwise, ZwickRoell reserves the right to charge a minimum of 20% of the items' original value in refurbishment and re-stocking charges and to limit the credit for the return to the fair value of the items being returned.

Page 9 of 10



ZwickRoell S.A. de C.V.

If an order is shipped in error by ZwickRoell or its supplier, the item must be returned in new and unused condition in the original packaging.

**Acceptance and Scope:**

Acceptance of this offer by the customer is limited to the terms of this offer. Scope modifications and/or supplementary agreements of any type beyond this offer may result in additional material or service costs. Changes to this offer must be in written form and must be officially confirmed by ZwickRoell.

**Warranty**

We accept warranty for the period of 12 months from date of delivery in accordance with our General Terms and Conditions of Supply and Delivery with consideration of the place of delivery as stated in our quotation or respectively in our order confirmation.

Our warranty period for the equipment mentioned here is 12 months from date of delivery, without any limitation on the actual machine operational hours during this term.

**"Period of warranty for the machine as per the order is 12 months from the date of installation or commissioning/acceptance, or a maximum of 15 months from date of shipment or from date of invoice in the event a delay is caused by the Purchaser which affects commissioning/acceptance or shipment."**

We are, of course, prepared to deliver necessary spare parts to the end destination you designated. However, the transportation costs incurred are the responsibility of the receiver.



A customer service engineer is available at the valid rates when required.

**CE Mark**

The ZwickRoell testing systems are developed and produced while paying close attention to the best available technology as well as all appropriate regulation for obtaining the CE marking. Please find detailed information on relevant EC directives as well as applied harmonized standards in the provided declaration of conformity and declaration of incorporation.

**Note**

Supplementary agreements of any type beyond this quotation must be in written form and must be officially confirmed by ZwickRoell.


 <b>Quotation</b>					
<b>To: Universidad De El Salvador</b> <b>Email: ra17023@ues.edu.sv</b> <b>Contact: Julio Ramirez</b> <b>Ph: +50377248578</b> <b>Quotation No.: LG09240309SV</b> <b>Valid time: 30 days</b>		<b>From: LIANGONG TESTING Group</b> <b>Email: Lgtester4@testermachine.com</b> <b>Contact: Laura Liu</b> <b>Ph: 0086-18854162189 / 0086-531-68818878</b> <b>Date: 2024-03-09</b> <b>Term: CIF</b>			
Item	Name	Model	Qty	Unit Price (USD)	Remarks
1	Computer Control Electronic Universal Testing Machine	CMT-5	1 set	\$10.000,00	According to technical specifications of CMT-5.
1,1	<i>Including:</i> 1, One set CMT-5 machine host with 0.5 class Transcell load cell; 2, Test speed can be up to 600mm/min.; 3, One set of wedge tensile test fixture (flat jaw size: 0-7mm); 4, One set of plastic 3-point flexural test fixture (with one pcs digital display micrometer); 5, One set of compression test fixture (dia.100mm); 6, One set of computer with English version measuring software, software can be long life upgrade freely; 7, One set standard export plywood packing box.				
2	Shipping Cost and Insurance to Acajutla seaport, Salvador			\$580,00	By LCL container
<b>Total Price (CIF)</b>				<b>\$10.580,00</b>	
<b>NOTES:</b> 1. Delivery date: 25-30 workdays after receiving T/T 100% in advance. 2. Payment terms: T/T, 100% advance payment. If L/C term, need extra cost USD 400. 3. Above quotation is based on standard configurations. 4. Option attachment should be extra charged. 5. Packages: Standard Export Package 6. Warranty: 12 months for the machine host, except the consumable parts, human factor broken, and other abnormal factors.					

Anexo 10. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos de Liangong: modelo CMT-5L.




#### Main Products Series:

1. Charpy Impact Test Machine
2. Low Temperature Chamber
3. UV Sample Broaching Machine
4. Charpy Projector
5. Hydraulic Universal Test Machine
6. Electronic Universal Test Machine
7. High Low Temperature Chamber
8. High Temperature Furnace
9. Drop Weight Impact Tester
10. Gauge Meter (Striking Machine)
11. Steel Bar/Tube Bending Tester
12. Metal Wire Bending Tester
13. Metal Wire Torsion Tester
14. Quenching Test Bench
15. Metal Cupping Tester
16. Wood-Based Panel UTM
17. Friction and Wear Tester
18. Hardness Tester
19. Plastic Testers

 <b>QINGDAO CHENGYU TESTING EQUIPMENT CO.,LTD.</b> No.118,Wuyishan Road,Huangdao Dist. Qingdao City, Shandong Province, China. +86 17561686602 ada@cytesting.com					
<b>QUOTATION</b>					
From	<b>QINGDAO CHENGYU TESTING EQUIPMENT CO.,LTD</b>		Invoice No.	QCTE240304UTM121	
	No.118,Wuyishan Road,Huangdao Dist. Qingdao City, Shandong Province, China.		Issue Date	2024/3/5	
			Payment terms	100% T/T in advance	
To	<b>University of El Salvador</b>		Load port	Qingdao, China	
	Final, 25 Av. Norte, San Salvador, San Salvador		Destination Port	Salvador	
No.	Name	Specification	Qty	Unit price	Amount
1	WDW-5D Computer Control Universal Testing Machine	Maximum test force:5KN PC software control Tensile grip*1(2 pairs jaws for free) Speed:1000mm/min Compression Platen*1 Extensometer*1 3 Point bending fixture*1 Computer*1 Printer*1 Software*1 Other standard accessories	1	US\$4,575.00	US\$4,575.00
2	Bank Cost	—	—	—	US\$40.00
3	Shipping cost	By Sea	—	—	US\$300.00
<b>Totally Amount(CIF ACAJUTLA)</b>					<b>US\$4,915.00</b>
<b>U.S.DOLLAR Bank Account as bellow:</b>					
BENEFICIARY:	QINGDAO CHENGYU TESTING EQUIPMENT CO.,LTD.				
NAME OF BANK:	BANK OF CHINA LIMITED QINGDAO BRANCH,QINGDAO WEST COAST NEW AREA BRANCH.				
A/C NO.:	240341792999				
SWIFT CODE:	BKCHCNBJ50A				
ADDRESS OF BANK:	NO.65 XIANGJIANG ROAD,QINGDAO ECONOMIC AND TECHNICAL DEVELOPMENT ZONE,QINGDAO,SHANDONG,CHINA				
<b>Note</b>					

Anexo 11. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos de Cheng Yu: modelo WDW-5D.

<p><b>1. Warranty period:</b> One year since the goods delivered from factory. During the warranty period, non-user-made faults are technical support and parts are free of charge, but damage caused by floods, fires, earthquakes or other disasters is not covered by this warranty. During the warranty period, if there is one of the following conditions, our company will not responsible for it according to the situation:</p> <p>A. Failure to follow the work procedures and environmental damages indicated in the product manual; B. Damage caused by unauthorized disassembly, expansion and modification; C. Damage caused by repairs not made by our company's technical staff, agents and distributor maintenance personnel; D. Damage due to construction or other human factors;</p>	
<p><b>2. Regard of Device Debugging:</b>our company will provide technical guidance, but requires customers to operate and debug themselves. If we need our company to appoint our technicians for on-site commissioning, the buyer must pay all expenses except wages (including visa fees, round-trip airfare, accommodation fees, catering fees, local transportation costs in the destination country, translation fees, etc. Expenses incurred in the destination country.</p>	
<p><b>3.Regarding packaging:</b> Our export packaging is a fumigation-free wooden box. If customers have other packaging requirements, please inform in advance.</p>	
<p><b>4. Delivery time:</b> Within 7-15 working days after received the payment.</p>	
<p><b>5.Others:</b>The delay in delivery due to the shipping company is a force majeure factor. If such a situation occurs, the buyer and the seller shall negotiate and resolve the matter. If the terms are EXW or FOB, ignore this term.</p>	
<p><b>6.Validity: 15 days with effect from Mar. 5th, 2024</b></p>	
<p><b>Seller</b> QINGDAO CHENGYU TESTING EQUIPMENT CO.,LTD.</p> 	<p><b>Buyer</b> University of El Salvador</p>

## Professional and Reliable Manufacturer of Material Testing Machine

Thank you very much for your support and care for Chengyu, and giving us the opportunity to provide you with the best service. Choosing Chengyu to achieve a better future! Providing you the best solution is the goal and ideal we have always adhered to. We look forward to growing and thriving together with you.

**CHENGYU**  
TESTING EQUIPMENT

CTD	UNIDAD	MARCA	# PARTE	DESCRIPCIÓN	MONEDA	P.UNITARIO	IMPORTE
1	PIEZA	LLOYD	LD5S-115V	<b>MAQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS LD5</b>	USD	\$42,440.00	\$42,440.00
1	PIEZA	LLOYD	01/5042	<b>CONSOLA/TABLET CON SOFTWARE NEXYGEN</b> Consola tipo Lap Top / tablet 2 en 1, con Software nexygen ; recomendada para aplicaciones de rutina y donde se requiera algun cumplimiento de metodos internacionales como ASTM e ISO,  CARACTERISTICAS: + Incluye Software Nexygen 4 + Pantalla a color 13" Inch. + Touch Screen ó teclado + Configuracion de multiples Ensayos + Impresión y Exportación de datos. + Grafico final de pruebas + Incluye Windows 10 + Sistema para Video Captura + Incluye gran Biblioteca con metodos internacionales de prueba ASTM, ISO, DIN y EN	USD	\$9,705.00	\$9,705.00
1	PIEZA	LLOYD	01/3989	<b>CELDA DE CARGA PANCAKE SISTEMA LD5 KN</b> Celda de carga Pancake ,mejora la precisión en el eje transversal y aumentan el área de trabajo.  CARACTERISTICAS: + Capacidad: 5kN + OLC-5000-A1 + Precision: ± 0,5 % de la lectura hasta 1/100 de la capacidad + Resolución: Convertidor A/D de 32 bits	USD	\$7,444.00	\$7,444.00
1	JUEGO	LLOYD	01/1388	<b>MORDAZA DE CUÑA CARA PLANA DE AUTO TG-15</b> Mordaza de autoapriete con capacidad de 5kn	USD	\$3,935.00	\$3,935.00
1	JGO	LLOYD	01/1389	<b>SET DE 4 CARAS PARA MORDAZA TG15 LLOYD</b> Set de 4 caras tipo corte cruzado para mordazas tipo cuña de auto apriete Marca LLOYD	USD	\$2,031.00	\$2,031.00
1	:		ACCESORIO	<b>ACCESORIO</b>  INCLUYE ACCESORIO PARA PRUEBA DE FLEXION EN TRES PUNTOS 01/ 4105 Y 01/ 4126	USD	\$4,900.00	\$4,900.00

NOTA:

AL VERNOS FAVORECIDOS CON SU PEDIDO,  
AGRADECEMOS ENVIARLO A:  
**ATRYA PLAST S.A DE C.V**  
AV. RÍO CONSULADO No. 2614  
COL. SAN JUAN DE ARAGÓN  
México, D.F. 07969  
Tel. (55)26-03-74-50 ó 01-800-420-55-55  
RFC: APL-031117-EK5

\* VALIDEZ DE 15 DIAS.  
\* PRECIOS SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO.  
\* NO INCLUYEN IVA.

Documento Elaborado por: ATRYA PLAST SA DE CV  
No. página / Páginas totales 1 / 2

Anexo 12. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos de Chantillon: modelo LD-5.



ATRYA PLAST  
S.A. DE C.V.

## ATRYA PLAST S.A DE C.V

[www.atrya.com.mx](http://www.atrya.com.mx)

**COTIZACION 35724**

07/03/2024

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

DIRECCIÓN: Final Avenida "Mártires Estudiantes del 30 julio", No :

COLONIA: Ciudad Universitaria

PAÍS: SLV      LOC: San Salvador

C.P.: 00001      ESTADO:

ATENCIÓN: Prof. Julio Ramirez  
ra17023@uocs.edu.sv  
Tels : (503) 2511-2000

VENTAS: JORGE VILLEDA MARTÍNEZ  
jorge.villeda@atrya.com.mx

CTD	UNIDAD	MARCA	# PARTE	DESCRIPCIÓN	MONEDA	P.UNITARIO	IMPORTE
-----	--------	-------	---------	-------------	--------	------------	---------

**TIEMPO DE ENTREGA: 4-6 SEMANAS**  
**LUGAR DE ENTREGA: LAB ALMACEN ATRYA CDMX**  
**PAGO: SE REQUIERE DEL 50% DE ANTICIPO, RESTO CONTRA AVISO DE ENVIO**  
**NOTA: CUALQUIER ADICION AL PRESENTE DOCUMENTO, SE COTIZARA POR SEPRADO**

NOTA:



**AL VERNOS FAVORECIDOS CON SU PEDIDO,  
 AGRADECEMOS ENVIARLO A:  
 ATRYA PLAST S.A DE C.V  
 AV. RÍO CONSULADO No. 2614  
 COL. SAN JUAN DE ARAGÓN  
 México, D.F. 07969  
 Tel. (55)26-03-74-50 ó 01-800-420-55-55  
 RFC: APL-031117-EK5**

- \* VALIDEZ DE 15 DIAS.
- \* PRECIOS SUJETOS A CAMBIO SIN PREVIO AVISO.
- \* NO INCLUYEN IVA.

Documento Elaborado por: ATRYA PLAST SA DE CV

No. página / Páginas totales 2 / 2



## ATRYA LAB S.A DE C.V

www.atryalab.com

**COTIZACION 15515**  
15 de Agosto de 2024

<b>CLIENTE :</b> UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR	<b>ATENCION :</b> PROF. JULIO ALEXANDER RAMIREZ AYALA
<b>DIRECCION :</b> Final de Av. Mártires y Héroes del 30 de julio No :	ra17023@ues.edu.sv
<b>COLONIA :</b> Ciudad Universitaria	Tels : (503) 2511-2000
<b>PAIS :</b>	<b>VENTAS :</b> JORGE VILLEDA MARTÍNEZ
<b>DELEG/ MPO :</b>	Acceso de Ventas
<b>C.P. :</b> 00001	(52603) 7450
<b>CIUDAD :</b>	jorge.villeda@atrya.com.mx
<b>ESTADO :</b>	

CTD	UNIDAD	MARCA	NO DE PARTE	DESCRIPCION	MONEDA	P.UNITARIO	IMPORTE
1	SERV	IPVM- CALI/CELDA	14	<b>SERV/CALIB CELDA DE CARGA 2 SENTIDOS</b> Servicio de calibración con acreditación a celda de carga en dos sentidos tensión y compresión	USD	\$395.00	\$395.00
1	SERV	VIATICOS		<b>VIATICOS</b>	USD	\$1,350.00	\$1,350.00

**NOTA:** TIEMPO DE ENTREGA: 2-3 SEMANAS, YA CON INFORMES ELECTRONICOS  
LUGAR DE ENTREGA: SAN SALVADOR, UNIVERSIDAD  
PAGO: ANTICIPO 100%  
NOTA: CUALQUIER ADICION AL PRESENTE DOCUMENTO, SE COTIZARA POR SEPARADO

**AL VERNOS FAVORECIDOS CON SU PEDIDO, FAVOR DE DIRIGIRLO A: ATRYA LAB S.A. DE C.V.**

**RFC: ALA040806S93**

AV. RÍO CONSULADO No. 2614 COL. SAN JUAN DE ARAGÓN  
México, D.F. 07969 Tel. (55) 2603-7450 ó (800) 420-5555

**LOS INFORMES DE CALIBRACIÓN Y PRUEBAS SE ENVIARÁN VÍA CORREO ELECTRONICO.**

**LA PRESENTE COTIZACIÓN TIENE VALIDEZ DE 15 DIAS A PARTIR DE ESTA FECHA, LOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA**



Documento Elaborado por: ATRYA PLAST SA DE CV

No. página / Páginas totale 1 / 2

Anexo 13. Cotización del servicio de calibración de la célula de carga de la Máquina Universal de Ensayos de 5 kN y viáticos.

## Quotation

<b>Date:</b>	2024/03/06
<b>Reference No.:</b>	UT24-0306-02
<b>To:</b>	Julio Ramírez Universidad de El Salvador
<b>From:</b>	Luther Liu (Mr.) BEIJING UNITED TEST CO.,LTD. <a href="mailto:export@unitedtest.com">export@unitedtest.com</a> ; <a href="mailto:unitedtest@vip.163.com">unitedtest@vip.163.com</a>

Product	Model	Qty	Price
Computer Controlled Electronic Universal Testing Machine Tensile space 1200mm, width 450mm 110V, 60HZ Vice grip for Hard polymer	WDT-5Y	1 set	USD 6320.00
3 points Flexure test fixture (5mm diameter roller)		1 set	USD 420.00
Eccentric roller grip T10054 for soft material		1 set	USD 350.00
Long Travel extensometer 1200mm		1 set	USD 1060.00
Micrometer		1 set	USD 0.00

**Term:** FCA Tianjin/Beijing

**Origin:** China

**Payment term:** TT in advance

**Production time:** 20 days

**Loading port:** Tianjin seaport/Beijing airport

**Warranty:** One year from delivery, all parts will be free charge replaced if the broken caused by equipment inherent defect. Lifelong after sales service & maintenance;

**Documents:** All related documents (operation manual, software manual, quality certificate, business documents etc., in English language.)

**Other:**

- Quotation base on the standard specification, any modification may cause extra cost.
- Shipping Documents: Include Bill of lading/Air waybill; Commercial invoice, Packing list as standard. Any other third party documents or certificate may cause extra cost. If need any extra documents, inform us before order.

[www.unitedtest.com](http://www.unitedtest.com)



BEIJING UNITED TEST CO.,LTD.

3, Delivery time (shipping time of the vessel, plane etc.): Production time + One week export customs procedure.

4, Trading term: FOB/FCA/C&F/CIF/CIP/CPT

5, Other payment term: Paypal / westunion

6, Delivery: Sea by ship to seaport; Air by plane to airport; Courier (DHL/TNT) to door.

**Bank Details:**

**Bank name:** Industrial Bank Co., Ltd., Beijing Branch.

**Bank address:** NO.2 FUXING ROAD, HAIDIAN DISTRICT BEIJING CHINA

**Swift Code:** FJIBCNBA680

**Account No.:** 321101400100028708

**Beneficiary Name:** Beijing United Test Co., Ltd. *(Beneficiary name must be exactly same no any mistake, no any missing, include the 2 dot and 1 comma.)*

**Beneficiary Address:** Room 802, 8 building, No. 7 Liqing Road, Chaoyang District, Beijing, China


**HST GROUP CO.,LIMITED.**

 Jinan Hensgrand Instrument Co., Ltd.  
 www.hssdgroup.com

TO:Universidad de El Salvador

From: HST GROUP CO.,LIMITED.

Email:ra17023@ues.edu.sv

Email:claire@hssdtest.com

Contact:Julio Ramirez

Contact: Claire

Tel:

Tel: +86-15866781190

Ref.No:SV24039018









Date:2024-03-05

Cod Cliente:SLV538612401







We thank you for your kind inquiry dated 2024-03-05 and offer to you as follows.

### Quotation

Trade Terms:CIF Acajutla's port

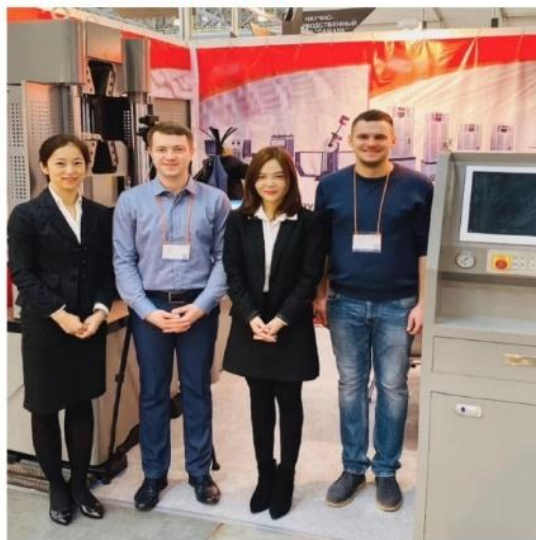
S.No.	PICTURE	ITEM	MODEL	QTY	Unit Price	Discount Price(usd)	Description
1		5KN Computer control electronic universal testing machine	HST WDW-5E	1 SET	\$8,000	\$5,000	Max load: 5kN, Class 0.5, Taiwan DELTA AC servo motor; Speed:0.001-1000mm/min
2		Wedge action tensile grip	HSTL	1 SUIT	Included	Included	Used for metal and non metal material; Adopt inclined self-locking and rotating handle clamping
3		Round Jaw	HSTJ-R	1 SUIT	Included	Included	standard:Φ4-9mm; Optional:Φ9-14mm,Φ14-20mm
4		Flat Jaw	HSTJ-F	1 SUIT	Included	Included	standard:0-7mm;Optional:7-14mm,14-20mm
5		Compression test fixture	HSTY	1 SUIT	Included	Included	Dia. of plate Φ100mm
6		Add non-metallic three-point Bending Fixture	WA504A	1 SET	\$500	\$350	It is suitable for non-metallic bending test
7		Load cell	10KN	1 PIECE	Included	Included	Class 0.5, accuracy can be carried ASTM E4, ISO7500-1, EN 10002-2, BS1610, DIN 51221 standards.
8		AC Servo motor	Taiwan DELTA	1 SUIT	Included	Included	Low noise, high positioning accuracy, Optional:Japan panasonic

Anexo 15. Cotización de la Máquina Universal de Ensayos (equipo propuesto) de HST: modelo WDW-5E.

9		Reducer gear	Japan BEITTO	1 SUIT	Included	Included	High transmission efficiency, high speed and low noise
10		Full closed loop controller	EDCH 550	1 SET	Included	Included	Force, displacement and deformation closed loop control ,By USB contact computer
11		Test Software and Backup U disk	HKtest	1 SUIT	Included	Included	English;Optional:Russia, Turkish, Spanish.,etc
12		Hand control box	HR5	1 SUIT	Included	Included	320 x 240 LCD display Test force ,diplacement,speed
13		Computer	HP	1 SET	Included	Included	English system
14		Printer	HP	1 SET	Included	Included	HP A4
Product Total:					\$5,350.00		
Shipping cost to Acajutla's port (including the shipping cost to Qingdao Port,China)					\$500.00		
<b>Total:</b>					<b>\$5,850.00</b>		

**Remark:**

1. Terms of payment:100% TT in advance.
2. Delivery date: 7-15 working days after receiving payment.
3. Packages: Standard Export Package
4. Warranty of equipment: 12months
5. Certificate: with CE & ISO.

**Our Customers over the world:**

## Fotografías.



Anexo 16.  
Fotografía de probetas de TPU elaboradas para pruebas de caracterización de propiedades mecánicas según el patrón de relleno, CIDIM. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 20.  
Anexo 21.  
Fotografía de equipo Newags para ensayos de dureza (Brinell 2.5 y 5) del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 17.  
Fotografía de la viñeta de calibración computadora de control de la Máquina Universal de Ensayos del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.



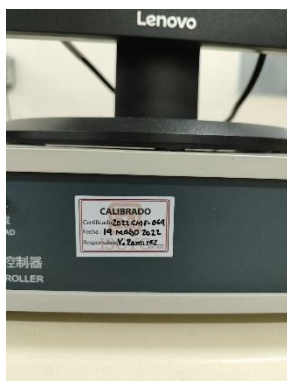
Anexo 22.  
Fotografía de equipo New Age para ensayos de dureza Rockwell del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 18.  
Fotografía de la Máquina Universal de Ensayos del CIDIM, capacidad de 100 toneladas. Fuente: Elaboración propia.



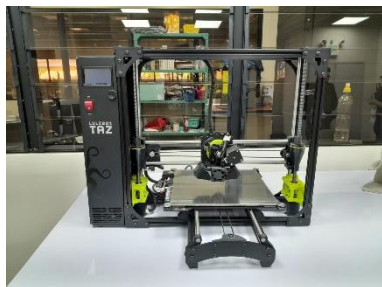
Anexo 23.  
Fotografía de máquina de ensayos de impacto (Charpy y con modificaciones puede ensayar Izod) del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.



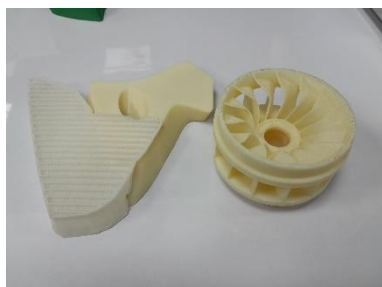
Anexo 19.  
Fotografía de barra de Nylon (PA) ensayada a tensión sin alcanzar la ruptura por su alto rango de deformación, CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 24. Horno Heraeus para tratamientos térmicos de probetas y piezas de acero del CIDIM. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 25. Fotografía de impresora 3D Luzbot Taz del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 26. Fotografía de prototipo de alabe y rodete de turbina Francis impresos en Nylon con FDM, en el CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 27. Fotografía de impresora 3D MakertBot Method X (multi-material) del CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 28. Fotografía de probetas de TPU elaboradas para pruebas de caracterización de propiedades mecánicas según el patrón de relleno, CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 29. Fotografía de probetas de TPU, una ensayada y la otra sin ensayar, notándose la deformación por esfuerzos axiales, CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 30. Fotografía de prototipo de alabe de turbina Francis impresa en Resina con Polimerización VAT, en el CEDITEC. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 31. Fotografía de Máquina Universal de Ensayos del CEDITEC, capacidad de 100 toneladas, electrohidráulica. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 32. Fotografía de Máquina Universal de Ensayos del CEDITEC, capacidad de 100 toneladas y con accesorios para ensayos de flexión, electrónica. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 33.  
Fotografía de extensómetro para ensayos de tensión del CEDITEC.  
Fuente: Elaboración propia.



Anexo 37.  
Fotografía de Impresora 3D Prusa i3 MK3 imprimiendo una pieza en PLA del 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 34.  
Fotografía de probetas de acero del tipo I y III, CEDITEC.  
Fuente: Elaboración propia.



Anexo 38.  
Fotografía de Impresora 3D estereolitográfica Formlabs Form2 del 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 35.  
Fotografía de acople de mordaza para identador del ensayo de flexión, del CEDITEC.  
Fuente: Elaboración propia.



Anexo 39.  
Fotografía de Impresora 3D Ultimaker 3 Extended del 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 36. Fotografía de accesorios de ensayo de flexión (Soportes e identador) del CEDITEC.  
Fuente: Elaboración propia.



Anexo 40. Fotografía de Impresora 3D Witbox2 del 3DLAB. Fuente: Elaboración propia.



Anexo 41.  
Fotografía de probetas de PLA, elaboradas para pruebas de caracterización de propiedades mecánicas según el patrón de relleno, 3DLAB.  
Fuente: Elaboración propia.



Anexo 45.  
Fotografía de brazo mecánico impreso en 3D en PLA, su aplicación requiere altos esfuerzos mecánicos en especial las piezas de transmisión de movimiento.  
Fuente: Elaboración propia.



Anexo 42.  
Fotografía de pieza impresa en 3D en PLA, su aplicación requiere bajos esfuerzos mecánicos.  
Fuente: Elaboración propia.



Anexo 43.  
Fotografía del Divino Salvador del Mundo impreso en 3D en PLA, su aplicación es decorativa y no realiza ningún esfuerzo mecánico.  
Fuente: Elaboración propia.



Anexo 44.  
Fotografía de pieza impresa en 3D en PLA, su aplicación requiere altos esfuerzos mecánicos. Fuente: Elaboración propia.