



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO DEL ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO ABS Y ACIDO POLILACTICO PLA FABRICADO MEDIANTE IMPRESIÓN 3D”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO MECÁNICO

AUTORES: MOAB IGNACIO ARIAS ÁVALOS

DIEGO MARCELO LÓPEZ AYALA

DIRECTOR: Ing. JORGE ISAIAS CAICEDO

Riobamba – Ecuador

2021

©2021, Moab Ignacio Arias Avalos y Diego Marcelo López Ayala

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Moab Ignacio Arias Ávalos, y Diego Marcelo López Ayala declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados de este son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

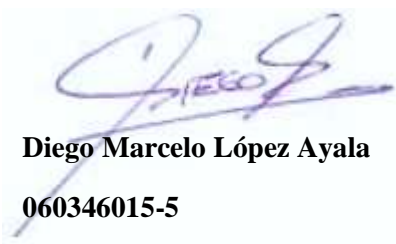
Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a light blue oval. The signature is cursive and appears to read 'Moab Ignacio Arias Avalos'.

Moab Ignacio Arias Avalos

060362110-3

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a light blue oval. The signature is cursive and appears to read 'Diego Marcelo López Ayala'.

Diego Marcelo López Ayala

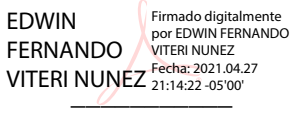
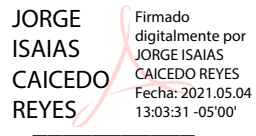

060346015-5

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

El Tribunal de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, **ESTUDIO DE LA RESISTENCIA AL IMPACTO DEL ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO ABS Y ACIDO POLILACTICO PLA FRABRICADO MEDIANTE IMPRESIÓN 3D**, realizado por los señores: **MOAB IGANCIO ARIAS AVALOS** y **DIEGO MARCELO LÓPEZ AYALA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Edwin Viteri Núñez MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Firmado digitalmente por EDWIN FERNANDO VITERI NUNEZ Fecha: 2021.04.27 21:14:22 -05'00'	2021-03-15
Ing. Jorge Isaías Caicedo Reyes MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 JORGE ISAIAS CAICEDO REYES Firmado digitalmente por JORGE ISAIAS CAICEDO REYES Fecha: 2021.05.04 13:03:31 -05'00'	2021-03-15
Ing. Miguel Sócrates Aquino MSc. MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: SOCRATES MIGUEL AQUINO ARROBA	2021-03-15

DEDICATORIA

Lleno de alegría y júbilo dedico el presente trabajo de investigación, a Dios por ser mi fortaleza y compañero incondicional en todos estos años de Estudio, a mis padres y hermanos por su valioso apoyo durante el transcurso de toda mi Carrera Politécnica, y finalmente dedico el presente trabajo, a mi hija Milenka Sofía que es ha sido, y será mi inspiración, mi motor y felicidad.

Moab Arias

A Dios por haberme guiado y bendecido en la culminación de esta etapa, a mis padres Julio y Gladys, por su apoyo y por ser mi mayor motivación para seguir adelante, a mis hermanos Julio y Luis por ser mis consejeros en momentos cuando todo parecía perdido y por el ejemplo de que todo trabajo y sacrificio tiene su recompensa. Y a todas las personas que durante este camino siempre fueron aporte tanto en el ámbito académico como en ámbito personal.

Diego López

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradezco a Dios, por haberme dado las herramientas necesarias para con estas haber logrado culminar mi carrera de Ingeniería Mecánica, también agradezco a mis padres y hermanos, por su apoyo y preocupación durante todos estos años de estudio, un gran reconocimiento y gratitud a los Ingenieros Isaías Caicedo y Miguel Aquino, por habernos ayudado y guiado en el desarrollo de nuestro trabajo de titulación, y finalmente agradezco a la Escuela De Ingeniería Mecánica así como a sus Eruditos Docentes, verdaderos maestros de la ciencia y tecnología.

Moab Arias

Agradecer a Dios por guiarme hasta esta meta sin que llegara a rendirme y lograr este objetivo trazado en mi vida. A toda mi familia porque fueron testigos y mi motivación durante toda mi carrera universitaria. A la Escuela de Ingeniería Mecánica por abrirme sus puertas y a sus docentes por acogerme y brindarme sus conocimientos para poder cumplir este sueño que años atrás parecía que no lo iba alcanzar. Agradezco de igual manera a los docentes Ing. Isaías Caicedo e Ing. Miguel Aquino quienes formaron parte del desarrollo del trabajo de titulación. Finalmente quiero agradecer de manera especial a Gabriela que, con su apoyo incondicional, tanto en los buenos y malos momentos llego a formar parte de este logro alcanzado.

Diego López

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE TABLAS	x
ÍNDICE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Justificación.....	3
1.3.1. <i>Justificación teórica.</i>	3
1.3.2. <i>Justificación metodológica.</i>	4
1.3.3. <i>Justificación práctica.</i>	4
1.4. Alcance.....	4
1.5. Objetivos.....	5
1.5.1. <i>Objetivo general.</i>	5
1.5.2. <i>Objetivos específicos.</i>	5

CAPITULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1. Materiales poliméricos.....	6

2.1.1.	<i>La clasificación de los polímeros</i>	6
2.1.1.1.	<i>Termoplástico</i>	7
2.1.1.2.	<i>Termoestables</i>	9
2.1.1.3.	<i>Elastómeros</i>	9
2.2.	 Materiales usados en la impresión 3D	10
2.2.1.	 <i>Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)</i>	11
2.2.1.1.	<i>Estructura y propiedades del ABS</i>	11
2.2.1.2.	<i>Impresión de ABS</i>	12
2.2.2.	 <i>Ácido poliláctico (PLA)</i>	13
2.2.2.1.	<i>Estructura y propiedades del PLA</i>	14
2.2.2.2.	<i>Impresión del PLA</i>	15
2.3.	 Comparación de las propiedades de los polímeros ABS y PLA	15
2.3.1.	<i>Ventajas del polímero ABS frente al PLA</i>	16
2.3.2.	<i>Ventajas del polímero PLA frente al ABS</i>	17
2.4.	 Impresiones 3D	17
2.5.	 Tipos de impresoras 3D	18
2.5.1.	<i>Impresoras 3D por Estereolitografía (SLA)</i>	18
2.5.2.	<i>Impresoras 3D por inyección.</i>	19
2.5.3.	<i>Impresoras 3D de Sinterización Selectiva por Láser (SLS)</i>	19
2.5.4.	<i>Impresión por deposición de material fundido (FDM)</i>	20
2.6.	 Impresora Creality Ender 3 Pro	21
2.7.	 Parámetros utilizados en el proceso de impresión 3D	23
2.7.1.	<i>Patrón de mallado</i>	23
2.7.2.	<i>Espesor de pared</i>	24
2.7.3.	<i>Porcentaje de relleno</i>	24
2.8.	 Software de laminado Ultimaker Cura	26
2.9.	 Propiedades mecánicas	26
2.9.1.	<i>Tenacidad</i>	27
2.9.2.	<i>Resiliencia</i>	27

2.10.	Ensayo de impacto	28
2.10.1.	<i>Ensayo de impacto en polímeros.....</i>	29
2.10.1.1.	<i>Ensayo Charpy.....</i>	29
2.11.	Métodos Estadísticos.....	31
2.11.1.	<i>Medidas de dispersión.....</i>	31
2.11.1.1.	<i>Desviación estándar</i>	31
2.11.1.2.	<i>Gráficos de control estadístico</i>	33
2.11.1.3.	<i>Situaciones anormales en el comportamiento de la muestra.....</i>	34

CAPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.....	36
3.1.	Enfoque de la investigación.....	36
3.2.	Diseño cuantitativo	36
3.3.	Alcance de la investigación.....	37
3.4.	Población y muestra.....	37
3.5.	Métodos de recolección de información	37
3.6.	Fases de la investigación	38
3.7.	Diseño y modelado de probetas en software CAD.....	39
3.8.	Preparación de la impresora 3D	41
3.9.	Impresión de las probetas ABS y PLA	43

CAPITULO IV

4.	RESULTADOS	45
4.1.	Ensayo de impacto Charpy	45
4.2.	Resultados de los ensayos de impacto tipo charpy en probetas 3D impresas en material ABS y PLA.	46
4.2.1.	<i>Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de ABS al 30% de relleno con 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor y 6 patrones de mallado distintos.....</i>	46

4.2.2.	<i>Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de ABS con 60% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.....</i>	53
4.2.3.	<i>Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de ABS con 80% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.....</i>	59
4.2.4.	<i>Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de PLA con 30% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.....</i>	65
4.2.5.	<i>Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de PLA con 60% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.....</i>	71
4.2.6.	<i>Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de PLA con 80% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.....</i>	78
4.2.7.	<i>Análisis de la Resiliencia respecto al Espesor de Pared, para los 6 patrones al 30% – 60% - 80% de Relleno en ABS.....</i>	84
4.2.8.	<i>Análisis de la Resiliencia respecto porcentaje de relleno, para los 6 patrones a 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor en ABS.....</i>	87
4.2.9.	<i>Análisis de la Resiliencia respecto al Espesor de Pared, para los 6 patrones al 30% – 60% - 80% de Relleno en PLA.....</i>	90
4.2.10.	<i>Análisis de la Resiliencia respecto porcentaje de relleno, para los 6 patrones a 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor en PLA.....</i>	93
	CONCLUSIONES.....	97
	RECOMENDACIONES.....	100
	BIBLIOGRAFIA	
	ANEXOS	

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1-2: Temperaturas características por colores del ABS	13
Tabla 2-2: Temperaturas características por colores del polímero PLA	15
Tabla 3-2: Comparación de propiedades entre el ABS y PLA	16
Tabla 4-2: Características técnicas Impresora Ender 3	23
Tabla 5-2: Porcentajes de relleno recomendados.	25
Tabla 1-3: Porcentajes de relleno recomendados.	44
Tabla 1-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Trihexagonal al 30% de relleno con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	47
Tabla 2-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Líneas al 30% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.	48
Tabla 3-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado concéntrica al 30% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	49
Tabla 4-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado cubica, al 30% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm	50
Tabla 5-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Zigzag al 30% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm	51
Tabla 6-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Rejillas al 30%, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	52
Tabla 7-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Trihexagonal al 60%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	53
Tabla 8-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Líneas al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm	54
Tabla 9-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Concéntrico 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm	55
Tabla 10-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Cubica al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm	56
Tabla 11-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Zigzag al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	57

Tabla 12-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado rejilla al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	58
Tabla 13-4: Resistencia al impacto de las probetas semirrígidas ABS, configuración Trihexagonal al 80% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm ...	59
Tabla 14-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Lineal al 80% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	60
Tabla 16-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Cubica al 80% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	62
Tabla 17-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Zigzag al 80% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm	63
Tabla 18-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Rejilla al 80% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm	64
Tabla 19-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Trihexagonal al 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	65
Tabla 20-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Lineal, 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	66
Tabla 21-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Concéntrico al 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	67
Tabla 22-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Cubica al 30%, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	68
Tabla 23-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Zigzag al 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	69
Tabla 24-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Rejilla al 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	70
Tabla 25-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Trihexagonal al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm	72
Tabla 26-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Lineal al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	73
Tabla 27-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Concéntrica al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm	74
Tabla 28-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Cubica al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	75

Tabla 29-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Zigzag al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	76
Tabla 30-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Rejilla al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	77
Tabla 31-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Trihexagonal al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	78
Tabla 32-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Lineal al 80%, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	79
Tabla 33-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Concéntrica al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	80
Tabla 34-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Cubica al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	81
Tabla 35-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Zigzag al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	82
Tabla 36-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Rejilla al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.....	83
Tabla 37-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 30% de relleno en probetas ABS...	85
Tabla 38-4: Análisis de Resiliencia – Espesor de pared al 60% de relleno en probetas ABS..	86
Tabla 39-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 80% de relleno en probetas ABS...	87
Tabla 40-4: Resiliencia – porcentaje de relleno, con 0.8mm de espesor en probetas ABS.....	88
Tabla 41-4: Análisis Resiliencia – porcentaje de relleno a 1.2mm de espesor en probetas ABS	89
Tabla 42-4: Análisis de Resiliencia – porcentaje de relleno a 1.6mm de espesor en probetas ABS.....	90
Tabla 43-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 30% de relleno en probetas PLA...	91
Tabla 44-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 60% de relleno en probetas PLA...	92
Tabla 45-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 80% de relleno en probetas PLA...	93
Tabla 46-4: Análisis de Resiliencia – Porcentaje de relleno a 0.8mm de espesor de pared en PLA.....	94
Tabla 47-4: Análisis de Resiliencia – Porcentaje de relleno a 1.2mm de espesor de pared en PLA.....	95
Tabla 48-4: Análisis de Resiliencia – Porcentaje de relleno a 1.6mm de espesor de pared.	96

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1-2:	Configuración Polímeros Termoplásticos	8
Figura 2-2:	Configuración Polímeros Termoestables	9
Figura 3-2:	Configuración Elastómeros	10
Figura 4-2:	Estructura química del ABS	12
Figura 5-2:	Filamento polimérico ABS.....	13
Figura 6-2:	Configuración Elastómeros	14
Figura 7-2:	Filamento polimérico ABS.....	15
Figura 8-2:	Esquema funcionamiento Impresora 3D por Estereolitografía (SLA)	18
Figura 9-2:	Esquema funcionamiento Impresora 3D por inyección	19
Figura 10-2:	Esquema funcionamiento Impresora 3D por inyección	20
Figura 11-2:	Esquema funcionamiento Impresora 3D por deposición de material fundido (MDF)	21
Figura 12-2:	Partes impresora Ender 3 Pro	22
Figura 13-2:	Patrones de relleno: a) rejilla, b) lineal, c) cúbico, d) trihexagonal, e) concéntrico, f) Zigzag	24
Figura 14-2:	Altura de capa en el avacado superficial	24
Figura 15-2:	Configuración Elastómeros	25
Figura 16-2:	Interfaz Software Ultimaker Cura	26
Figura 17-2:	Diagrama tensión vs deformación, el área marcada es la resiliencia	28
Figura 18-2:	Péndulo de Charpy a) antes del impacto y b) después del impacto.....	29
Figura 19-2:	Probeta usada en el ensayo Charpy, dimensiones y entalle	30
Figura 20-2:	Distribución de esfuerzos según la entalla.....	31
Figura 21-2:	Gráficos de control para tres muestras, por medio la distribución normal.	33
Figura 22-2:	Situaciones anormales en el comportamiento de la muestra.	35
Figura 1-3:	Diagrama de proceso para el estudio realizado.....	39
Figura 2-3:	Probeta con entalle bajo la norma ASTM D6110	40
Figura 3-3:	Exportación de archivo desde AutoCAD a formato. STL.....	40

Figura 4-3:	Configuración y ajustes de parámetros de impresión.	41
Figura 5-3:	Problemas generados en la impresión 3D.....	42
Figura 6-3:	Procedimiento para nivelado de la cama base impresora Ender3	42
Figura 7-3:	Proceso para la obtención de probetas impresas en 3D.	43
Figura 8-3:	Impresión probeta ABS y PLA.....	44
Figura 1-4:	Péndulo Charpy para polímeros.	45

ÍNDICE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Materiales más usados en la impresión 3D	11
Gráfico 2-2:	Distribución Normal.	32
Gráfico 1-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Trihexagonal al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	47
Gráfico 2-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Lineal al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	48
Gráfico 3-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Concéntrico al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	49
Gráfico 4-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Cubico al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	50
Gráfico 5-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Zigzag, al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	51
Gráfico 6-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Rejilla al 30% de relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	52
Gráfico 7-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Trihexagonal al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	53
Gráfico 8-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Lineal al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	54
Gráfico 9-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Concéntrico al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	55
Gráfico 10-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Cubica al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	56
Gráfico 11-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Zigzag al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	57
Gráfico 12-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Rejilla al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	58
Gráfico 13-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Trihexagonal al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	59

Gráfico 14-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Lineal al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	60
Gráfico 15-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Concéntrico al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	61
Gráfico 16-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Cubica al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	62
Gráfico 17-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Zigzag al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	63
Gráfico 18-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Rejilla al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	64
Gráfico 19-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Trihexagonal al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	66
Gráfico 20-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Lineal al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	67
Gráfico 21-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Concéntrico al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	68
Gráfico 22-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Cúbica al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	69
Gráfico 23-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Zigzag al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	70
Gráfico 24-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Rejilla al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	71
Gráfico 25-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Trihexagonal al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	72
Gráfico 26-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Lineal al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	73
Gráfico 27-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Concéntrico al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	74
Gráfico 28-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Cubica al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	75
Gráfico 29-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Zigzag al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	76

Gráfico 30-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Rejilla al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	77
Gráfico 31-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Trihexagonal al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	78
Gráfico 32-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Lineal al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	79
Gráfico 33-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Concéntrica al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	80
Gráfico 34-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Cúbica al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	81
Gráfico 35-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Zigzag al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	82
Gráfico 36-4:	Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Rejilla al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.	83
Gráfico 37-4:	Resiliencia vs Espesor de pared al 30% de relleno en ABS.	84
Gráfico 38-4:	Resiliencia vs Espesor de pared al 60% de relleno en ABS.	85
Gráfico 39-4:	Resiliencia vs Espesor de pared al 80% de relleno en ABS.	86
Gráfico 40-4:	Resiliencia vs Porcentaje de Relleno espesor a 0.8mm de espesor de pared.	87
Gráfico 41-4:	Resiliencia vs Porcentaje de Relleno a 1.2mm de espesor de pared.	88
Gráfico 42-4:	Resiliencia vs porcentaje de relleno a 1.6mm de espesor de pared.	89
Gráfico 43-4:	Resiliencia vs Espesor de pared al 30% de relleno en PLA.	90
Gráfico 44-4:	Resiliencia vs Espesor de pared al 60% de relleno en PLA.	91
Gráfico 45-4:	Resiliencia vs Espesor de pared al 80% de relleno en PLA.	92
Gráfico 46-4:	Resiliencia vs Porcentaje de relleno a 0.8mm de espesor de pared en PLA.	93
Gráfico 47-4:	Resiliencia vs Porcentaje de relleno a 1.2mm de espesor de pared en PLA.	94
Gráfico 48-4:	Resiliencia vs Porcentaje de relleno a 1.6mm de espesor de pared en PLA.	95

ÍNDICE ANEXOS

ANEXO A: PLANO DE LA PROBETA

ANEXO B: MANUAL TECNICO IMPRESORA ENDER 3D PRO

ANEXO C: NORMA ASTM D-6110

ANEXO D: DATOS TÉCNICOS FILAMENTO PLA

ANEXO E: DATOS TÉCNICOS FILAMENTO ABS

ANEXO F: FICHA TECNICA RECOLECCIÓN DE DATOS DE ENSAYO

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad el desarrollar la caracterización de la resistencia al impacto del filamento polimérico acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y ácido poliláctico (PLA), materiales mayormente utilizados en la impresión 3D, se modificaron los principales parámetros de impresión, como son el tipo de mallado, porcentaje de relleno y espesor de pared, para esto se procedió a modelar las probetas en el software AutoCAD, siguiendo los lineamientos de la norma ASTM D-6110, posteriormente se exporto este archivo CAD a formato STL para abrirlo en el software Ultimaker Cura, herramienta que permitió manipular los parámetros necesarios para este estudio y transformar automáticamente el archivo STL a un código G para introducirlo directamente en la impresora 3D, se imprimió cada probeta y se realizó una inspección para detectar anomalías, posteriormente se llevó estos especímenes al laboratorio de resistencia de materiales y con la ayuda de la máquina Charpy se procedió a realizar el ensayo de impacto, se recolectaron y tabularon los resultados, para finalmente analizarlos y dar las conclusiones pertinentes. El análisis de resultados mostro que la configuración que más resiliencia presenta en los materiales ABS y PLA es el de tipo concéntrico, y que existe una relación directa entre resistencia al impacto y porcentaje de relleno, así como resistencia al impacto y espesor de pared, además que los distintos mallados reaccionaron de manera distinta dependiendo del material, en el caso del ABS la configuración con menos resiliencia fue el mallado de tipo Trihexagonal, mientras que en el PLA la menos resistente al impacto fue el mallado tipo Lineal. Finalmente se elaboró gráficos de análisis y tablas de resultados comparativos en los cuales se mostraron los diferentes valores de resiliencia, de acuerdo con el porcentaje de relleno, espesor de pared y tipo de malla que tenían los especímenes ensayados.

Palabras clave: <RESISTENCIA AL IMPACTO>, <ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO (ABS)>, <ÁCIDO POLILÁCTICO (PLA)>, <AUTOCAD (SOFTWARE)>, <ULTIMAKERCURA (SOFTWARE)>, <IMPRESIÓN 3D>, <TIPO DE MALLADO>, <PORCENTAJE DE RELLENO>, <ESPESOR DE PARED>.

**LUIS ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS
Nombre de reconocimiento (DN):
c=EC, I=ROBAMBA,
serialNumber=0602766074, cn=LUIS
ALBERTO CAMINOS VARGAS
Fecha: 2021.04.19 11:21:12 -05'00'



1031-DBRAI-UTP-2021

ABSTRACT

The purpose of the present work was to develop the characterization of the impact resistance of the polymeric filament acrylonitrile butadiene styrene (ABS) and polylactic acid (PLA), materials mostly used in 3D printing, the main printing parameters were modified, such as the type of meshing, percentage of filling and wall thickness, for this the specimens were modeled in AutoCAD software, following the guidelines of the ASTM D-6110 standard, later this CAD file was exported to STL format to open it in the software Ultimaker Cura, a tool that allowed to manipulate the necessary parameters for this study and automatically transform the STL file to a G code to be entered directly in the 3D printer, each test tube was printed and an inspection was carried out to detect anomalies, later these specimens were taken to the materials resistance laboratory and with the help of the Charpy machine we proceeded to carry out the impact test, the results were collected and tabulated, to finally analyze them and give the pertinent conclusions. The analysis of results showed that the configuration with the most resilience in ABS and PLA materials is the concentric type, and that there is a direct relationship between impact resistance and filling percentage, as well as impact resistance and wall thickness, in addition The different meshes reacted differently depending on the material, in the case of ABS the configuration with the least resilience was the Trihexagonal type of mesh, while in PLA the least resistant to impact was the Linear type of mesh. Finally, analysis graphs and tables of comparative results were prepared in which the different resilience values were shown, according to the fill percentage, wall thickness and type of mesh that the tested specimens had.

Keywords: <IMPACT RESISTANCE>, <ACRYLONITRILE BUTADIENE STYRENE (ABS)>, <POLYLACTIC ACID (PLA)>, <AUTOCAD (SOFTWARE)>, <ULTIMAKERCURA (SOFTWARE)>, <3D PRINTING>, <TYPE OF MALL>, <PERCENT OF FILLING>, <WALL THICKNESS>.

INTRODUCCIÓN

Durante la primera década del siglo XXI se ha vivido una revolución en cuanto a la representación física de modelos reales, piezas a escala y maquetas volumétricas, todo esto a partir de un diseño previo en computador, haciendo que estas maquetas o representaciones físicas reales de objetos, sean ideales para ilustrar ideas, futuros proyectos, e invenciones en todos los campos de la ciencia.

Hoy en día las impresiones 3D son una herramienta esencial de uso investigativo, debido a su rápida capacidad de representar físicamente la idea, funcionamiento, explicación de un objeto o sistema, sino también por la facilidad de crear nuevos objetos tecnológicos, haciendo más fácil la aportación de conocimiento y ciencia hacia la sociedad, y por ende a la solución de problemas contemporáneos.

En la actualidad se cuenta principalmente con dos tipos de impresión en 3D, los cuales son de compactación (polvo compactado por estratos) y de adición o inyección (capas sucesivas de polímeros), siendo este último el más utilizado en desarrolladores y estudiantes, por lo que existe gran un interés en estudiar las propiedades de su conformada (impresión 3D).

Los materiales mayormente utilizados son el Acrilonitrilo Butadieno Estireno ABS y Ácido Poliláctico PLA, el ABS es un termoplástico de uso común, es ampliamente utilizado en impresoras FDM. El ABS tiene propiedades rígidas, químicas, resistentes a la humedad y al calor, sus principales inconvenientes son la baja biodegradabilidad y una mayor emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV). PLA es un biopolímero elaborado a partir de maíz y caña de azúcar, tiene propiedades mecánicas, baja toxicidad y cualidades de barrera, su desventaja incluye fragilidad y baja estabilidad térmica.

El presente proyecto estudiara el efecto producido debido al impacto en polímeros ABS y PLA, la creación de probetas con los dos materiales variando el mallado en el interior del material, cambio de su porcentaje de relleno, y de su espesor de pared. Las probetas de ABS y PLA fueron obtenidas a partir de un modelado CAD (Diseño asistido por computadora) para un rápido proceso de creación de prototipos, dicho prototipo 3D se almacena como litografía estéreo (.STL) y luego se procesa en la impresora 3D, por el método de deposición de material fundido (FDM).

CAPITULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La impresión 3D permite fabricar objetos por superposición de finas capas de materia. Si bien durante mucho tiempo esta tecnología de diseño y fabricación ha sido de uso exclusivo de las empresas dedicadas a la industria, en los últimos años, con la llegada al mercado de impresoras menos costosas y más rápidas, su uso se está popularizando. (Berchon y Luyt, 2016: p.3-7)

Actualmente se han desarrollado investigaciones, para caracterizar las propiedades mecánicas de estructuras porosas de dos polímeros (ABS y PLA), fabricadas mediante impresión 3D FDM, con el fin de validar su uso en implantes para regeneración ósea. (Rodríguez, 2015, pp.11-12)

Las aplicaciones de esta tecnología son muy numerosas, aunque en el Ecuador no se explota a nivel industrial, técnica, científica, sin embargo, su presencia en centros educativos, microempresas, manualidades, así como su popularidad e importancia en la investigación han ido aumentando significativamente en los últimos años.

Se han realizado ensayos de caracterización de los filamentos poliméricos ABS y PLA por parte de la Escuela Politécnica Nacional con el nombre de *“Caracterización de los materiales termoplásticos ABS y PLA semirrígidos impresos en 3D con 5 mallados diferentes”* (Molina, 2016), en donde se estudia la caracterización de las propiedades de tracción y flexión de estos dos polímeros, con distintas configuraciones con la norma ASTM D638-14 y ASTM D790-10.

En otro estudio denominado: *“Propiedades mecánicas de componentes fabricados mediante modelado por deposición fundida”* (Del médico, 2017), tuvo como finalidad el estudio de parámetros de impresión para determinar las propiedades mecánicas de probetas fabricadas con PLA mediante modelado por deposición fundida, se realizó múltiples ensayos de tracción, flexión, dureza y termogravimetría, variando entre diversos parámetros para optimizar los resultados.

Por otra parte, en el Ecuador se inició las aplicaciones prácticas a estos polímeros, tomando en

cuenta sus propiedades mecánicas, como es el caso de “*Desarrollo de una prótesis de cadera biomecánica tipo Charley impresa en PLA para un hombre de 50 años del Cantón Guano*”(Castelo, 2020), donde se imprimió una prótesis de cadera biomecánica, tomando en cuenta la tenacidad del PLA variando las configuraciones Cúbica y Trihexagonal, considerando únicamente el espesor de pared, en este trabajo se ensayó las probetas con sus distintas configuraciones y seleccionando la mejor configuración al impacto.

1.2. Formulación del problema

En el ámbito de la ingeniería, el uso o aplicación de un nuevo material, sean piezas o elementos mecánicos su principal estudio se basa en propiedades de resistencia mecánica, para garantizar a las máquinas y estructuras sometidas a cargas no fallen. En los últimos años se ven obligados a indagar nuevas tecnologías; por lo que el interés en el proceso de impresión en 3D aumenta.

Al realizar un análisis del material ABS y PLA, (materiales poliméricos que son generalmente utilizados en la impresión 3D) se originó el problema de que no cuentan con información suficiente en relación con datos tabulados sobre su resistencia al impacto.

Por lo tanto, se tiene como finalidad tener una mejor apreciación del comportamiento de la tenacidad de dichos materiales (ABS Y PLA) cuando son sometidos a cargas de impacto dependiendo del tipo de mallado, de acuerdo con el espesor de pared y del porcentaje de relleno, dando resultados, que a su vez permita servir como base para posteriores investigaciones y aplicaciones en el campo ingenieril, medicinal, entre otros.

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación teórica.

Para caracterizar de manera fiable y oportuna la resiliencia y tenacidad de los polímeros ABS y PLA, utilizados en la impresión 3D se tomarán en cuenta diversas cátedras como son resistencia e ingeniería de materiales, estadística, softwares de modelado e impresión 3D, la cual permitirá indagar y adquirir un conocimiento adecuado, para su correcta utilización y aplicación en los distintos campos de la ingeniería, medicina, etc., de acuerdo con las necesidades requeridas.

1.3.2. Justificación metodológica.

El presente trabajo parte por una investigación del estado del arte con respecto a los polímeros ABS y PLA, así como los estudios que se han desarrollado para la tecnología de impresión 3D. Para los ensayos se utilizará como guía base la norma ASTM D-6110, esta norma establece el método para determinar la resistencia al impacto de los materiales plásticos rígidos con muesca, que nos ayudará a tener un conocimiento claro y un procedimiento oportuno del ensayo Charpy aplicado para este trabajo, además el uso del software AutoCAD para modelar las probetas y del software Ultimaker Cura, en el cual se modificaran las variables de espesor de pared, patrón de mallado, y porcentaje de relleno en sus distintas configuraciones. Se procederá a realizar pruebas de control en el laboratorio, posteriormente se efectuará el ensayo de las probetas poliméricas ABS y PLA, recopilación, análisis y discusión de datos.

El método empleado en el presente trabajo de titulación será el método cuantitativo, puesto que vamos a requerir variables numéricas como son: espesor, porcentajes, energía de impacto, etc., es decir que los datos a analizar van a ser expresables en valores numéricos al realizar el ensayo de las probetas de ABS y PLA con respecto a su resistencia al impacto.

1.3.3. Justificación práctica.

El presente trabajo de titulación, se realiza para dar aporte a la caracterización de propiedades mecánicas en cuanto a la tenacidad y resiliencia de los polímeros ABS y PLA, variando su porcentaje de relleno, espesor y su tipo de conformado, en las formas más comunes utilizadas en la impresión 3D, ya que no existe información que profundice la caracterización de esta propiedad variando los 3 parámetros ya mencionados, haciendo que exista un vacío en cuanto a la adecuada utilización de estos polímeros en aplicaciones de impacto, para que futuros trabajos de diseño, investigación y experimentación cuenten con más información.

1.4. Alcance

El trabajo experimental plantea conocer el comportamiento de las dos fibras poliméricas más utilizadas como materia prima en la Impresión 3D, como son el acrilonitrilo butadieno estireno ABS, y el filamento polímero de ácido poliláctico PLA cuando son sometidas a fuerzas de impacto, permitiendo caracterizar la propiedad mecánica de la tenacidad, variando su tipo de

mallado en seis distintas configuraciones, variando el porcentaje de relleno con el 30, 60, 80 por ciento y variando el espesor de la pared en 0.8 1.2 y 1.6 mm; para caracterizar su propiedad al impacto y con esto, dar un uso oportuno en distintas aplicaciones, todo esto con la ayuda de la norma ASTM D-6110, para ensayos de impacto a polímeros rígidos con muesca.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo general.

Realizar el estudio del comportamiento a la resistencia al impacto de los filamentos poliméricos acrilonitrilo butadieno estireno ABS y de ácido poli láctico PLA.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Determinar la resistencia al impacto del filamento ABS y PLA variando el patrón de mallado (seis distintas configuraciones de malla) utilizando la impresora 3D Ender 3 Pro, con el software Ultimaker Cura.
- Obtener la resistencia al impacto del filamento ABS y PLA haciendo una variación al parámetro del espesor de pared de la probeta con valores de 0.8; 1.2 y 1.6 mm, utilizando la impresora 3D Ender 3 Pro, con el software Ultimaker Cura.
- Determinar la resistencia al impacto del filamento ABS y PLA modificando el porcentaje de relleno con un 30, 60 y 80 por ciento, utilizando la impresora 3D Ender 3 Pro, con el software Ultimaker Cura.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Materiales poliméricos

Los polímeros o plásticos son moléculas grandes denominadas macromoléculas, que se forman a partir de la unión de cientos de miles de pequeñas cadenas de moléculas denominadas monómeros, su nombre viene de las palabras griegas Poli que significa muchas y Mers que significa partes, haciendo alusión de que su composición está formada por muchas pequeñas partes, El nombre específico con el que se caracteriza a cada polímero generalmente proviene de su monómero principal base. El proceso por el cual se obtienen estas macromoléculas se denomina polimerización, en donde se unirán los monómeros en forma de enlaces para formar un polímero determinado. Los polímeros presentan una serie de propiedades las cuales los hacen de muy elevado interés en la industria, como son su baja densidad, alta resistencia a la corrosión y disolvente químico, excelente relación resistencia/peso, baja conductividad eléctrica y térmica y facilidad en los métodos de fabricación. (Hernández, 2015, pp.5-6)

El término polímero se acuñó en los principios del siglo XIX, este nombre se le dio a cualquier compuesto con un peso molecular que fuera un múltiplo del peso molecular de otro compuesto con la misma composición elemental, sin tener en cuenta su estructura química. El invento del primer plástico creado por el hombre ocurrió a mediados de 1860, cuando un fabricante de bolas de billar ofreció una recompensa de 10 000 dólares por quien consiguiera sustituir con otro material el marfil utilizado en estas, es así que por algunos intentos fallidos se descubrieron polímeros como la Perkesina (primer plástico creado en 1862 por Jhon Hyatt, que era un producto derivado de la celulosa), las fibras de nitrocelulosa (fibras textiles), etc., hasta que en el año de 1868, Jhon Wesley reclamo este premio con su invención del celuloide.

2.1.1. *La clasificación de los polímeros*

Existen cuatro formas principales de clasificar a los polímeros, y cada uno de estos tiene sus subdivisiones, estas son:

Según su origen:

- Naturales
- Semisintéticos
- Sintéticos

Según su mecanismo de polimerización:

- Polímeros de condensación
- Polímeros de adición

Según su composición química:

- Orgánicos
- Orgánicos vinílicos
- Orgánicos no vinílicos
- Inorgánicos

Según su comportamiento térmico:

- Termoplásticos
- Termoestables
- Elastómeros

Siendo esta última la que se enfocará, respecto a esta investigación. Puesto que los polímeros utilizados en la misma tendrán que fundirse.

2.1.1.1. Termoplástico

Los polímeros Termoplásticos como su nombre lo indica, son elementos que al ser sometidos a calentamiento pueden ser moldeables y reciclables, esto debido a que sus macromoléculas al ser calentadas adquieren suficiente energía para que sus cadenas puedan desplazarse libremente respecto a otras, pudiendo ser así conformadas y calentadas varias veces sin sufrir mayores alteraciones en sus propiedades. Estos polímeros se obtienen por la unión de largas cadenas de monómeros individuales que le darán una estructura lineal, o también por ramificaciones más o menos largas.

En función de la intensidad de las fuerzas intermoleculares que existen entre sus cadenas, se podrán dar dos tipos diferentes de estructuras, que son amorfas y cristalinas, siendo también muy frecuente que se encuentren estas dos en el mismo polímero, dependiendo del tipo de estructura que tengan serán sus propiedades, las de estructura amorfa tiene sus cadenas poliméricas de forma liada y enredada, permitiéndole a estas tener buenas propiedades de elasticidad, en cambio las de estructura cristalina tiene sus cadenas monoméricas de forma ordenada y compacta, asemejando principalmente estructuras de forma lamelar y micelar, estas estructuras cristalinas le brindaran propiedades mecánicas de resistencia a esfuerzos, cargas, y temperatura.

Dependiendo de la singularidad, cantidad y combinaciones de estas dos estructuras en un mismo polímero, serán sus propiedades, siendo así que si un material termoplástico tiene mayores polímeros de estructura amorfa ganará mayor elasticidad, pero perderá resistencia a cargas y temperatura, y si tiene mayores macromoléculas cristalinas será viceversa. (Hermida, 2011, pp.18-22)

Es poco común que un polímero termoplástico tenga un solo tipo de estructura, es así que estos presentan temperaturas de transición vítrea (T_g) en zona amorfa y temperatura de fusión (T_m) en la parte cristalina, lo que les permite fundirse y solidificarse varias veces, lo que les hace muy útiles como materia prima en las impresoras 3D que utilizan la técnica de modelado por deposición fundida (FDM).

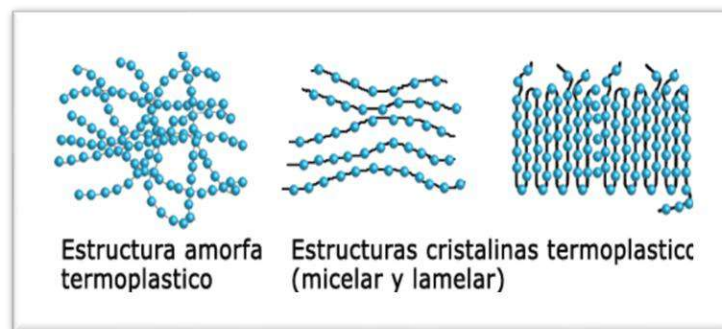


Figura 1-2: Configuración Polímeros Termoplásticos

Fuente: Losadhesivos, 2017, p.1

Por lo general no existen polímeros 100% cristalinos, así que se registra una Temperatura de transición vítrea de la parte amorfa y la temperatura de fusión en la parte cristalina, esta característica permite que los termoplásticos puedan solidificar y fundirse varias veces, por esta razón son empleados en las impresoras 3D por deposición de material fundido. (Molina, 2016, p.14)

2.1.1.2. Termoestables

Los Polímeros termoestables hacen referencia al conjunto de polímeros cuyas cadenas de monómeros se hallan unidas entre sí por enlaces primarios, adquiriéndoles una estructura altamente reticulada, esta estructura es la que les permite tener altas resistencias mecánica y físicas comparadas con los materiales termoplásticos y elastómeros, aunque al ser tan rígido por su estructura altamente reticulada carece de elasticidad, y se vuelve un material por lo general quebradizo.

Este material al contrario de los termoplásticos tiene la característica de no fluir al calentarlo, en vez de eso, se acelera el proceso de polimerización, que ocasionara reacciones químicas que crean enlaces covalentes uniendo sus cadenas de monómeros y ocasionando una estructura en armazón, permitiendo el endurecimiento del plástico de ahí su nombre de termo endurecibles, al aumentar críticamente su temperatura este pasa directamente a un estado gaseoso en donde se descompone en componentes químicos primarios, lo que lo hace un material no moldeable y no útil en la impresión 3D por el método de modelado por deposición fundida (FDM).



Figura 2-2: Configuración Polímeros Termoestables

Fuente: Losadhesivos, 2017, p.2

2.1.1.3. Elastómeros

Son Polímeros formados por cadenas de monómeros largas, que contienen dobles enlaces en su cadena principal, adquiriendo una estructura final ligeramente reticulada, Este material tiene la característica de soportar extraordinarias deformaciones elásticas, pudiendo incluso llegar a recuperar su forma original antes de su deformación, sin que se rompan sus enlaces o modifiquen su estructura, lo que le atribuye grandes características de elongación , elasticidad y flexibilidad antes de llegar a la rotura.

En resumen, los elastómeros poseen cuatro características principales: (i) sus cadenas moleculares poseen una configuración de ovillo estadístico que proporciona una estructura amorfa al elastómero, donde por lo general interesa obtener altos pesos moleculares; (ii) los enlaces en la molécula del elastómero están relativamente libres para poder rotar o extenderse en respuesta a una fuerza aplicada; (iii) su temperatura de transición vítrea es inferior a la temperatura ambiente, de manera que tenga un comportamiento visco elástico; y (iv) un grado de entrecruzamiento bajo, obtenido a través del proceso de vulcanización. En este proceso, el caucho crudo, que es un material plástico débil formado únicamente por macromoléculas largas y entrelazadas, se transforma en un material elástico y resistente a través de creación de enlaces entre las cadenas poliméricas, conocidas como entrecruzamientos. (Gonzales, 2017, p.5)

Estos polímeros no pueden ser derretidos, antes de ello pasan a estar en un estado gaseoso, por lo cual estos tampoco son muy útiles en la impresión 3D por el método de modelado por deposición fundida (FDM).



Figura 3-2: Configuración Elastómeros

Fuente: Losadhesivos, 2017, p. 3

2.2. Materiales usados en la impresión 3D

En las impresoras 3D de tecnología MDF (deposición de material fundido), utilizan rollos de filamentos poliméricos de tipo termoplásticos, dichos rollos tienen una medida estándar entre 1,75mm a 3mm de diámetro y diversos colores, entre los polímeros más utilizados son: ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y PLA (ácido poli-láctico). Siendo que el 95% de impresoras 3D los utilizan como materia prima. (Molina, 2016, p.15)

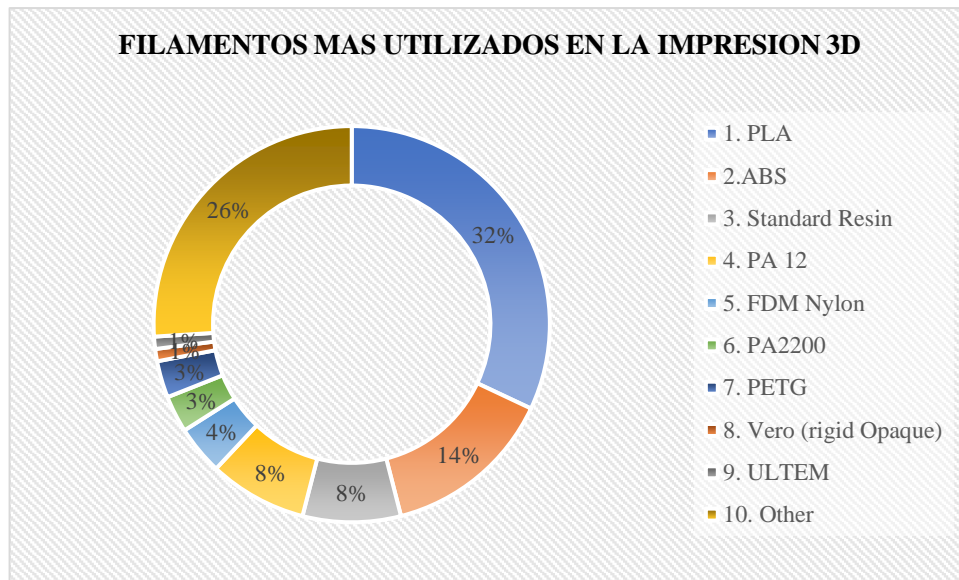


Gráfico 1-2: Materiales más usados en la impresión 3D

Fuente: Arias, M., López, D. 2021

2.2.1. *Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)*

Este polímero es utilizado en la impresión 3D debido a sus importantes aplicaciones ingenieriles por su buen grado de resistencia mecánica, facilidad de manufactura, resistencia al impacto, resistencia térmica y a ataques químicos, entre otras. Esto se origina gracias a que sus componentes presentan un amplio campo de propiedades, es decir el acrilonitrilo contribuye la rigidez, resistencia química y estabilidad térmica. El butadieno proporciona dureza y resistencia al impacto; mientras que el estireno brinda rigidez, brillo, y procesabilidad al polímero ABS; sin embargo, al ser fundido tiende a ser tóxico por lo que su utilización se ha visto reducida. (Pacheco, 2019, p.13)

2.2.1.1. *Estructura y propiedades del ABS*

La estructura del ABS está formada por tres monómeros reiterativos distintos, el cual cuando presenta la unión del estireno con el acrilonitrilo se denominado como un co-polímero, y el butadieno resulta ser un compuesto elástico. La mezcla de estos tres monómeros se lo conoce como terpolímero acrilonitrilo butadieno. (Relaño, 2013, p. 21)

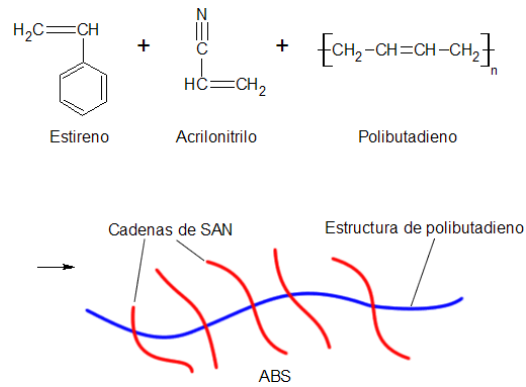


Figura 4-2: Estructura química del ABS

Fuente: (Relaño, 2013, p. 21)

El ABS por ser un termoplástico y amorfo, es un material de elección ideal para diversas aplicaciones netamente estructurales, debido a que presenta propiedades estables y equilibradas.

Dado que el ABS es de naturaleza dura y rígida lo que lo hace resistente al impacto, también posee propiedades aislantes, alto brillo y excelente acabado superficial lo que permite que el ABS pueda ser extruido, moldeado por inyección, prensado y fundido, resistente a ácidos; la mayoría de los polímeros ABS son livianos, no son tóxicos y son incoloros. (Pacheco, 2019, p.13).

Analizando su resistencia al impacto, esta tiende a incrementar cuando crece el porcentaje de butadieno, por lo que es aplicado para fabricación de componentes de vehículos, armaduras de electrodomésticos, aplicaciones electrónicas, piezas de juguetes, aplicaciones médicas, tubería y accesorios, etc. (Relaño, 2013, p. 21)

2.2.1.2. Impresión de ABS

Para la impresión del ABS hay que tomar en cuenta parámetros de impresión y también de la impresora a utilizar, uno de estos parámetros es la temperatura del extrusor, al fundirlo debe estar entre un rango de 220° - 250°C, pero cabe recalcar que esta temperatura dependerá del color del filamento, estas temperaturas por colores se detallan en la Tabla 1-2.

Otro parámetro para tomar es la temperatura de la placa base de la impresora 3D, para lo cual debe precalentarse entre un rango de 95 a 110 °C. (Molina, 2016, p.19)

Tabla 1-2: Temperaturas características por colores del ABS

Color del ABS	Temperatura placa base (°C)	Temperatura extrusor (°C)
Normal	111	215
Azul	110	220 – 240
Dorado	108	215 – 230
Rojo	112	220 – 230

Fuente: (Molina, 2016, p.21)

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021



Figura 5-2: Filamento polimérico ABS

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Pese a que las temperaturas de fusión y temperaturas de transición vítrea varían dependiendo del color del ABS, pero estos siguen siendo termoplásticos de una misma composición, por lo que sus propiedades mecánicas no se ven mayormente alteradas.

2.2.2. *Ácido poliláctico (PLA)*

El PLA conocido como ácido poliláctico, es un termoplástico biodegradable originado por el ácido láctico; este ácido se produce por medio de materiales renovables como la fécula de maíz, remolacha, trigo, la caña de azúcar, etc., Estudios realizados en el PLA han dado como resultado que posee propiedades más versátiles e incluso se presenta como candidato número uno para

sustituir polímeros procedentes del petróleo, y que sea utilizado en diversas aplicaciones industriales como médicas. (Farah et al., 2016, pp.3-7)

2.2.2.1. Estructura y propiedades del PLA

La estructura del PLA, se genera a partir de la molécula precursora denominada ácido láctico que es un ácido orgánico, a este ácido se lo polimeriza por dos distintas técnicas, la primera polimerización por condensación directa y la segunda por polimerización con apertura del anillo; realizado estos dos procesos se lo obtiene, resultando ser un polímero de la familia de los poliésteres, cuya estructura vital consta de un conjunto carboxilo y un metilo combinado al metino en la cadena del polímero (Relaño, 2013, p. 24)

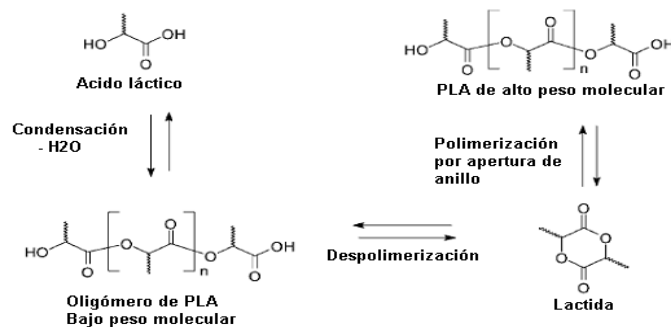


Figura 6-2: Configuración Elastómeros

Fuente: (Farah et al., 2016. p.7)

Las propiedades del PLA combinado con su particular característica de ser biodegradable lo convierten en un material para distintas aplicaciones; una de ellas en el sector industrial por poseer buena resistencia al impacto, se lo ocupa en campo de envasado y embalaje industrial.

Otra de sus propiedades, es un material biocompatible esto lo hace ideal para utilizarlo en el campo médico ya que se lo utilizaría en algún implante o prótesis.

Comparándolo con otros polímeros, el PLA alcanza a ser tan duro como el acrílico o tan suave como el polietileno, rígido como el poliestireno o flexible como un elastómero. Puede además ser modificado para dar una diversidad de resistencias al impacto, a la tracción o la flexión; también se le atribuyen propiedades como resistencia al rayado y al desgaste. (Farah et al., 2016: pp.3-7)

2.2.2.2. Impresión del PLA

Para la impresión se considera su temperatura de extrusión, que está entre los rangos de 180° - 210°C, al igual que otros filamentos poliméricos, esta temperatura dependerá del color del filamento y dichos datos de temperaturas se describen en la tabla 2-2. Para la temperatura de precalentamiento de la placa base de la impresora 3D, debe estar entre el rango de 60 a 80 °C. (Molina, 2016, p.22)

Tabla 2-2: Temperaturas características por colores del polímero PLA

Tono del PLA	Temperatura placa base (°C)	Temperatura extrusor (°C)
Normal	71	180 - 200
Negro	71	185 - 210
Amarillo	69	215 - 230
Rojo	58	190 - 220

Fuente: (Molina, 2016, p.23)

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021



Figura 7-2: Filamento polimérico ABS

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

2.3. Comparación de las propiedades de los polímeros ABS y PLA

En la Tabla 3-2 se menciona la comparación de propiedades entre el ABS y PLA:

Tabla 3-2: Comparación de propiedades entre el ABS y PLA

<i>Polímeros</i> <i>Propiedades</i>	PLA	ABS
Origen	Vegetal	Derivado del petróleo
Resistencia a la tracción	37 MPA	27 Mpa
Alargamiento	6%	3.5%
Módulo de Flexión	4 GPa	2.1 a 7.6. GPa
Densidad	1.3 g/cm ³	1 a 1.4 g/cm ³
Temperatura de Transición Vitria	60 °C	105°C
Temperatura de fusión	175°C	----
Toxicidad	No	Si

Fuente: (Pacheco, 2019, p.13)

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

2.3.1. Ventajas del polímero ABS frente al PLA

Es reciclable

Mayor facilidad al momento de dar un post procesado

Mayor resistencia a la flexión y ductilidad

Mayor elongación antes de llegar a la rotura

Su mecanizado es más sencillo de realizarlo

Mayor durabilidad

Soporta aplicaciones donde se requieran mayores temperaturas

Excelente suavizado de curvas por medio de acetona (post procesado)

Al momento de fundirse en la impresión este no se atasca en la boquilla.

2.3.2. Ventajas del polímero PLA frente al ABS

Es un polímero amigable con el medio ambiente (biodegradable).

Con este se obtiene mejores acabados.

El costo en general es más accesible.

Se lo puede aplicar en la industria alimenticia (material no tóxico)

Es un material biocompatible.

Su impresión y conformado es mucho más sencilla.

No necesita mayor post procesamiento, después de su impresión.

Mayor variedad de colores y tipo de filamentos.

2.4. Impresiones 3D

La impresión 3D, o tecnología de manufactura aditiva, es el desarrollo de una máquina que partiendo de un modelado digital CAD 3D, permite manipular de manera automática distintos materiales y agregados en una serie de capas sucesivas de forma muy precisa, para construir un objeto en tres dimensiones.

Heriberto Mejía ofrece una adecuada definición de este fenómeno tecnológico, refiriéndose a él como “una máquina capaz de realizar impresiones o réplicas en tres dimensiones a partir de un modelo informático proveniente del diseño abstracto o creado desde la realidad. (Mejía, 2016, pp. 30-34)

La impresora 3D, o tecnología de manufactura aditiva, es el desarrollo de una máquina que partiendo de un modelado digital CAD 3D, permite manipular de manera automática distintos materiales y agregados en una serie de capas sucesivas de forma muy precisa, para construir un objeto en tres dimensiones. Hoy en día las impresiones 3D se ven como una herramienta esencial en todo instituto educativo, no sólo por su facilidad de representar físicamente la idea, funcionamiento, o explicación de un objeto o sistema, sino también por la facilidad de crear nuevos objetos tecnológicos, haciendo más fácil el desarrollo y aportación de conocimiento y ciencia de los institutos educativos hacia la sociedad y por ende a la solución de problemas contemporáneos.

En la actualidad se cuenta principalmente con dos tipos de impresión en 3D, los cuales son de compactación (polvo compactado por estratos) y de adición o inyección (capas sucesivas de polímeros).

2.5. Tipos de impresoras 3D

2.5.1. Impresoras 3D por Estereolitografía (SLA)

La modelado 3D nace con este método de impresión, en el año de 1984 Charles Hull inventa la estereolitografía (SLA) y dos años después patenta su invento y crea la empresa 3D Systems Inc. Esta tecnología se basa en el uso de una fuente de luz (un rayo láser o proyector UV) con la cual se realizará la fotopolimerización en resinas fotosensibles (proceso por el cual propiedades de un polímero se ven alteradas al ser sometidas a cierto espectro de luz), este proceso solidifica mediante el paso de una láser capa por capa en donde los monómeros y oligómeros de la resina líquida se polimerizarán en geometrías sólidas. (Sánchez, 2017)

Este método de impresión es el que brinda mayor calidad de impresión, su resolución está determinada por el punto óptico del láser o proyector, alcanzando así grosores de capa de 0.05 a 0.01mm lo que le da un acabado, precisión y nitidez de impresión superiores a los demás tipos y todo esto con una buena velocidad de impresión, haciendo que esta tecnología de estereolitografía sea la más utilizada para la creación de prototipos, en todas las áreas industriales, su principal desventaja es que el costo de su materia prima es relativamente alta, (varía entre 80 a 120 dólares el litro), además que los químicos en este son tóxicos y no se pueden unir piezas una encima de otra durante la fabricación, lo que a echo que para usos y usuarios más moderados, opten por otro tipo de impresión.

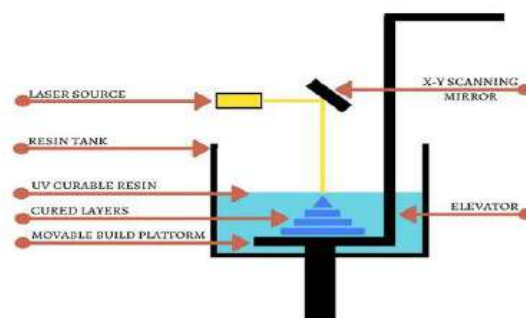


Figura 8-2: Esquema funcionamiento Impresora 3D por Estereolitografía (SLA)

Fuente: Casulleras, 2018, p. 18

2.5.2. Impresoras 3D por inyección.

Esta tecnología de impresión es recomendable utilizar, cuando se quieren fabricar moldes y producción de corta tirada (de 10 hasta 100 unidades) muy útiles para prototipos, ensayos preliminares e investigaciones, sin embargo, ya para producción masiva su popularidad ha quedado rezagada por los moldes de inyección tradicional, puesto que los moldes de inyección 3D tienden a deteriorarse con el número de sólidos realizados en él, este método consiste en un cabezal de impresión el cual va inyectando un fotopolímero líquido en una bandeja de impresión y al mismo tiempo va inyectando material de soporte para apoyar los voladizos (cera), la cual se romperá fácilmente con la finalidad de generar formas a geometrías complejas, una luz UV sigue de manera continua a este proceso capa por capa y permite que este material foto polimérico se vaya solidificando sucesivamente, Las impresoras 3D por inyección son generalmente grandes lo que le permiten imprimir una gran serie de objetos de gran volumen aumentando así su productividad, Este método tiene la característica de impresión multimaterial lo cual le hace una opción atractiva al momento de la impresión, además tiene muy buena precisión y acabados superficiales.

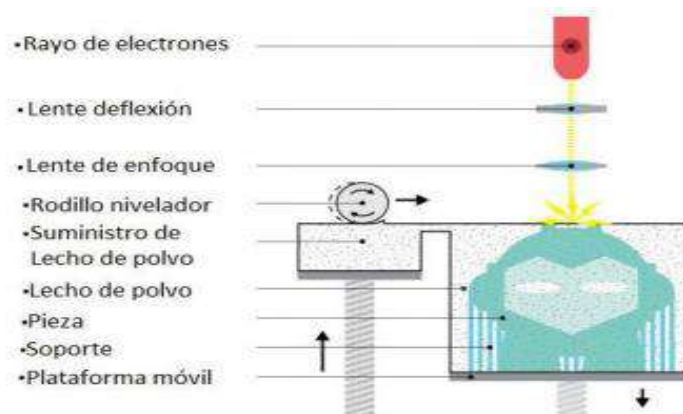


Figura 9-2: Esquema funcionamiento Impresora 3D por inyección

Fuente: Cortés, 2019, p. 29

2.5.3. Impresoras 3D de Sinterización Selectiva por Láser (SLS)

Este método de impresión 3D nace a partir del método de estereolitografía (SLA), por parte del Dr. Carl Deckard en el año de 1987, Este método de sinterización láser Selectiva o (SLS) es una tecnología de fabricación aditiva, que permite imprimir objetos sin la ayuda de aglutinantes intermedios, esto lo realiza mediante el uso de un láser que permite sinterizar selectivamente (fusionar) las partículas del polímero en polvo (generalmente Nylon 12 y Poliamida) sucesivamente capa por capa, hasta completar el objeto, que estará completamente encapsulado

en el polvo (Este contenedor del polvo tiene que enfriarse antes de poder recolectar el objeto y proceder al post procesado).

Debido al tiempo que requiere esta técnica de impresión (que puede estar en el rango de horas y a veces días dependiendo la calidad y volumen de impresión), este método se utiliza para la fabricación de prototipos y pequeños números de partes muy complicadas, sin embargo la tendencia vanguardista es la de utilizar esta tecnología como un método de fabricación rápida. tiene la ventaja que, al ser auto suficiente, permite que las partes se construyen dentro de otras partes (proceso denominado agrupamiento), con una geometría altamente compleja que simplemente no se puede construir de otra manera

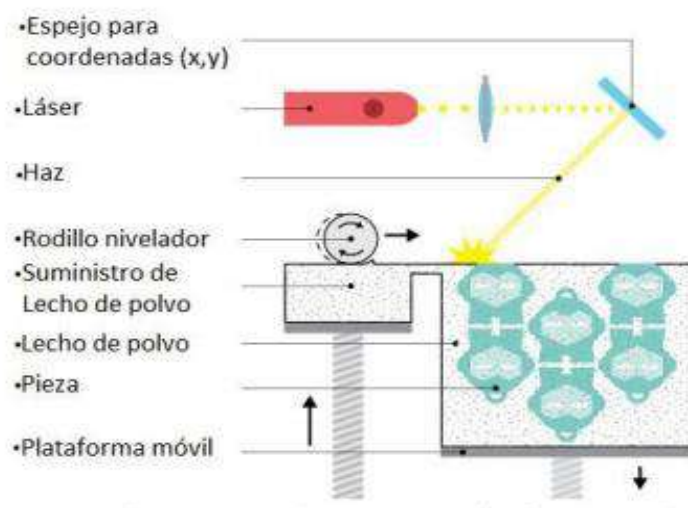


Figura 10-2: Esquema funcionamiento Impresora 3D por inyección

Fuente: Cortés, 2019, p. 34

2.5.4. *Impresión por deposición de material fundido (FDM)*

Es un método de fabricación aditiva en el que las capas de materiales se fusionan en un patrón para crear un objeto. El material generalmente se derrite justo después de su temperatura fusión y luego se extruye en un patrón al lado o encima de las extrusiones anteriores, creando un objeto capa por capa, “este se diferencia de los mecanizados tradicionales que se basan principalmente en la eliminación del material por procedimientos tales como torneado, fresado, perforación y corte, las materias primas más utilizadas en esta tecnología son los polímeros ABS y PLA siendo estas dos las que mayor oferta y accesibilidad existen en el mercado”. (Romero y Vaca, 2015, p.23-24)

Este método de impresión gracias a su bajo costo, fácil utilización, accesibilidad, buenos acabos y además que no requiere otros procesos de curado o demorados post procesados, es el más utilizado en el mundo.

Aunque su popularidad y uso es indiscutible, sus acabados finales pese a ser muy buenos no se comparan con los de otros métodos de impresión como es el de estereolitografía (SLA), sin embargo, es la que mayor importancia tiene en el mercado actual, prácticamente este método de impresión es la que ha permitido que la mayor parte de personas tengan acceso a este tipo de tecnología, permitiendo que estas máquinas sean de uso cotidiano tanto para usuarios principiantes de trabajos recreativos así como para investigadores y diseñadores. Este tipo de impresoras será la que se utilizará para nuestra investigación (Ender 3 pro).

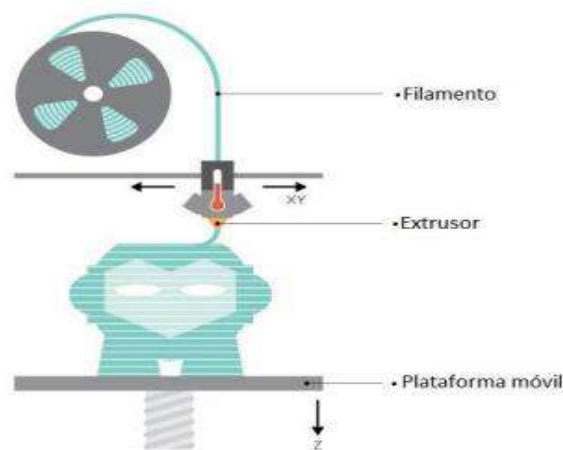


Figura 11-2: Esquema funcionamiento Impresora 3D por deposición de material fundido (MDF)

Fuente: Cortés, 2019, p. 22

2.6. Impresora Creality Ender 3 Pro

La marca CREALITY 3D TECHNOLOGY, fue fundada en el año 2014, en Shenzhen China, esta es una empresa especializada en la fabricación de impresoras 3D, específicamente con la tecnología FDM (Modelado por deposición fundida) y las impresoras de resina DLP (Procesamiento digital de luz), esta empresa también se dedica a la fabricación de filamentos y resinas, software para impresión 3D, drones y robots impresos en 3D. La reputación de esta empresa le precede por su línea de producción que incluye kits de bricolaje (trabajos manuales) electrónicos, destinados a uso recreativo-estudiantil, así como impresoras destinadas a uso industrial y tecnológico.

Esta marca gano su mayor reconocimiento cuando lanzó la impresora 3D Ender 3, en marzo del 2018 donde gano fama y reputación por sus excelentes prestaciones de impresión, fácil uso, montaje, mantenimiento y además bajo costo, lo que permitió que las impresoras 3D pasaran de ser un artículo de lujo a un instrumento accesible y recreativo, todo esto con un increíble acabado de impresión 3D, razón por la cual muchos diseñadores y makers 3D la nombraban como la mejor impresora del año relación calidad-precio. Como era de esperarse este modelo ya exitoso fue mejorado en una segunda versión (Ender 3 pro) para finales del mismo año, y finalmente sacarían a venta una tercera versión (Ender3 v2).

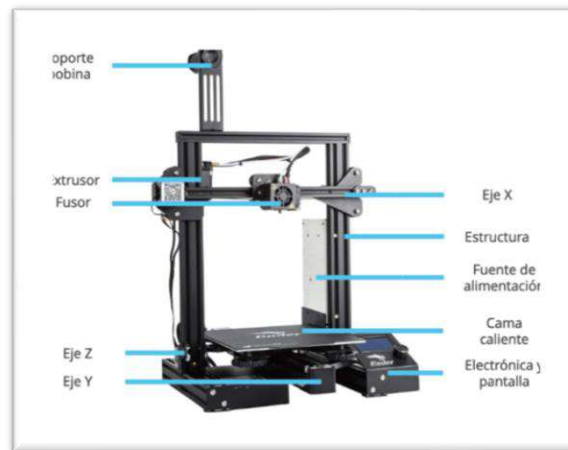


Figura 12-2: Partes impresora Ender 3 Pro

Fuente: BITFAB, 2019

La impresora Ender 3 y Ender 3 Pro fueron sacadas al mercado en 2018, siendo reconocidas como una de las mejores impresoras del año, están pertenecen al tipo de máquinas cartesianas que consisten en tres ejes ortogonales en los cuales se dará el movimiento programado del cabezal de impresión. El extrusor hará sus desplazamientos en los ejes X-Y, y un tornillo sin fin elevara o descenderá el extrusor por el eje Z, la principal ventaja de esta configuración suele ser su precio bastante reducido, además de su sencillo diseño, haciendo que estos se venden en kit para que puedan ser montadas a mano sin mayor dificultad. Estas máquinas utilizan el método de impresión FDM el cual consiste en calentar el filamento para fundirlo y después depositar el material en finas capas sobre una superficie, este proceso se repetirá capa por capa sucesivamente hasta obtener el sólido. En la tabla 5-2 se detalla las características técnicas de la impresora Ender 3 Pro.

Tabla 4-2: Características técnicas Impresora Ender 3

Área de trabajo (X, Y, Z)	220x220x250 mm
Nozzle o punta	0.4 mm
Máxima velocidad de impresión	180mm/s
Resolución de capa	0.1-0.4 mm
Temperatura de cama controlable	0 - 110°
Temperatura de extrusor	0 - 250°C
Filamentos	ABS-PLA-TPU-ETC
Dimensiones	440x410x465 mm
Tecnología de Impresión 3D	FDM
Consumo Energético	270W

Fuente: (CREALITY, 2018)

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

2.7. Parámetros utilizados en el proceso de impresión 3D

Existen varios parámetros para realizar el proceso de impresión 3D, de los cuales, el patrón de mallado, el porcentaje de relleno y espesor de pared serán los principales que influirán en las propiedades mecánicas de la pieza, como se detalla a continuación.

2.7.1. Patrón de mallado

El patrón de mallado en la impresión 3D, es un parámetro fundamental en la creación de piezas ya que por medio de éste lo utilizamos para llenar espacios vacíos en todas sus capas a excepción la inferior y superior, gracias a esto se determina la estructura interna, la resistencia y peso de la pieza impresa. (Pacheco, 2019, p.11)

Gracias a las últimas versiones de softwares utilizados para la impresión 3D, ha generado un mayor número de patrones de mallado donde se puede elegir algunas alternativas, entre las más usadas está el de tipo rectangular, panel de abeja, concéntrico, lineal, rejilla, ect. (Del Médico, 2017, p.19). En la figura 14-2 se puede observar algunos patrones de mallado utilizamos por la impresión de tipo FDM.

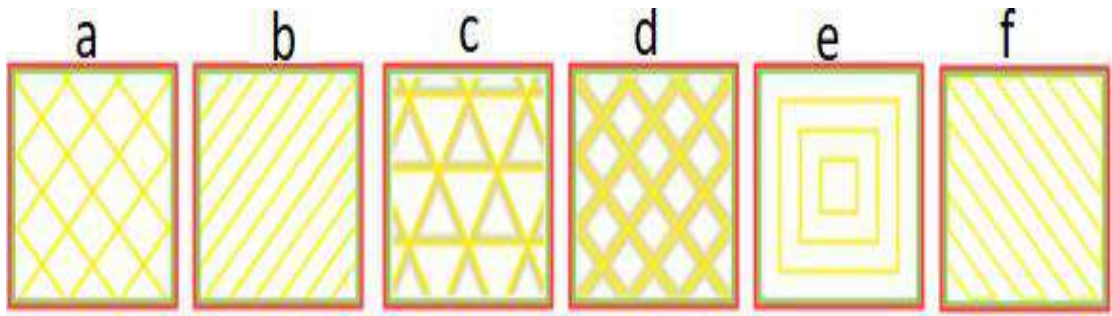


Figura 13-2: Patrones de relleno: a) rejilla, b) lineal, c) cúbico, d) trihexagonal, e) concéntrico, f) Zigzag

Fuente: (CHAKRAVORTY, 2020)

2.7.2. *Espesor de pared*

Es un parámetro que relaciona netamente al grosor de capa que coloca la boquilla extrusora, es decir comprende las capas de paredes, techo y piso de la pieza procesada. Su importancia dentro de la impresión 3D, es que por medio del espesor de pared podemos definir la resolución o acabado que tendrá objeto impreso; teniendo en cuenta que a mayor grosor de capa menos calidad tendrá la pieza (Pacheco, 2019, p.11), como se observa en la figura 15-2.

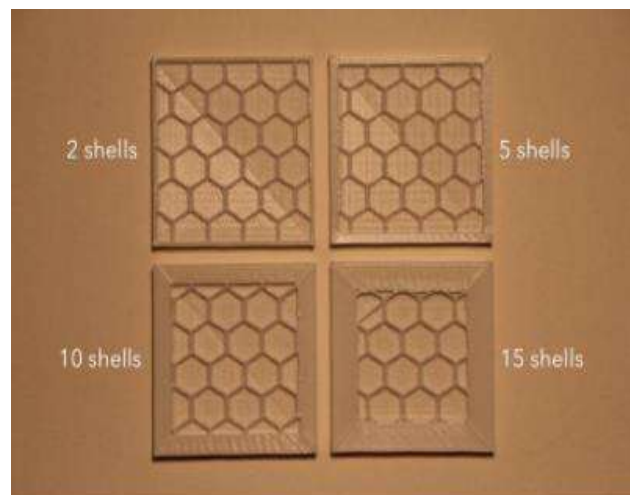


Figura 14-2: Altura de capa en el avacado superficial

Fuente: (CHAKRAVORTY, 2020)

2.7.3. *Porcentaje de relleno*

Se lo considera como un parámetro que dependiendo del uso que se le vaya a otorgar a la pieza a procesar, éste nos permitirá impregnarle la cantidad de material deseado en la estructura impresa, es decir que equivale a la cantidad de plástico vs el volumen total del 3D. (Del Médico, 2017, p.18)

A este patrón se lo expresa en porcentaje con un rango que va desde 0% hasta el 100%, determinando que una pieza que tenga 0% de relleno se la considera como modelo vacío, caso contrario si aplicamos el 100% de relleno se considera como un modelo sólido; lo que conlleva a concluir que a mayor porcentaje de relleno existirá mayor cantidad de material, teniendo en cuenta que los tiempos de impresión también aumentarás. (Pacheco, 2019, p.11).

Con la ayuda de softwares para laminación nos permiten manipular los diferentes valores de porcentaje de relleno que necesitemos, en la figura ... se demuestra diferentes porcentajes de relleno.

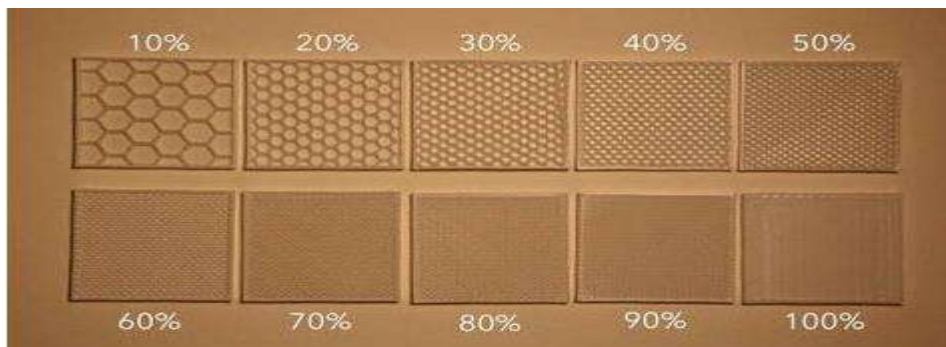


Figura 15-2: Configuración Elastómeros

Fuente: (CHAKRAVORTY, 2020)

En la tabla 6-2 se menciona los porcentajes de relleno recomendados para la aplicación que se desee.

Tabla 5-2: Porcentajes de relleno recomendados.

APLICACIÓN:	PORCENTAJE DE RELLENO:
Flotadores	0% a 5%
Maquetas	5% a 10%
Uso general	15% a 25%
Uso mecánico leve	25% a 40%
Uso mecánico exigente	40% a 80%
Resistencia al impacto	80% a 100%

Fuente: (CHAKRAVORTY, 2020)

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

2.8. Software de laminado Ultimaker Cura

El software Ultimaker Cura es utilizado para obtener el control de parámetros de impresión y poder generar la pieza deseada, de acuerdo con la necesidad y complejidad de ésta. Posee una interfaz gráfica sencilla de utilizar y gracias a esta controlamos los parámetros de: calidad, velocidad, altura de capa, relleno, mallado, etc.; generándonos como resultado un código G, que es una lista de comandos y actividades que va a leer y seguir la impresora 3D. (Macas y Pilco, 2016, pp.25-26)

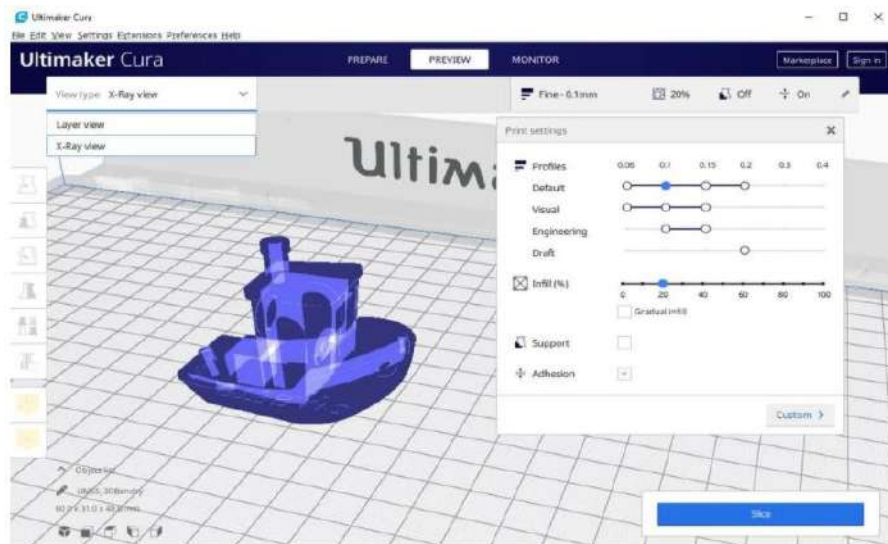


Figura 16-2: Interfaz Software Ultimaker Cura

Fuente: (ALL3DP, 2020)

2.9. Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas son la caracterización de los materiales en cuanto a su capacidad de resistir o transmitir fuerzas o deformaciones, estas por lo general se obtienen mediante ensayos aplicados a probetas o piezas y su importancia es la de seleccionar el material adecuado dependiendo las necesidades de resistencia, temperatura, peso, etc., que se tenga el lugar de aplicación. Estas propiedades generalmente se miden en términos del comportamiento del material cuando se sujetan a esfuerzos mecánicos. (Bermejo, 2019, pp.5-6)

Las propiedades mecánicas pueden determinarse para proporcionar datos de diseño para el ingeniero o para verificar el estándar de las materias primas, así mismo estas pueden verse modificadas por procesos de tratamientos térmico y temperaturas de trabajo.

Para el presente trabajo hará énfasis en la propiedad mecánica de la tenacidad y resiliencia existente en polímeros utilizados en la impresión 3D.

2.9.1. Tenacidad

Es una propiedad mecánica, que se define como la energía que absorbe un material, obteniendo como consecuencia a adquirir deformaciones antes de llegar a la rotura de este, es decir que es la propiedad de cada material que tiende a soportar ante su deformación o ruptura y esta dependerá mucho de cómo este constituido la estructura molecular del material. La tenacidad puede medirse en términos de la tensión necesaria para causar una deformación plástica apreciable o la tensión máxima que el material puede soportar antes de fracturarse. Estas medidas de resistencia se utilizan, con la precaución adecuada, en el diseño de ingeniería. También es de interés la ductilidad del material, que es una medida de cuánto puede deformarse antes de fracturarse. Rara vez se incorpora la ductilidad directamente en el diseño; más bien, es una propiedad clave en la fabricación de materiales, incluido el conformado y el corte, como se explica más adelante en este capítulo. En la prueba de tensión, una muestra de dimensión estándar se somete a una fuerza de tracción uniaxial que aumenta continuamente mientras se observan simultáneamente el alargamiento de la muestra. Los resultados de la prueba de tensión son diagramas de tensión-deformación en donde la energía de deformación total que puede absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto o también como la capacidad de absorber energía plástica antes de fracturarse. En el caso de impacto se mide mediante el péndulo de Charpy. (García et al., 2010, pp.1-5)

2.9.2. Resiliencia

La resiliencia es la capacidad que tienen los materiales para recuperar su forma original después de haber sido sometido a una carga aplicada máxima sin haber llegado a su deformación plástica, la fuerza máxima que este soporta antes de salirse de su forma original (deformación permanente), se la conoce como límite elástico, es decir que la resiliencia será la energía absorbida por el material antes de llegar al límite elástico. Se dice que un material tiene una alta resiliencia si este permite una importante deformación antes de romperse, en cambio esta propiedad será muy baja en el material si este es frágil en donde apenas se verá una pequeña deformación. (Cortez, 2015, pp. 118-120)

La medición de esta propiedad mecánica se medirá en Julios por Unidad de volumen y se lo realiza mediante el ensayo Charpy o IZOD, cuantificándose la fragilidad o resistencia al impacto del material ensayado.

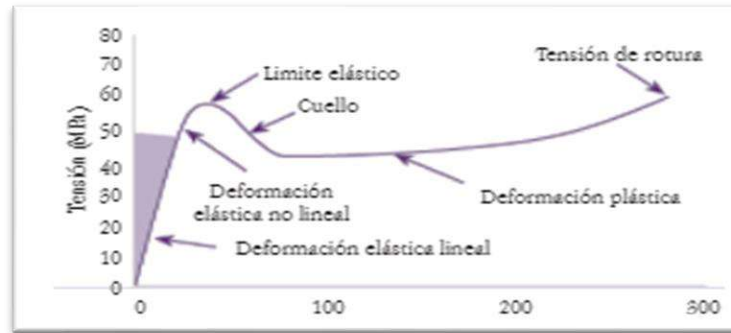


Figura 17-2: Diagrama tensión vs deformación, el área marcada es la resiliencia

Fuente: (Cortez, 2015, p.120)

2.10. Ensayo de impacto

La prueba de impacto es un método rápido y eficaz para determinar la resistencia que tienen los materiales al ser sometidos a una carga de manera abrupta e intensa, este ensayo tiene como finalidad describir la energía requerida para que un material se fracture y se rompa con la ayuda de un choque premeditado, los datos obtenidos por este ensayo servirán para determinar la medida de tenacidad y resiliencia de los materiales, se han desarrollado un sin número de procedimientos, los más utilizados son el ensayo Izod muy comúnmente aplicados en polímeros y el ensayo Charpy muy utilizado en aceros, aleaciones y también en plásticos, estas pruebas consisten en golpear a una probeta que pueden ser entalladas o no (según el método y normativa a utilizar), situada adecuadamente en un soporte (con posición y distancias normadas), mediante una masa comúnmente llamado martillo cuya medida estará comúnmente en Julios (J) o libras pies (lb-ft) la cual se elevara a una distancia pre determinada para luego ser liberada y posteriormente golpear a la probeta, esta masa continuara su desplazamiento de arco hasta llegar a una altura final, la cual nos ayudara a tener una diferencia de alturas y con ello calcular una energía potencial, esta diferencia es la energía de impacto absorbida por el material al ser ensayado. (Rodríguez, 2008, pp.24-27)

Para el presente trabajo se utilizará el ensayo Charpy para plásticos con la norma ASTM D6110 para ensayos en polímero, en la cual se expresarán los pasos a seguir, las dimensiones de la probeta, el entalle requerido, procedimientos, etc.

2.10.1. Ensayo de impacto en polímeros

Este ensayo entra en la clasificación de ensayos dinámicos de choque y se los realiza para conocer la capacidad que tienen los polímeros, copolímero y polímeros reforzados al ser sometidos a un impacto, por lo general esto se lo realiza con la ayuda de una maquina Izod o Charpy maquinas denominadas péndulos o martillos pendulares, en cualquiera de los dos casos, se utilizara una masa de impacto (martillo) que será pequeña a comparación de la utilizada en acero, a la que se dejara caer a una altura determinada dándose una rotura abrupta de la probeta por flexión, los ensayos de impacto no solo son de un solo golpe de rotura, también se los puede hacer con sometiendo las probetas a varios golpes de intensidad creciente como es el caso del ensayo de impacto con golpes repetidos y el ensayo con caída de bola. Para determinar la resiliencia del material ensayado, se lo hará en ensayos de impacto no destructivos.

2.10.1.1. Ensayo Charpy

El Péndulo Charpy, así como su ensayo, tienen su nombre gracias a su creador el Francés Agustín Georges Albert Charpy quien creo y patento este ensayo a principios del siglo XX. Este ensayo nos ayuda a determinar la tenacidad y resiliencia de los materiales, es decir permite conocer el comportamiento de los materiales al ser sometidos a un impacto abrupto.

El ensayo Charpy consiste en una máquina pendular en la cual existirá un martillo de una masa (M) y longitud (L) determinada, el cual será elevado a una altura inicial (h_0), se dejara caer para impactar abruptamente a una probeta correctamente situada en unos soportes (S), luego este martillo continuara su trayectoria pendular hasta una altura final (h_f), y por medio de la diferencia de estas alturas se podrá obtener una energía potencial, esta diferencia de alturas será la energía absorbida por la probeta (E_a),

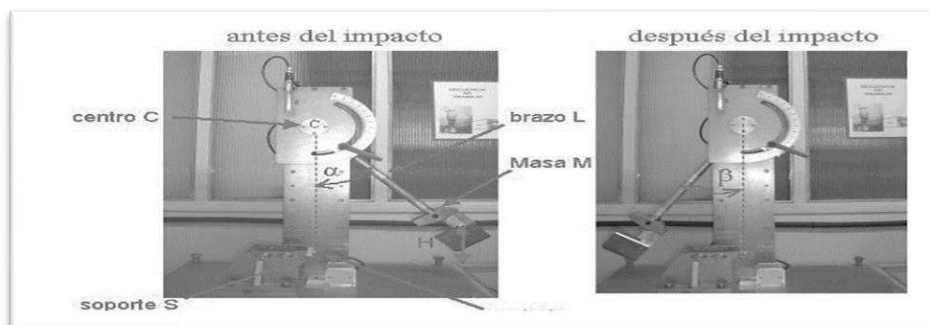


Figura 18-2: Péndulo de Charpy a) antes del impacto y b) después del impacto.

Fuente: (Ortega, 2005, p.51)

Una vez conocida los ángulos de los cuales partió la carga (α), y el Angulo final al cual llego el martillo después de impactar la probeta (β), se puede calcular la energía (E_a). Mediante la expresión:

$$E_a = MgL[\cos(\beta) - \cos(\alpha)]$$

En donde (g) representa la aceleración de la tierra (gravedad). Los materiales pueden presentar dos modos de fractura, dúctil y frágil, por lo general se dice que es dúctil si la energía de absorción es mayor que la requerida para que un material se fracture frágilmente, en cambio se dice que es frágil si existen altos niveles de deformación plástica. Existen diversos diseños de máquinas Charpy, estos dependerán de la longitud del brazo del martillo (L) y la masa de este (M) haciendo que existan modelos capaces de brindar una máxima energía de impacto como es el modelo *Tinius Olsen* (M de 27.2 Kg y L de 0.9m) ideal para ensayar aceros muy tenaces, y también modelos muy pequeños como el utilizado en esta investigación, que tiene un martillo de apenas 4J, ideal para ensayos en polímeros. Los ensayos en estos equipos estarán normados de acuerdo a estándares internacionales, dependiendo el tipo de ensayo, material, así como la forma de reportar los resultados, las probetas a utilizar dependerán la norma a utilizar, en donde se especificará sus dimensiones el tipo de entalle y configuración del entalle.

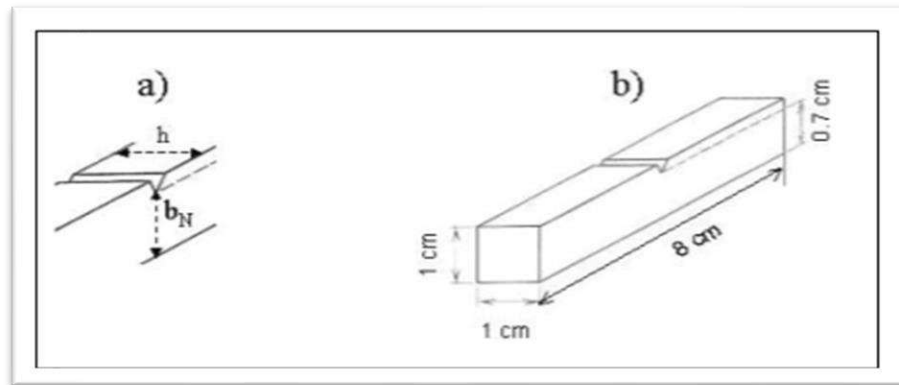


Figura 19-2: Probeta usada en el ensayo Charpy, dimensiones y entalle

Fuente: (Ortega, 2005, p. 52)

Los resultados de este ensayo dependerán de la norma utilizada, si es la ISO (International Organization for Standardization), esta se expresara en (KJ / m^2) tomando en cuenta la sección transversal de la zona entallada, y si es la ASTM (American Society for Testing Materials) estará expresada en (J/m) haciendo alusión a la anchura remanente de la base de la entalla.

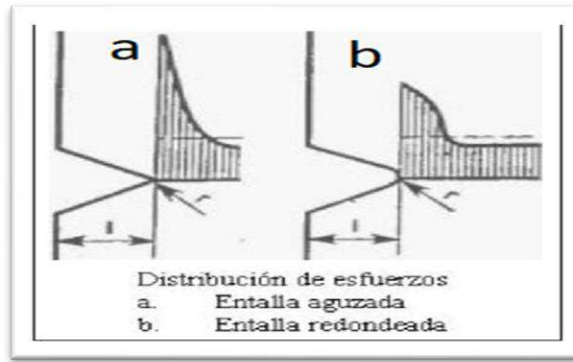


Figura 20-2: Distribución de esfuerzos según la entalla.

Fuente: (Ortega, 2005, p. 53)

El ensayo Charpy también permite conocer el comportamiento mecánico de los materiales cuando son sometidos a condiciones extremas, esto se lo realiza sometiendo el ensayo a condiciones en las cuales se favorece la fractura frágil, los factores que contribuyen a modificar el modo de fractura y que se pueden estudiar mediante el ensayo Charpy son:

“La velocidad de aplicación de la carga, la cual se controla variando el Angulo α . La presencia de concentradores de tensiones, lo cual se logra mecanizando una entalla en la probeta del material a estudiar. Así como el impacto en materiales expuestos a diferentes temperaturas” (Ortega, 2005, pp.51-57)

2.11. Métodos Estadísticos

2.11.1. Medidas de dispersión

Para tener una fiabilidad de los datos continuos obtenidos, se debe tener en cuenta el grado de propagación de estos, es por ello por lo que se utilizan las medidas de dispersión las cuales indicaran de forma numérica si una variable se mueve mucho o poco con respecto a la tendencia central. (Sánchez, 2007, p.19)

2.11.1.1. Desviación estándar

Existen una variedad de formas de cuantificar la dispersión de los datos, de todos estos la desviación estándar es una de las más utilizadas, su cálculo es igual de la raíz cuadrada de la varianza (otra medida de dispersión), en la cual será necesario calcular previamente su media (\bar{x})

que es una medida de tendencia central, que equivale al promedio de los datos. Su cálculo se lo realiza por medio de la fórmula:

$$s = \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (N * \bar{x}^2)}{N - 1}}$$

Donde:

s = Desviación estandar muestral

x_i = Datos obtenidos

\bar{x} = Mediana de los datos

N = Numero total de datos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{N}$$

Para cuantificar si un valor está o no está dentro de los márgenes permitidos conjuntamente con su grado de desviación, suelen utilizarse en forma aproximada la distribución normal, la cual es una función en forma de campana, en donde su media, mediana y moda coincidirán, esta estará acotada por medio de la desviación estándar en donde el número de desviaciones (s), indicara la desviación que tienen los datos respecto a la media, y con ello el porcentaje de datos que podrán estar dentro de la curva acotada.

Así por ejemplo para una propagación de más, menos dos desviaciones estándar, se tendrá en cuenta que estarán el 95,5% de los datos y para una dispersión de más menos tres desviaciones estándar estará el 99,7% de los datos.

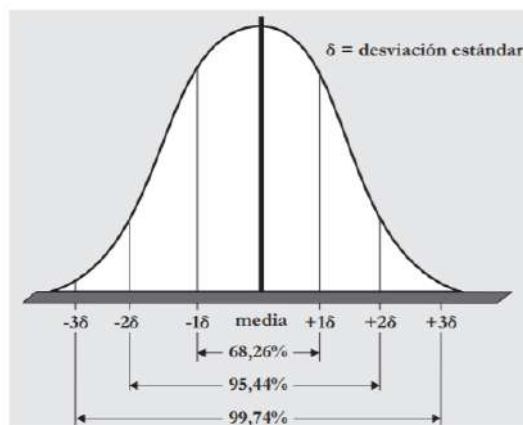


Gráfico 2-2: Distribución Normal.

Fuente: (Carro y Gonzáles, 2012, p.8)

2.11.1.2. Gráficos de control estadístico

Son representaciones gráficas provenientes de estudios numéricos, que se utilizan para determinar si las variaciones existentes en algún proceso, ensayo, o muestra, son anormales. Este tiene un valor nominal, o línea central que representa la idoneidad del proceso, además de dos líneas límite (generalmente superior e inferior), que servirán de acotamiento para controlar la dispersión, estas líneas serán trazadas según la distribución de muestreo de la medida de calidad. El valor más grande representa el acotamiento de control superior (UCL) y el valor más pequeño representa el acotamiento de control inferior (LCL).

Estas líneas serán trazadas según sea la necesidad del investigador en controlar, que tan amplio puede llegar a ser el grado dispersión, por lo cual existe un sin número de criterios y métodos a utilizar.

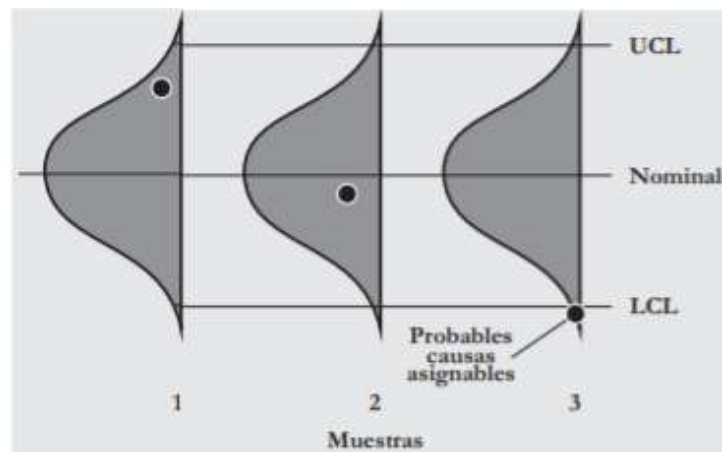


Figura 21-2: Gráficos de control para tres muestras, por medio la distribución normal.

Fuente: (Carro y Gonzáles, 2012, p. 9)

Generalmente se suele usar gráficas de control de la siguiente forma:

- Tomar una muestra aleatoria del proceso, medir la característica de calidad y calcular una medida variable o de atributos.
- Si la estadística se ubica fuera de los acotamientos de control de la gráfica, buscar una causa asignable.

- Eliminar la causa si ésta degrada la calidad, o incorporar la causa si con ella mejora la calidad. Reconstruir la gráfica de control con nuevos datos.
- Repetir periódicamente todo el procedimiento. (Carro y González, 2012, pp.8-9)

Un método muy comúnmente utilizado para trazar las líneas de acotación superior e inferior es el modelo de Stewart, el cual por medio de medidas de tendencia central (media) y medidas de dispersión (desviación estándar), permita calcular el valor numérico de los límites de la gráfica de control.

$$UCL = \bar{x} + 3\frac{s}{\sqrt{N}}$$

$$LCL = \bar{x} - 3\frac{s}{\sqrt{N}}$$

Donde:

UCL = Acotamiento de control superior.

LCL = Acotamiento de control inferior.

\bar{x} = Media de los datos.

s = Desviación Estándar de los datos.

N = Número total de datos.

2.11.1.3. Situaciones anormales en el comportamiento de la muestra.

Las gráficas de control pese a ser una excelente herramienta para controlar la homogeneidad de algún proceso, muestra, etc., no necesariamente es perfecto, generalmente suelen presentarse dos tipos de errores que son:

El error "tipo I" (rechazar un lote de buena calidad), se genera cuando el analista saca la conclusión errónea que un proceso está fuera de control, debido a que un resultado obtenido se encuentra a fuera de las líneas de acotamiento, cuando en realidad era un caso aleatorio.

Un error "tipo II" (aceptar un lote de mala calidad), se generan cuando el analista pasa por alto los resultados fuera de las líneas de control, pensando que son solo casos aleatorios, cuando en realidad el proceso si estaba con desviaciones, fuera de control estadístico.

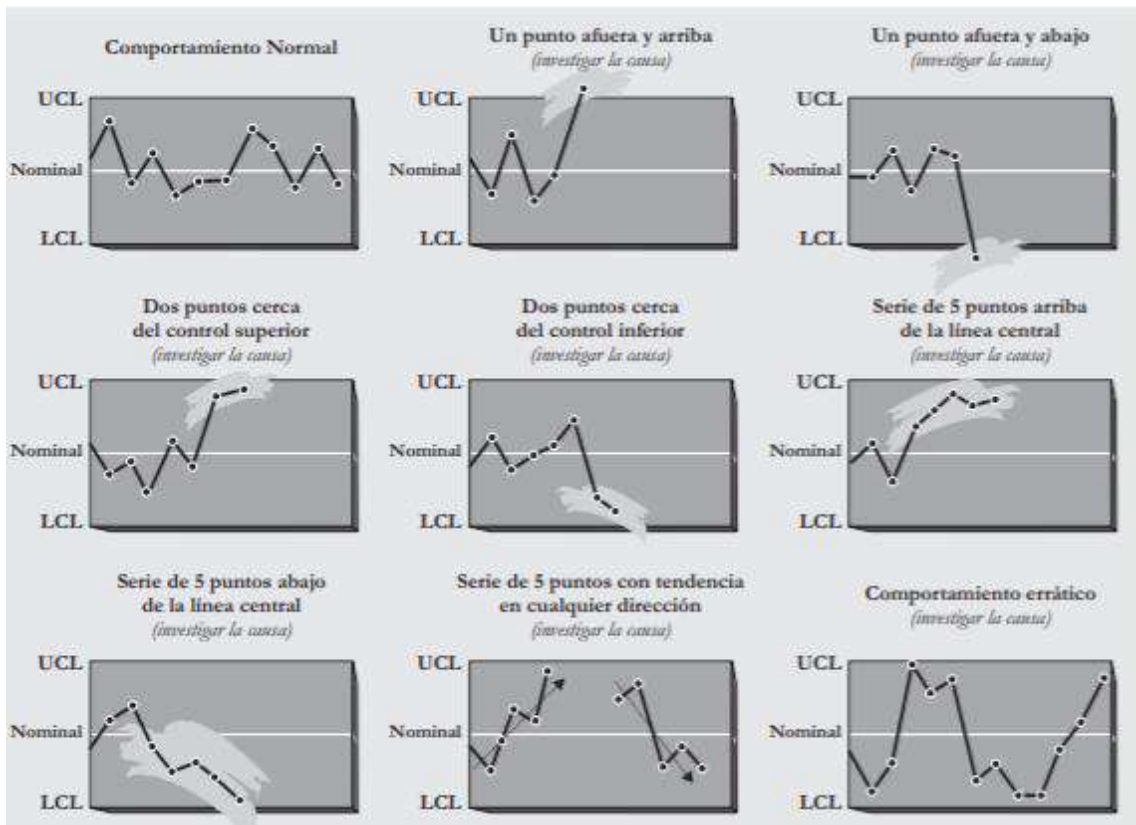


Figura 22-2: Situaciones anormales en el comportamiento de la muestra.

Fuente: (Carro y González, 2012, p. 9)

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Enfoque de la investigación

Para realizar el estudio de la resistencia al impacto del acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y ácido poliláctico (PLA) fabricado mediante impresión 3d, se empleará un enfoque cuantitativo puesto que este al ser un proceso de investigación experimental en la cual se explorará nuevos datos y se establecerán las relaciones de causa efecto entre las distintas variables utilizadas, se lo realizara mediante cálculos estadísticos, utilización de fórmulas determinadas y procedimientos matemáticos establecidos en normas. Las variables que se utilizarán son tres, densidad de relleno, espesor de pared, y patrón de mallado, cada una de estas con sus diferentes variaciones, por ejemplo, en el caso de densidad de relleno, serán tres tipos que son al 30, 60 y 80 por ciento, y espesor de pared al 0.8mm, 1.2 mm y 1.6 mm, que son los datos aritméticos que se irán permutando a lo largo del trabajo. El desarrollo y recolección de resultados se lo hará mediante la norma ASTM D-6110, la cual establece un mínimo de cinco probetas a utilizar para cada ensayo, se recolectará los datos de energía de rotura (resiliencia), y estos serán verificados mediante herramientas estadísticas como la desviación estándar, distribución normal, teorema de Stewart etc., por medio de una gráfica de control cartesiano se analizara la dispersión de resultados, y se compararan las distintas configuraciones, en cuanto a cual tiene mayor o menor resistencia al impacto (J/M), para finalmente dar con las respuestas y conclusiones pertinentes.

3.2. Diseño cuantitativo

Para el desarrollo del presente trabajo se utilizará un diseño cuantitativo cuasi experimental, puesto que se irán variando tres parámetros que modificarán la resistencia al impacto de los dos materiales (ABS y PLA), estas tres variables utilizadas son las más importantes y utilizados en la impresión 3D, sin embargo existen otros factores que pueden modificar las propiedades del material, como son el caso de las temperaturas, las velocidades de desplazamiento del extrusor, la calidad de impresión, color del material, calidad y marca del material, tipo de impresora, humedad y viento del lugar de impresión, etc., estas variables a analizar quedan recomendadas para futuras investigaciones.

3.3. Alcance de la investigación

El alcance de este estudio tiene un enfoque cuantitativo descriptivo, debido a que se profundizará y aportará conocimientos en cuanto a la caracterización de propiedades mecánicas existentes en los polímeros ABS Y PLA. Esto debido a que se ha caracterizado los polímeros ABS y PLA en muchas de sus propiedades mecánicas, pero en cuanto al estudio de la tenacidad y resiliencia de estos, ha sido muy escasa, lo que permitirá indagar en nuevas hipótesis y resultados, para finalmente describir las características de la resistencia al impacto, al modificar las variables utilizadas en la investigación.

“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refiere.” (Hernández et al., 2014, p.92)

3.4. Población y muestra

Para el presente trabajo experimental, se utilizará la norma ASTM D6110, la cual rige para ensayos de impacto en polímeros, se necesita un mínimo de 5 especímenes (probetas), para cada ensayo, especificando así la población y muestra necesitada para el estudio que se realizará.

3.5. Métodos de recolección de información

Para la correcta obtención de datos, se procederá a realizar una triangulación, de los mismo, utilizando herramientas como: ensayo de impacto de acuerdo con la normativa ASTM, check list, y herramientas estadísticas.

Para el ensayo de impacto se realizará la calibración de máquina Charpy, se seleccionará adecuadamente el martillo de impacto, se medirá que las distancias existentes entre las bases de apoyo sean las descritas por la norma, además que se medirá la correcta ubicación de la probeta

con respecto a su posición en la base de apoyo para cada ensayo, además se procederá al seteo del péndulo Charpy cada 3 ensayos.

Para el controlar el ensayo de las probetas, se usará una herramienta de check list, en cual se revisará parámetros, como son: geometría homogénea, peso, calidad de impresión, tipo de ruptura, configuración interna, ayudándonos de una inspección visual.

Para verificar que los datos obtenidos son correctos se utilizará métodos estadísticos, como son: la desviación estándar, la distribución normal, teorema de Stewart, etc., con la finalidad de que se controle la dispersión de datos y tener una fiabilidad de estos.

3.6. Fases de la investigación

Para realizar el estudio de la resistencia al impacto del acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y ácido poliláctico (PLA) fabricado mediante impresión 3d, se empleó un proceso de investigación cuasi experimental en la cual se exploró nuevos datos, se establecieron las relaciones de causa efecto entre las distintas variables utilizadas y relación entre ellas.

El desarrollo del trabajo consistió en modelar las probetas semirrígidas en el software AutoCAD, basándose en la Norma ASTM D6110, en donde se especificó las dimensiones y el tipo de muesca de la probeta, se procedió a exportar el archivo digital DWG a formato STL, el cual es compatible con el software de laminado Ultimaker Cura, en donde se realizó las diferentes configuraciones y control de parámetros de impresión 3D.

Las probetas fueron modeladas variando su densidad de relleno (30%, 60% y 80%), su tipo de mallado interno (seis distintas configuraciones, cubica, trihexagonal, lineal, zigzag, rejilla, concéntrico) y finalmente su espesor de pared (0.8mm, 1.2mm y 1.6mm), todas estas con una altura de capa de 0.2mm. El tamaño de muestra para el presente trabajo experimental se basó en la Norma ASTM D-6110, la cual recomienda un mínimo de 5 probetas por cada ensayo realizado.

Posteriormente se hizo una revisión completa de la impresora 3D, en la cual se revisó su posición y lugar de trabajo, el nivelado de la cama de impresión, funcionamiento de ventiladores, correctas temperaturas del fusor y cama de impresión, se exporto el código G a la impresora 3D y se obtuvieron los especímenes requeridos.

Se realizó el ensayo destructivo de impacto; se recolectaron y analizaron los datos adquiridos. Finalmente, se detalla los valores y resultados de como respondieron individualmente cada configuración ensayada; así como la determinación de la configuración, con mayor tenacidad.

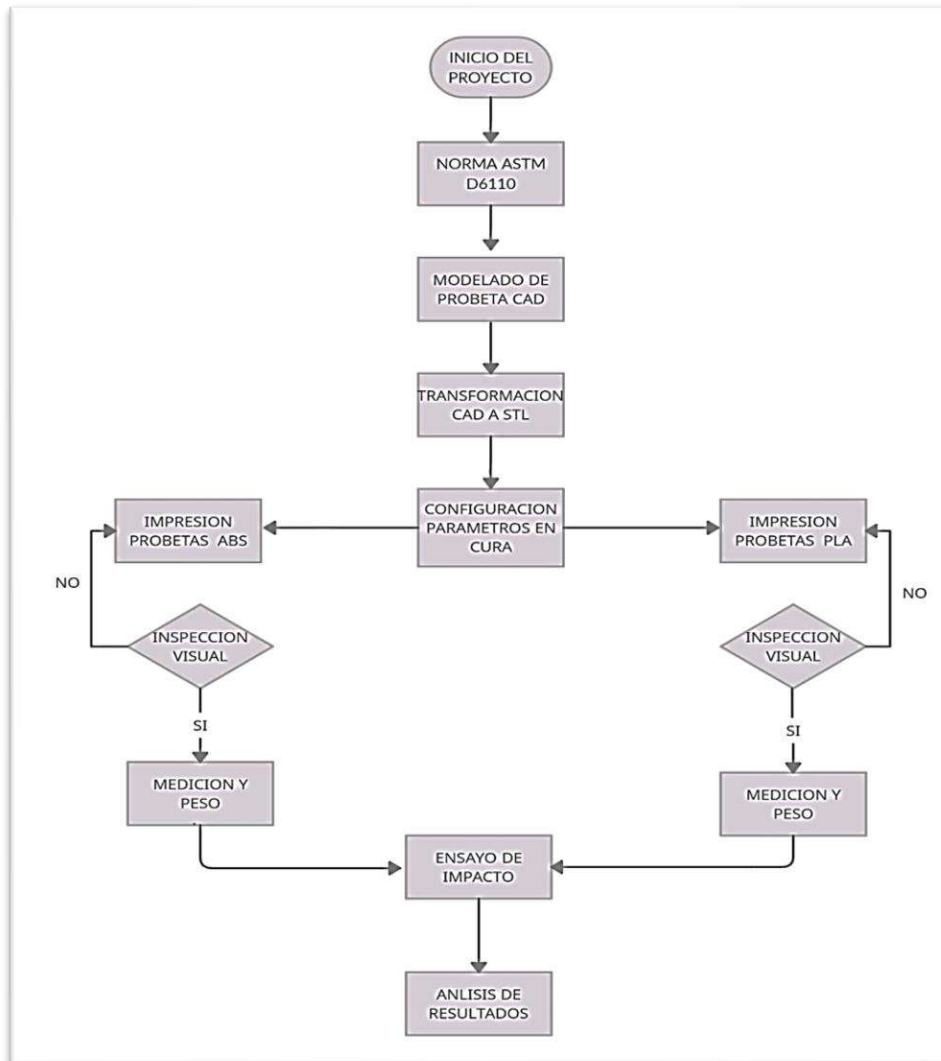


Figura 1-3: Diagrama de proceso para el estudio realizado

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

3.7. Diseño y modelado de probetas en software CAD

El diseño de las probetas a ensayar se realizó con la ayuda del software AUTOCAD, realizando el modelado tipo 3D, obteniendo una probeta sólida, que se usó como base para imprimir.

Además, se revisó la norma ASTM D6110 donde especifica el tipo y las medidas de la probeta con entalle para ensayos de impacto Charpy en polímeros; teniendo las siguientes medidas dadas por la norma: 127mm de longitud, 12,7mm de ancho y 8mm de espesor y un entalle con un radio de curvatura de 0,25mm con ángulo de 45°, como se muestra en la figura 24-3.

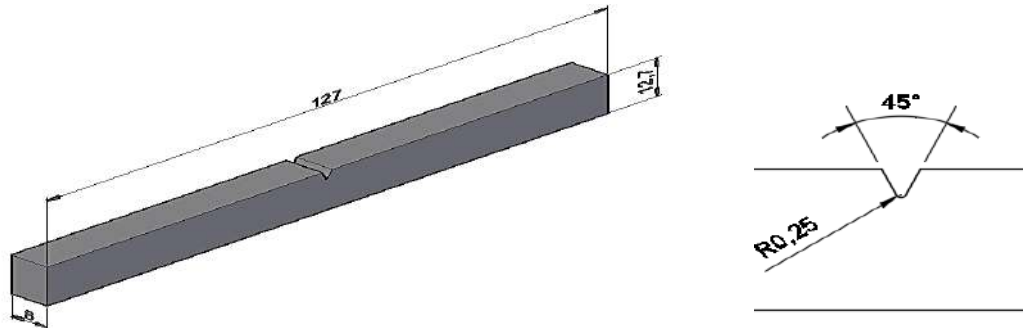


Figura 2-3: Probeta con entalle bajo la norma ASTM D6110

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Generado modelo de la probeta en 3D, el siguiente paso es exportarlo del archivo .DWG a STL, de la siguiente manera: nos dirigimos a la parte de Archivo, opción Exportar, enmarcar en Otros formatos, y se dirige a una pestaña que muestra la opción Archivos de tipo y se escoge la extensión Litografía (.stl); la figura 25-3 detalla los pasos para la exportación del formato en AutoCAD.

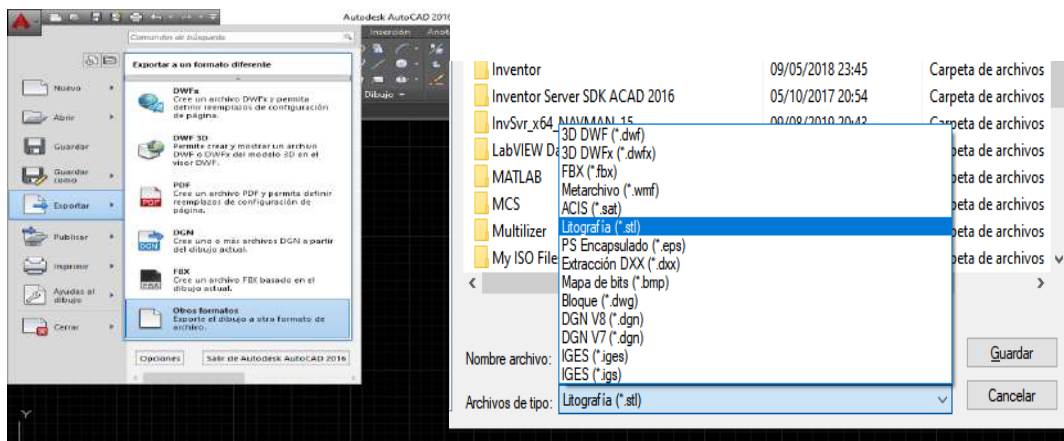


Figura 3-3: Exportación de archivo desde AutoCAD a formato. STL

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Obtenido el archivo .STL, se lo lleva al software de laminado Ultimaker Cura, el cual se realizará la configuración y control de los principales parámetros a manipular tales como: temperatura de la cama base y extrusor, velocidades de desplazamiento y alimentación del filamento. También la configuración de parámetros para el conformado de la pieza como: el tipo de mallado, el porcentaje de relleno, el espesor de pared, el acabado superficial, etc., dando como resultado final la obtención del código G, este código es un lenguaje de programación e indica los pasos que debe realizar la impresora 3D al momento de ejecutar la impresión de la pieza en cuestión.

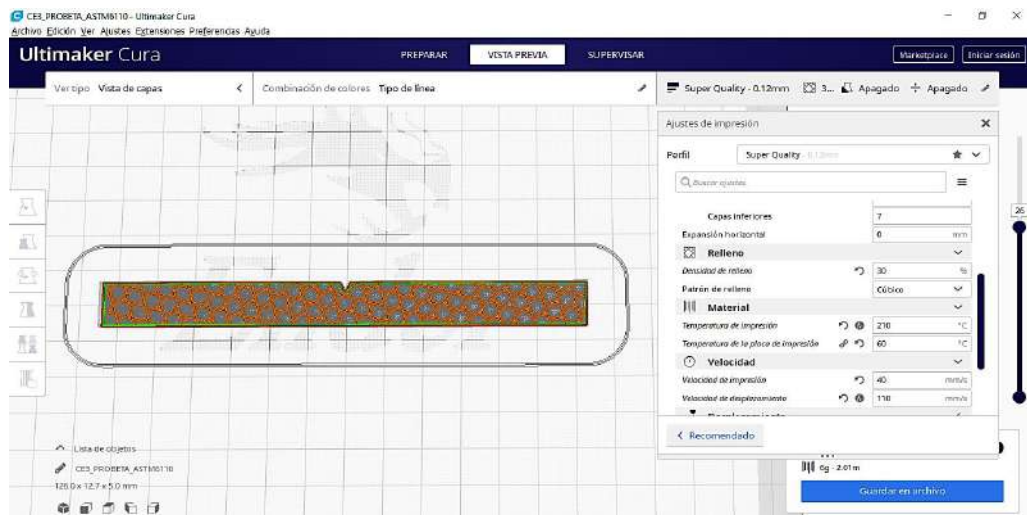


Figura 4-3: Configuración y ajustes de parámetros de impresión.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

3.8. Preparación de la impresora 3D

Como se mencionó anteriormente la impresora 3D utilizada en el presente trabajo es una maquina perteneciente a la tecnología FDM (Material por Deposición Fundida) (grafico #), en la cual los especímenes obtenidos se los obtiene mediante la unión de capas sucesivas de material extruido, esta impresora (Ender 3 Pro) se la describe como una maquina cartesiana ya que consiste en tres ejes ortogonales que se utilizan para orientar las direcciones y movimientos del cabezal por donde se va realizar la impresión, esta puede imprimir una variedad de materiales, siendo utilizados para este trabajo filamentos ABS y PLA.

Antes de empezar la impresión se procedió a colocar la impresora en un lugar de trabajo adecuado en donde no exista mayores corrientes de viento, que sea lo suficientemente ventilado, y aislado de personas.

Se tomó en cuenta un lugar que no exista mayores corrientes de viento puesto que estas al momento de realizarse la impresión 3D, generan un fenómeno denominado “Warping” que consiste en el pandeo de las primeras capas de impresión, generadas por la diferencia de temperaturas entre la cama de impresión y el viento chocante, afectando así a la geometría de las probetas, además que al pandearse las primeras capas, esto puede genera una fractura de las capas superiores (Cracking) afectando así las mediciones del ensayo Charpy.

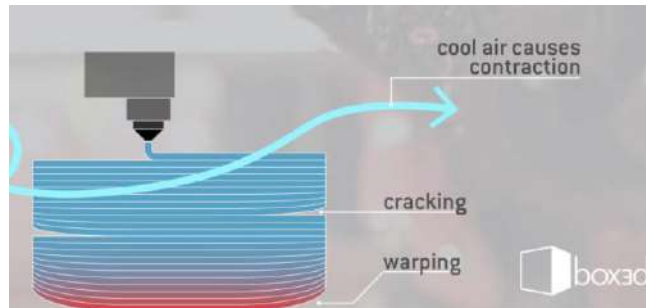


Figura 5-3: Problemas generados en la impresión 3D

Fuente: (BOX3D, 2017)

También se tomó en cuenta que el material ABS, al ser este un termoplástico duro con butadieno, estireno además de acrilonitrilo, un producto altamente tóxico, genera un ambiente corrosivo para la salud y emite un olor fuerte al imprimirse, lo que hace que incomodo permanecer en la misma estancia que la impresora, por lo que fue necesario generar un lugar de trabajo ventilado, y lo suficientemente grande para que no se concentren estos gases.

Una vez situada correctamente la impresora 3D, se procedió a nivelar la cama de impresión, para esto se realizó los siguientes comandos en el LCD de la impresora.

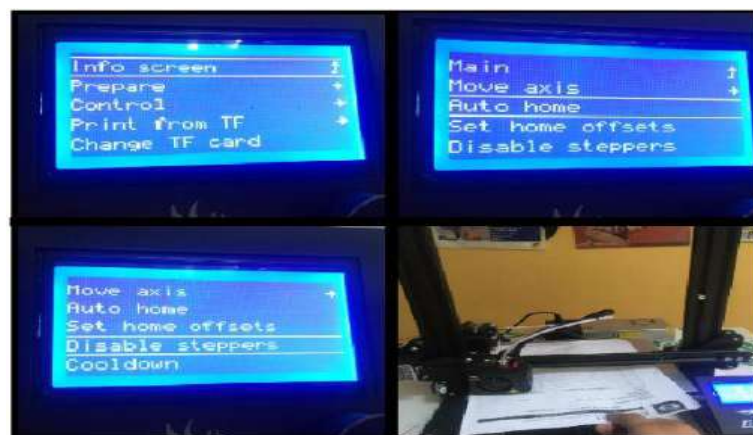


Figura 6-3: Procedimiento para nivelado de la cama base impresora Ender3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Con estos comandos se reinicia la posición cero del extrusor, con la ayuda de una hoja de papel, se calibra la cama de impresión, ajustando así la distancia existente entre la boquilla del extrusor y la cama de impresión de forma homogénea en toda la superficie. Finalmente se procedió a realizar una prueba de impresión, donde se realizó una inspección visual del correcto funcionamiento de los ventiladores, correctas temperaturas del fusor y cama de impresión.

3.9. Impresión de las probetas ABS y PLA

Una vez situada correctamente la impresora 3D, se procedió a realizar las impresiones de las probetas a ensayar, para esto, ya teniendo modelado y guardado los distintos códigos G a través software Ultimaker Cura, se transmiten los datos a una memoria externa SD, misma que se introducirá directamente a la impresora para finalmente obtener los especímenes a ensayar.

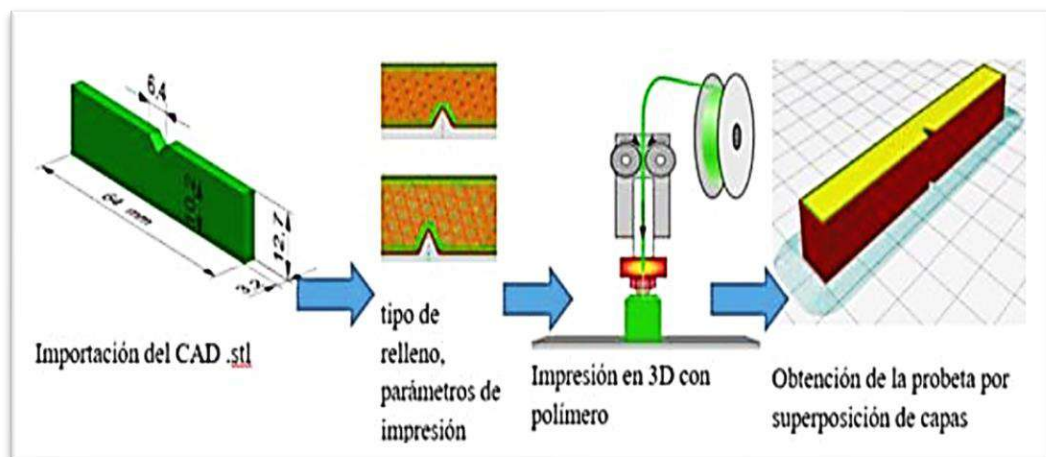


Figura 7-3: Proceso para la obtención de probetas impresas en 3D.

Fuente: (Escobar et al., 2020, p.20)

Cuando la impresora ya termina con el proceso de impresión, en el caso del ABS se retiran las probetas de forma inmediata, puesto que, si se las deja enfriar en la cama de impresión, su adherencia será extrema dificultando así su extracción e incluso dañando la superficie de la cama, en el caso del PLA las probetas pueden ser extraídas con mucha mayor facilidad en cualquier momento, independientemente el material, se debió tener sumo cuidado con la fuerza y la forma de extracción sobre la cama de impresión de cada probeta, puesto que de no hacerlo de forma correcta, estas al estar calientes, pueden sufrir alguna deformación en su geometría.



Figura 8-3: Impresión probeta ABS y PLA

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

La impresión de las probetas ABS y PLA se las realiza de forma distinta, con una configuración particular de cada una, como se detalla a en la tabla 7-3.

Tabla 1-3: Porcentajes de relleno recomendados.

PARAMETROS	PLA	ABS
Temperatura del extrusor	210 [°C]	245 [°C]
Temperatura de la cama (mesa de impresión)	65[°C]	110[°C]
Velocidad de impresión	50 mm/s	45 mm/s
Velocidad del desplazamiento	130 mm/s	120 mm/s
Velocidad de la capa inicial	20 mm/s	20 mm/s
Altura de capa	0,2 mm	0,2 mm

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Las configuraciones de espesor de pared, densidad de relleno y patrón de relleno se fueron permutando según lo requerido en la investigación.

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Ensayo de impacto Charpy

Las pruebas de impacto aplicadas a las probetas impresas en 3D, fueron realizadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la ESPOCH, mediante el ensayo de péndulo tipo Charpy con los lineamientos denotados bajo la norma ASTM D6110, a continuación, se realizó los gráficos de control y tablas de resultados, detallando el porcentaje de relleno, el patrón de mallado, el espesor de pared, y el tipo de filamento.

Para este ensayo destructivo, aplicado a las probetas de ABS y PLA, se utilizó el péndulo Charpy de marca CEAST que tiene una capacidad máxima de 25 J, se procedió a verificar la buena calibración de la máquina, se situaron los soportes necesarios adecuadamente, se ubicarán cada probeta a las distancias requeridas y con la selección de un martillo de 2J recomendado por la norma, posteriormente se realizará el ensayo de impacto a cada probeta siguiendo las especificaciones y recomendaciones de la norma ASTM D6110. Se anotará la energía de impacto de cada ensayo realizado con una resolución de 0.01J, y finalmente se tabulará y analizará los resultados obtenidos.



Figura 1-4: Péndulo Charpy para polímeros.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2. Resultados de los ensayos de impacto tipo charpy en probetas 3D impresas en material ABS y PLA.

Las pruebas de impacto aplicadas a las probetas impresas en 3D, fueron realizadas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales de la ESPOCH, mediante el ensayo de péndulo tipo Charpy con los lineamientos denotados bajo la norma ASTM D6110, a continuación, se realizó los gráficos de control y tablas de resultados, detallando el porcentaje de relleno, el patrón de mallado, el espesor de pared, y el tipo de filamento. Para tener una certeza de que los datos obtenidos fueron los correctos, se realizó un análisis estadístico de cada uno.

A continuación, se presentan las tablas de resultados, en donde se muestran la energía de impacto para cada probeta, además se saca el promedio de los mismos conjuntamente con un análisis estadístico de dispersión de los datos obtenidos (desviación estándar).

También se realizó los gráficos de control para cada ensayo, en donde se muestra los valores de resiliencia para cada probeta, una línea central que representa la medida estándar de cada ensayo (media de las cinco probetas) y las líneas de acotamiento, que mostraron los límites aceptables para una dispersión del cinco por ciento.

Para el análisis de resultados, se realizó una gráfica de comparación, en donde se demuestra gráficamente como se comportaron las seis distintas configuraciones al impacto, variando su porcentaje de relleno y su espesor de pared.

Una vez que se realizó los gráficos de resultados y los gráficos de comparación, se procedió a dar las conclusiones respectivas de que configuración soporto mayor carga de impacto.

4.2.1. Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de ABS al 30% de relleno con 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor y 6 patrones de mallado distintos.

Los resultados del ensayo de impacto Charpy con porcentaje de relleno al 30%, con espesores de pared de 0.8, 1.2, 1.6 mm y 6 patrones de mallado distintos, se muestran en la Tabla 1-4 hasta la Tabla 6-4 acompañadas de sus graficas de control de cada ensayo obtenido, asegurándose una dispersión máxima del 5% de los resultados obtenidos.

Tabla 1-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Trihexagonal al 30% de relleno con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Espesor de pared Ensayo		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1		42,5	61,25	82,5
N.2		42,5	66,25	80
N.3		41,25	63,75	83,75
N.4		43,75	63,75	83,75
N.5		40	65	82,5
Media (\bar{x})		42	64	82,5
D. Estándar (s)		1,4252	1,854	1,531

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

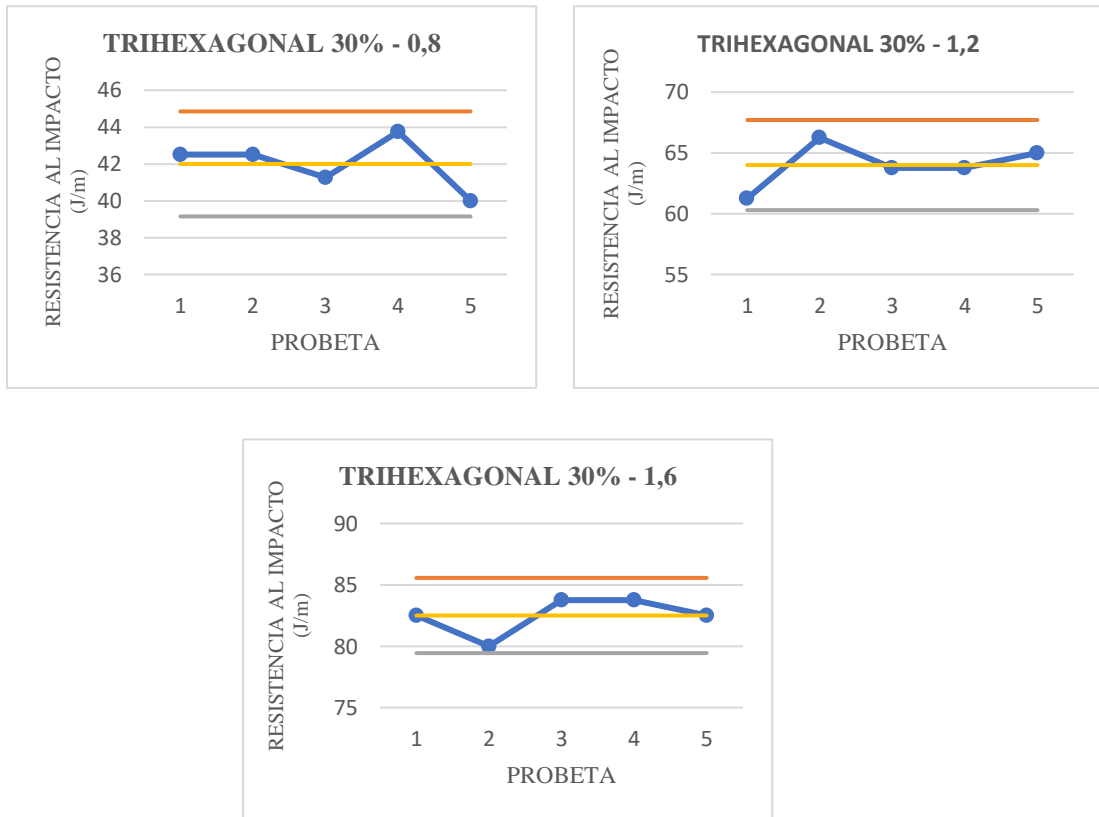


Gráfico 1-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Trihexagonal al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 2-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Líneas al 30% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Espesor de pared		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Ensayo				
N.1		56,25	81,25	91,25
N.2		66,25	76,25	93,75
N.3		63,75	80	86,25
N.4		60	78,75	87,5
N.5		62,5	77,5	90
Media (\bar{x})		61,75	78,75	89,75
D. Estándar (s)		3,8119	1,9764	2,9843

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

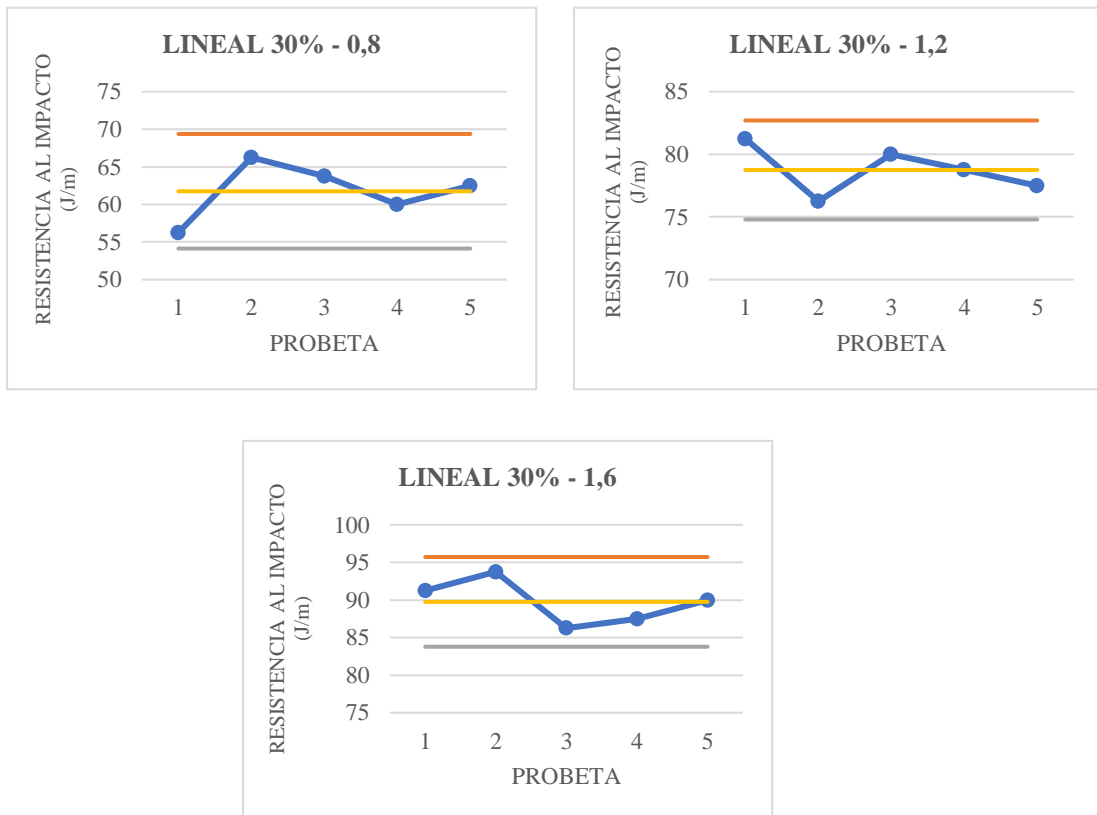


Gráfico 2-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Lineal al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 3-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado concéntrica al 30% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Ensayo	Espesor de pared	0.8mm	1.2mm	1.6mm
	N.1		111,25	153,75
N.2		106,25	151,25	185
N.3		120	147,5	178,75
N.4		116,25	138,75	183,75
N.5		112,5	121,25	170
Media (\bar{x})		113,25	142,5	177,52
D. Estándar (s)		5,199	13,169	7,2090

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

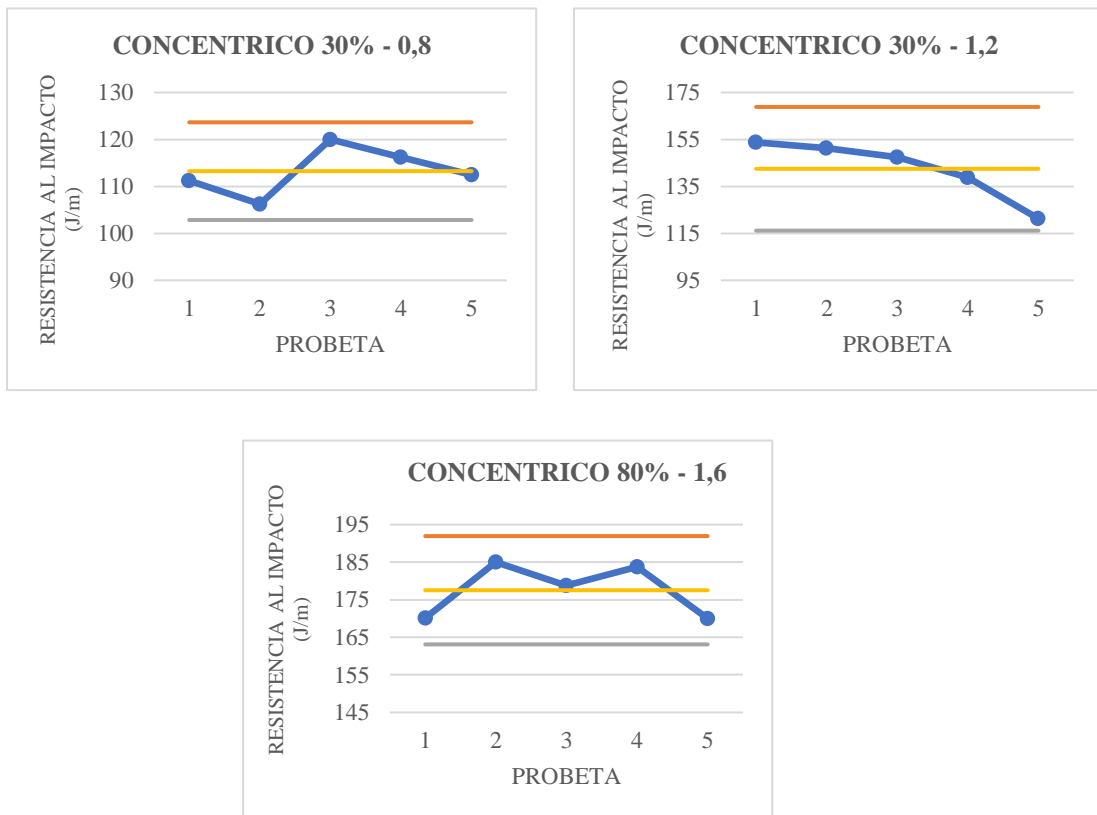


Gráfico 3-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Concéntrico al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 4-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado cubica, al 30% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Ensayo	Espesor de pared	0.8mm	1.2mm	1.6mm
	N.1		48,75	65
N.2		50	73,75	85
N.3		50	71,25	83,75
N.4		57,5	70	78,75
N.5		43,75	70	87,5
Media (\bar{x})		50	70	83,25
D. Estándar (s)		4,921	3,186	3,377

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

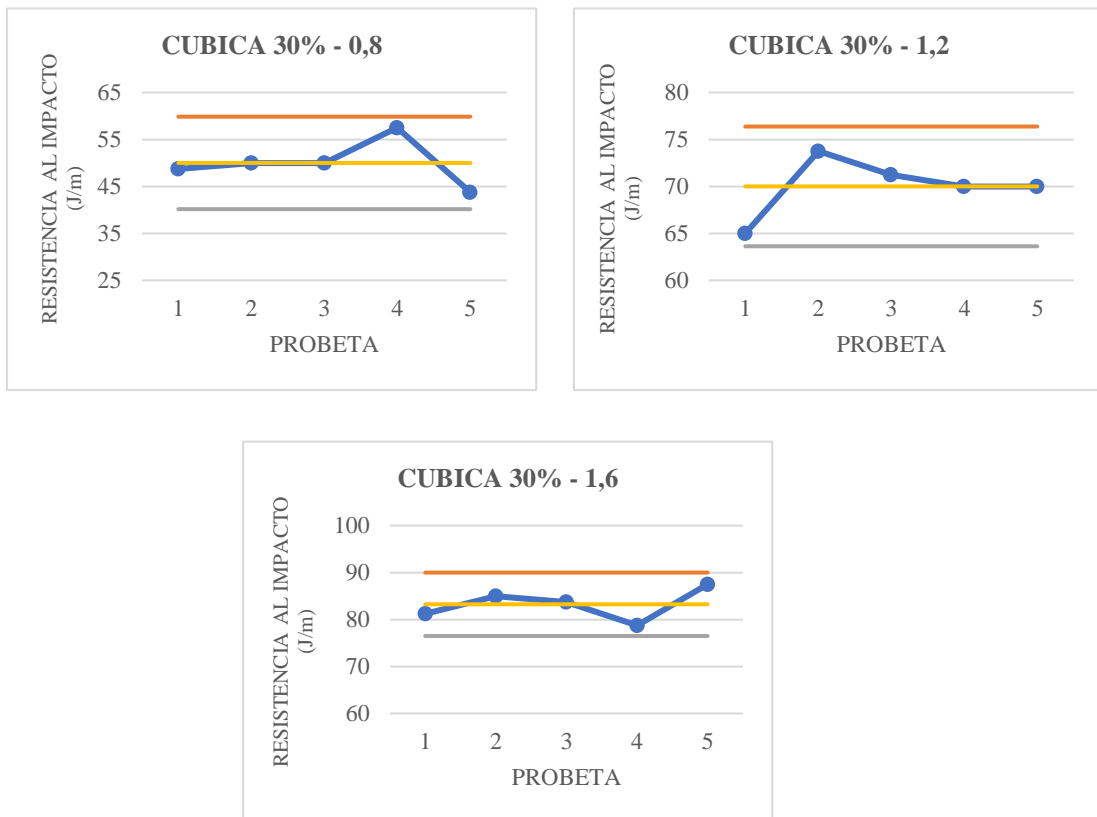


Gráfico 4-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Cubico al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 5-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Zigzag al 30% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Ensayo	Esesor de pared	0.8mm	1.2mm	1.6mm
	N.1		73,75	88,75
N.2		75	83,75	122,25
N.3		76,25	91,25	121
N.4		72,5	95	104,75
N.5		76,25	86,25	127,25
Media (\bar{x})		74,75	89	120,5
D. Estándar (s)		1,629	4,366	9,253

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

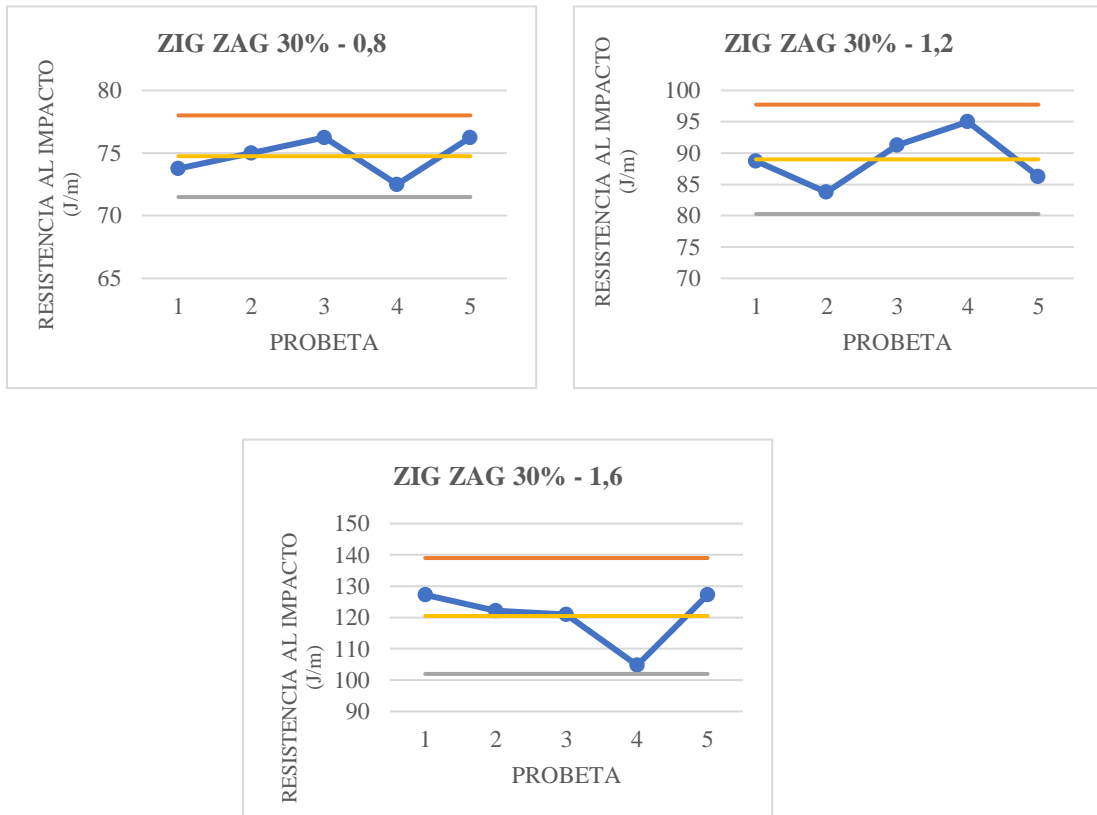


Gráfico 5-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Zigzag, al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 6-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Rejillas al 30%, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Espeor de pared Ensayo	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	65	86,25	93,75
N.2	61,25	83,75	88,75
N.3	73,75	76,25	86,25
N.4	67,5	82,5	83,75
N.5	58,75	78,75	97,5
Media (\bar{x})	65,25	81,5	90
D. Estándar (s)	5,82	3,992	5,590

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

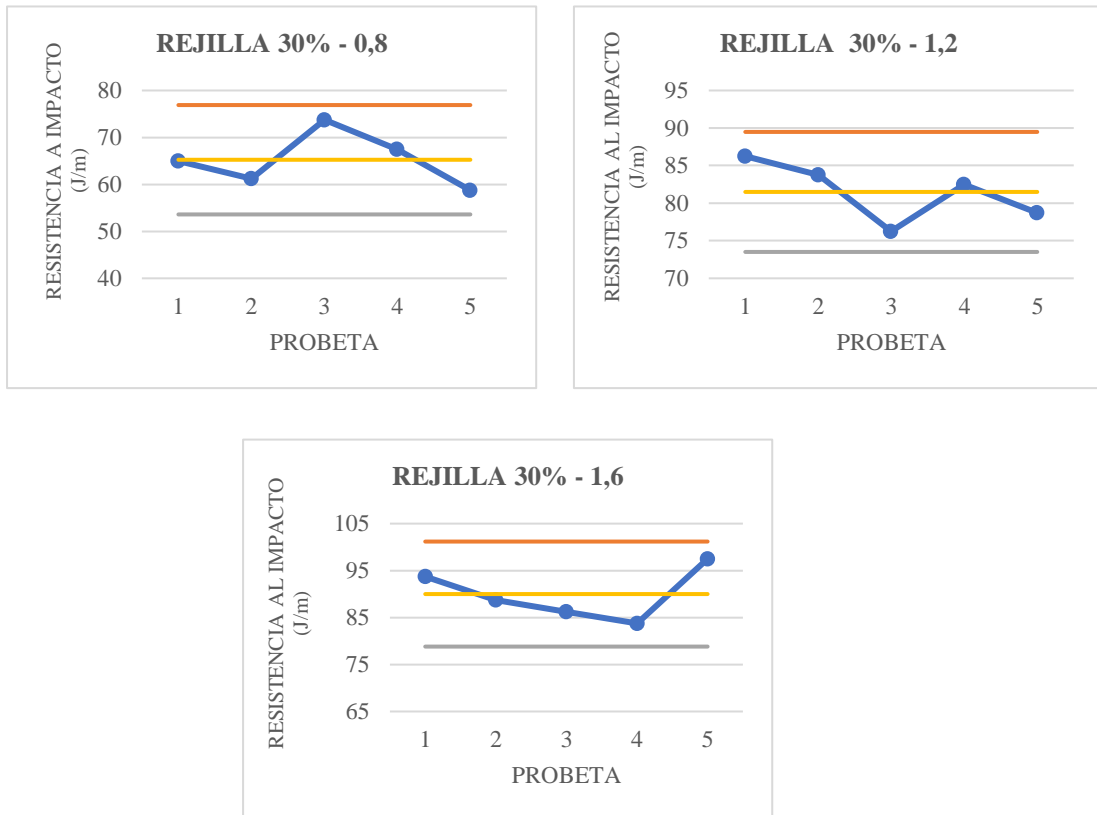


Gráfico 6-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Rejilla al 30% de relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2.2. Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de ABS con 60% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.

Los resultados del ensayo de impacto Charpy con porcentaje de relleno al 60%, con 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor de capa y 6 patrones de mallado distinto se presenta en la Tabla 7-4 hasta la Tabla 12-4 juntamente con sus gráficos de control, permitiendo comprobar que los datos se mantienen dentro del margen asegurando una confiabilidad del 95%.

Tabla 7-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Trihexagonal al 60%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Ensayo \ Espesor de pared	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	50	67,75	86,25
N.2	51,25	64,62	87,5
N.3	52,5	70,25	83,75
N.4	52,5	69	
N.5	51,25	67,75	81,25
Media (\bar{x})	51,5	67,874	84,75
D. Estándar (s)	1,0458	2,094	2,404

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

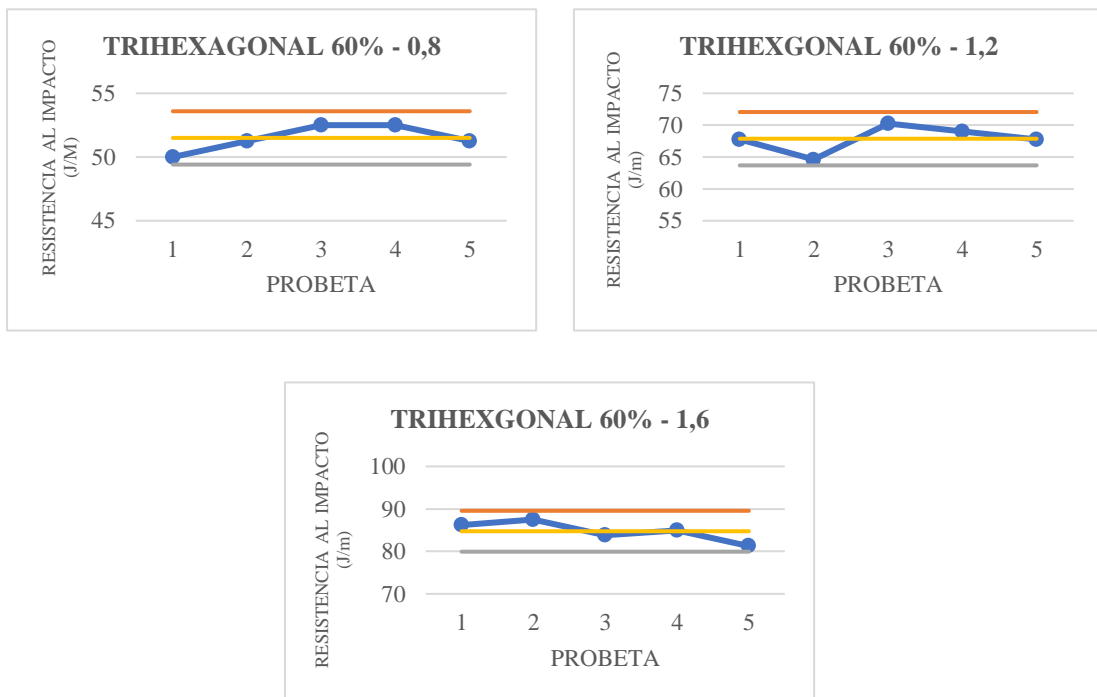


Gráfico 7-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Trihexagonal al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 8-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Líneas al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Ensayo	Esesor de pared	0.8mm	1.2mm	1.6mm
	N.1		76,25	96,25
N.2		77,5	98,75	103,75
N.3		82,5	93,75	105
N.4		78,75	93,75	111,25
N.5		73,75	92,5	106,25
Media (\bar{x})		77,75	95	106,75
D. Estándar (s)		3,235	2,5	2,877

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

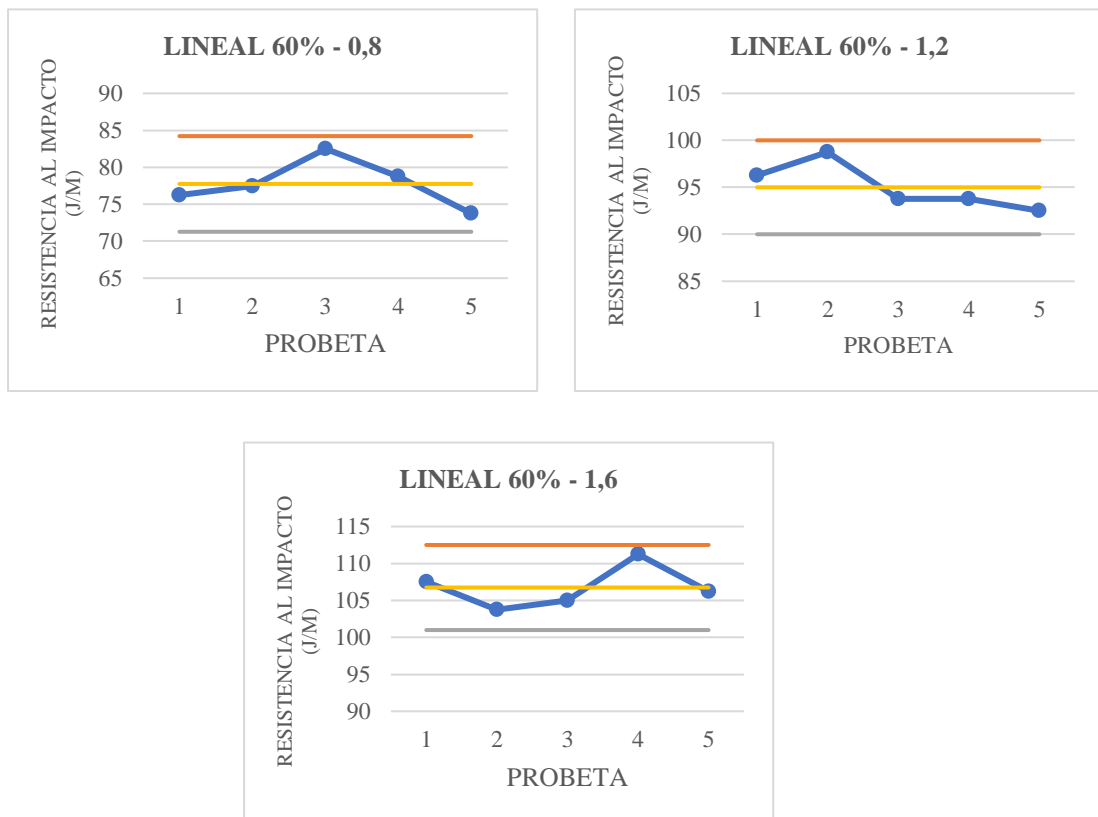


Gráfico 8-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Lineal al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 9-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Concéntrico
60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Ensayo	Espesor de pared			
	N.1	153,5	180,5	191,25
	N.2	156	181	193,75
	N.3	154,75	180,25	196,25
	N.4	160,5	174,75	191,25
	N.5	155,5	181,25	195
	Media (\bar{x})	156,05	179,55	193,5
	D. Estándar (s)	2,659	2,712	2,236

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

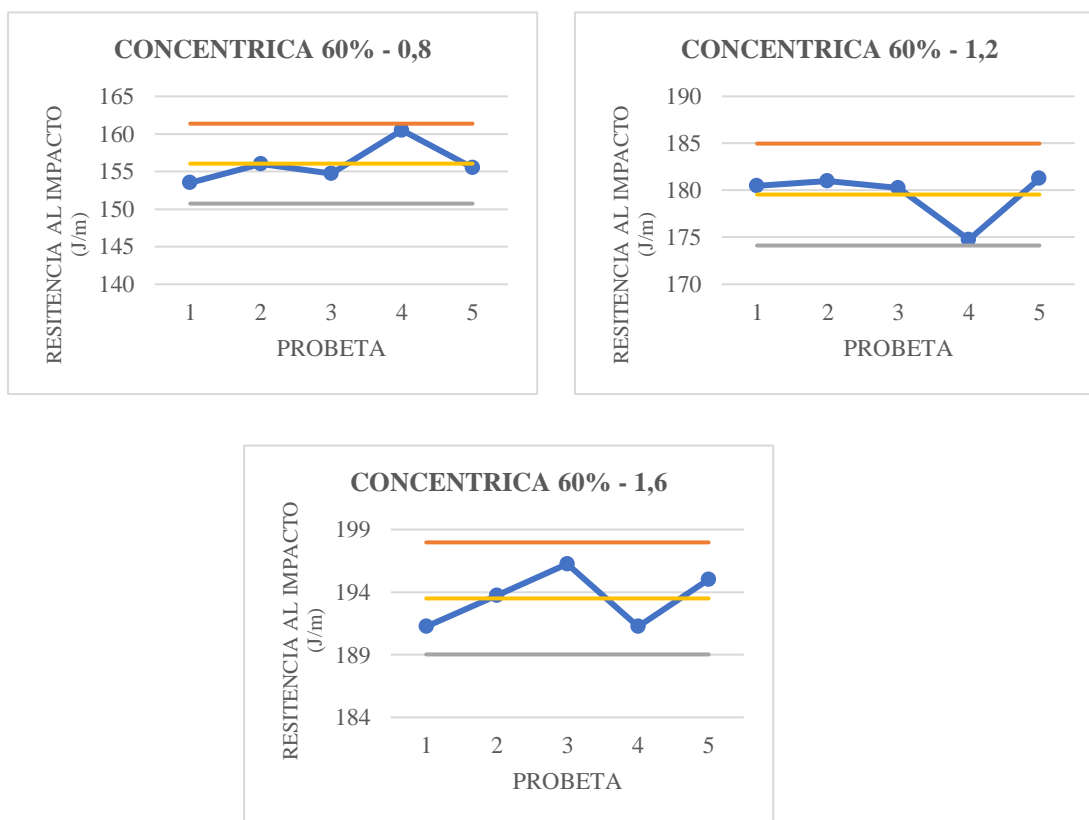


Gráfico 9-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Concéntrico al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 10-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Cubica al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Espeor de pared Ensayo	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	76,25	85	92,5
N.2	77,5	82,5	88,75
N.3	81,25	87,5	92,5
N.4	75	85	86,25
N.5	78,75	83,75	96,25
Media (\bar{x})	77,75	84,75	91,25
D. Estándar (s)	2,404	1,854	3,853

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

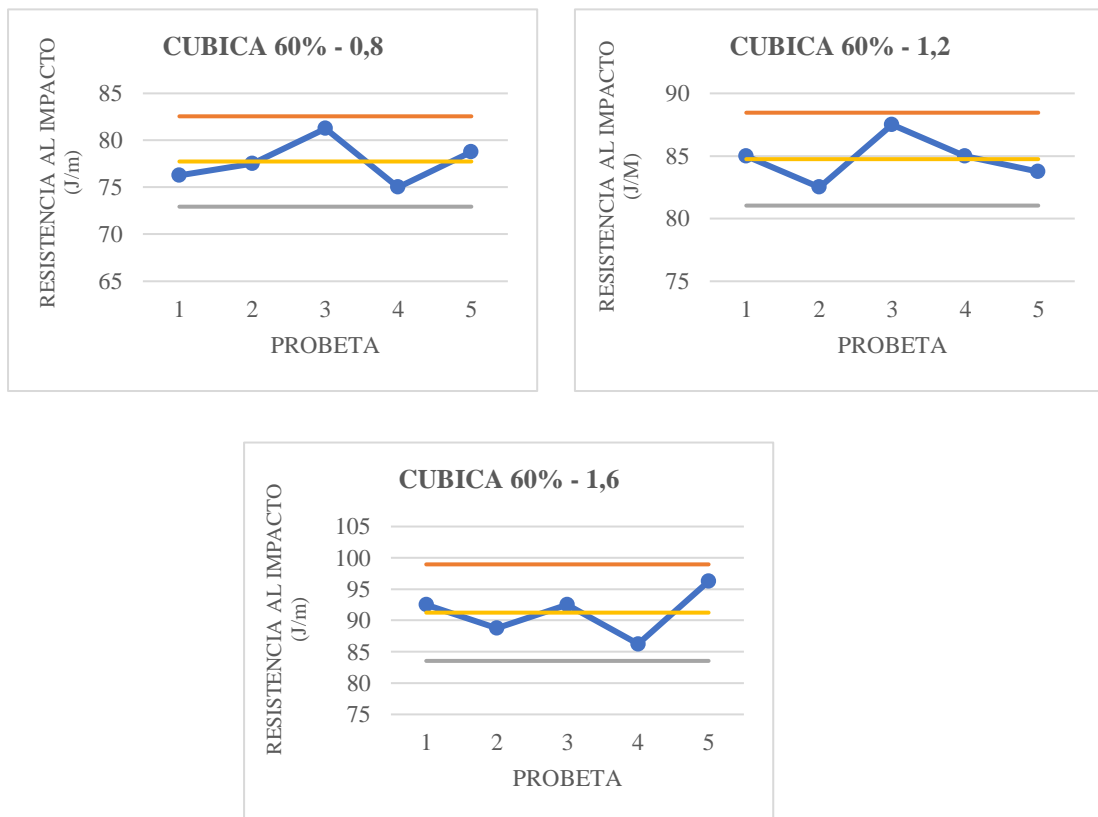


Gráfico 10-4. Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Cubica al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 11-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Zigzag al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Espesor de pared Ensayo		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1		86,25	103,75	123,25
N.2		88,75	101,25	132
N.3		98,75	110	127
N.4		96,25	106,25	128,25
N.5		90	111,25	130,75
Media (\bar{x})		92	106,5	128,25
D. Estándar (s)		5,274	4,183	3,423

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

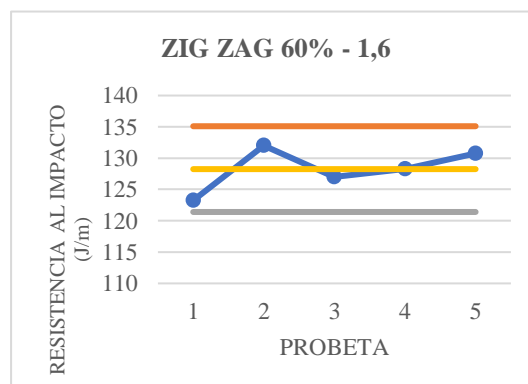
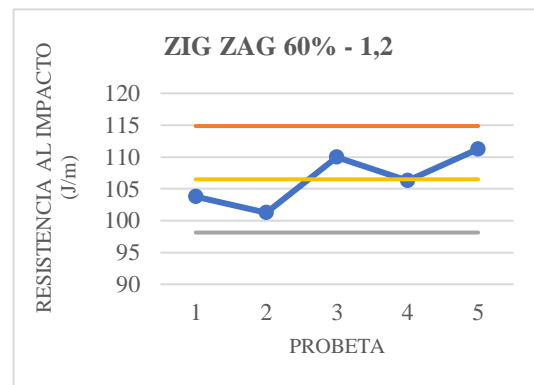
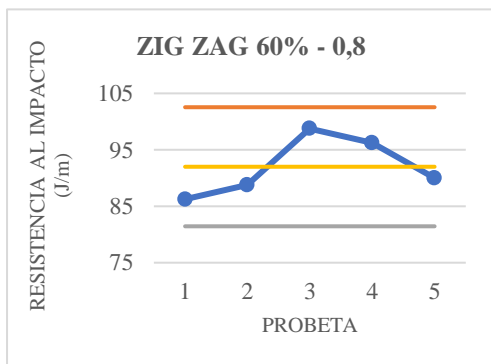


Gráfico 11-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Zigzag al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 12-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado rejilla al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Ensayo	Espesor de pared			
	N.1	81,25	87,5	110
	N.2	77,5	83,75	108,75
	N.3	86,25	90	110
	N.4	71,25	97,5	117,5
	N.5	83,75	83,75	98,75
	Media (\bar{x})	80	88,5	109
	D. Estándar (s)	5,863	5,687	6,697

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

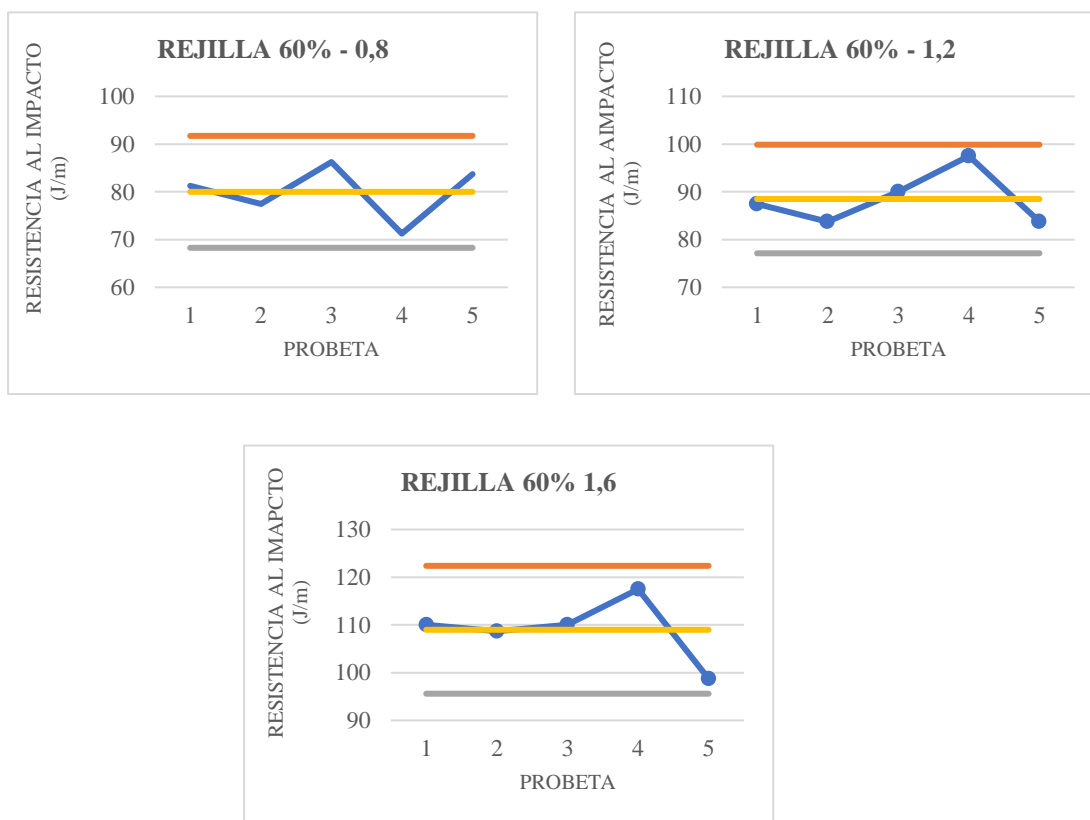


Gráfico 12-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Rejilla al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2.3. Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de ABS con 80% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.

Los resultados del ensayo de impacto Charpy con porcentaje de relleno al 80%, con espesores de pared de 0.8, 1.2, 1.6 mm y 6 patrones de mallado distintos, se muestran en la Tabla 13-4 hasta la Tabla 18-4 acompañadas de sus graficas de control de cada ensayo obtenido asegurándose una dispersión máxima del 5% de los resultados obtenidos.

Tabla 13-4: Resistencia al impacto de las probetas semirrígidas ABS, configuración Trihexagonal al 80% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Espesor de pared Ensayo	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	63,75	76,25	88,75
N.2	62,5	78,75	85
N.3	60	73,75	85
N.4	62,5	77,5	87,5
N.5	61,25	75	86,25
Media (\bar{x})	62	76,25	86,5
D. Estándar (s)	1,425	1,976	1,629

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

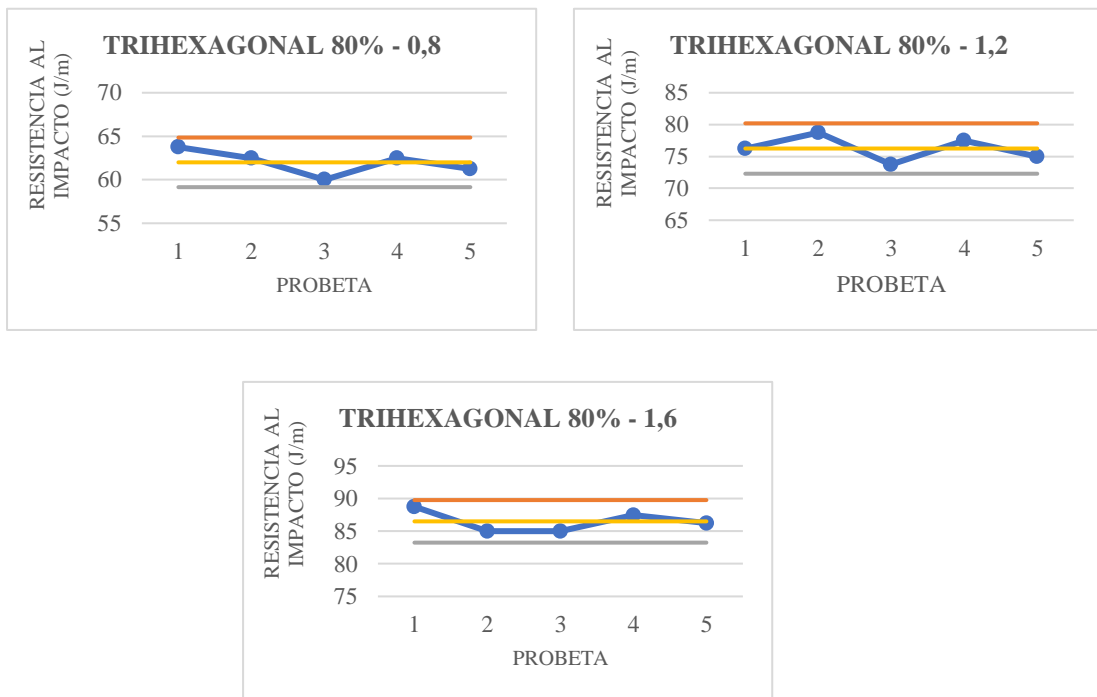


Gráfico 13-4. Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Trihexagonal al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 14-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Lineal al 80% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Ensayo \ Espesor de pared	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	88,75	100	114,25
N.2	105	106,25	113
N.3	91,25	103,75	108
N.4	96,25	98,75	118
N.5	103,75	107,5	119,25
Media (\bar{x})	97	103,25	114,5
D. Estándar (s)	7,267	3,812	4,454

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

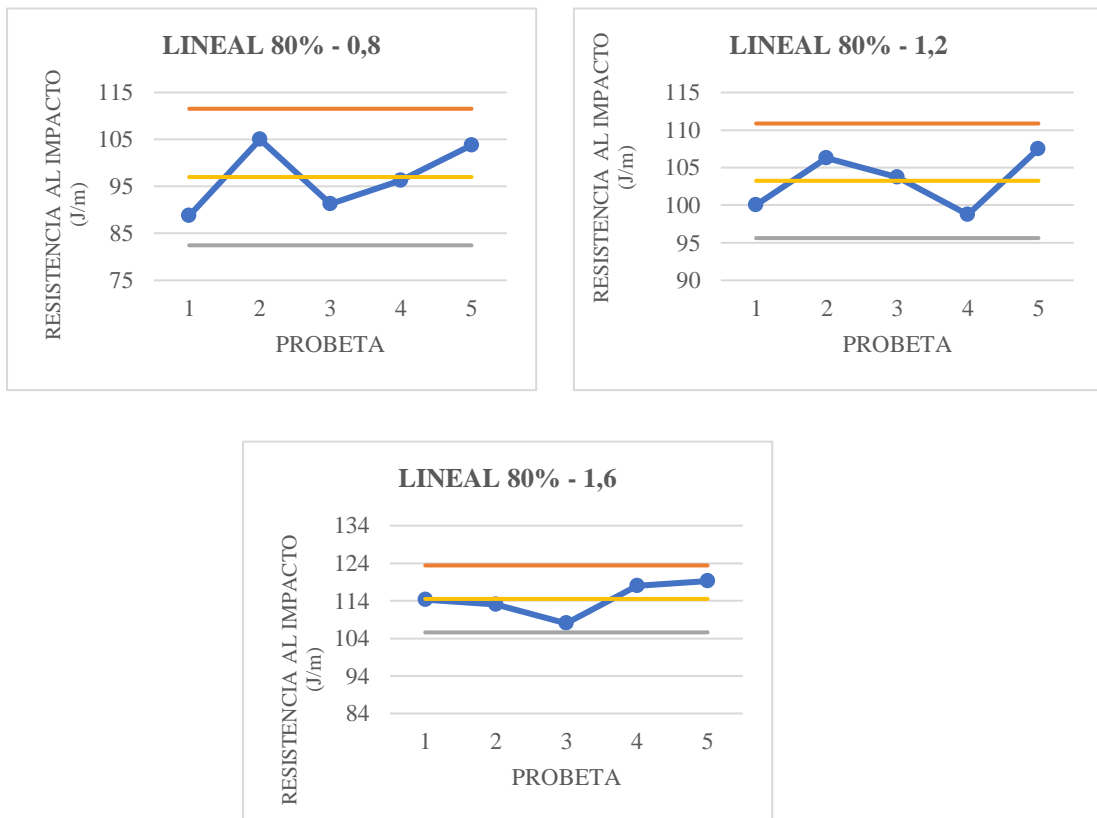


Gráfico 14-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Lineal al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 15-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Concéntrica al 80% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Ensayo	Espesor de pared			
	N.1	188,75	197,5	240
	N.2	183,75	217,5	241,25
	N.3	192,5	222,5	218,75
	N.4	185	206,25	222,5
	N.5	181,25	212,5	220
	Media (\bar{x})	186,25	211,25	228,5
	D. Estándar (s)	4,419	9,762	11,159

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

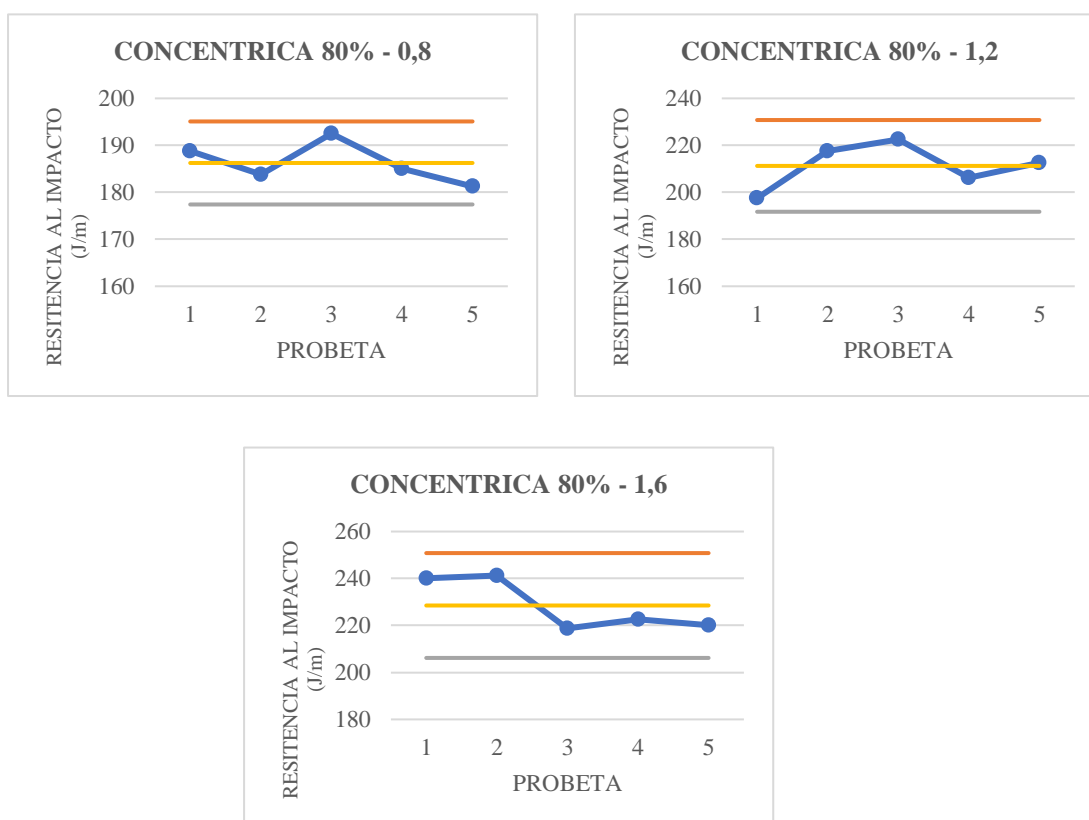


Gráfico 15-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Concéntrico al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 16-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Cubica al 80% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Esesor de pared Ensayo	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	87,5	101,25	100
N.2	90	98,75	98,75
N.3	83,75	101,25	106,25
N.4	85	88,75	111,25
N.5	80	90	110
Media (\bar{x})	85,25	96	105,25
D. Estándar (s)	3,791	6,149	5,687

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

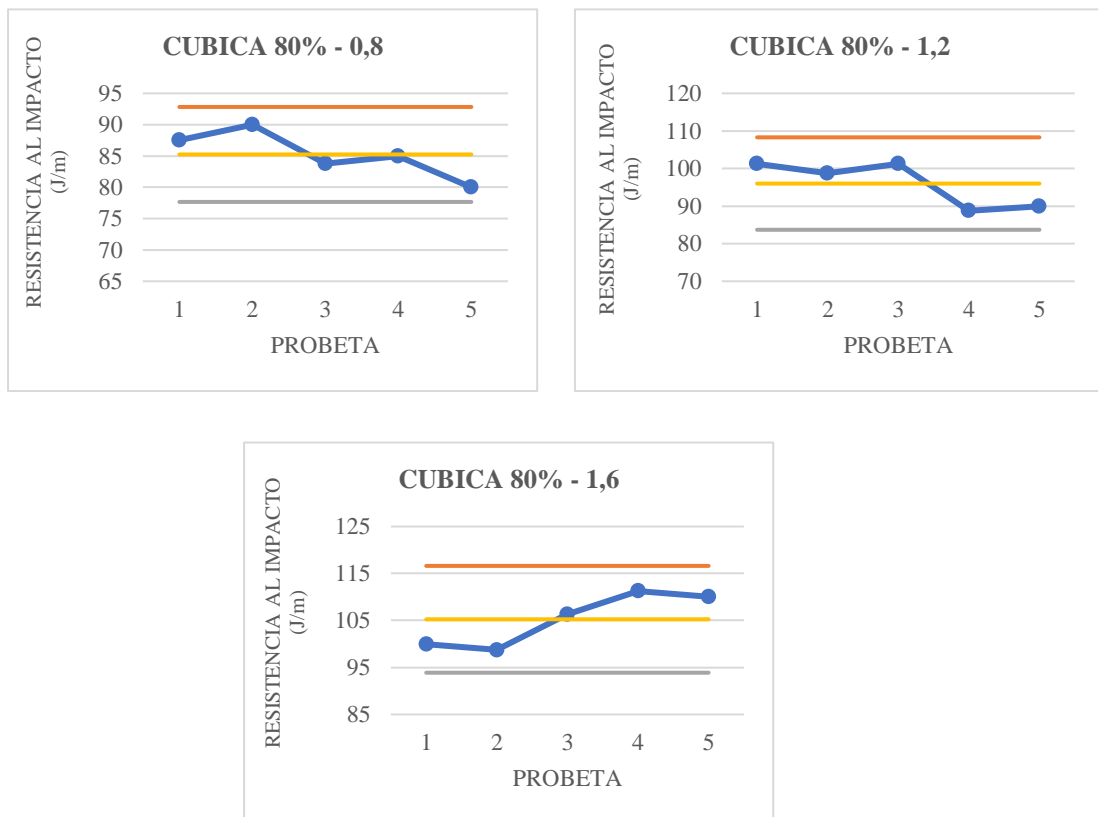


Gráfico 16-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Cubica al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 17-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Zigzag al 80% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)			
		0.8mm	1.2mm	1.6mm	
Espesor de pared	Ensayo	N.1	97,5	111,25	145
		N.2	98,75	121,25	148,75
	N.3	92,5	118,75	138,75	
	N.4	98,75	107,5	141,25	
	N.5	101,25	117,5	133,75	
	Media (\bar{x})	97,75	115,25	141,5	
	D. Estándar (s)	3,236	5,687	5,755	

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

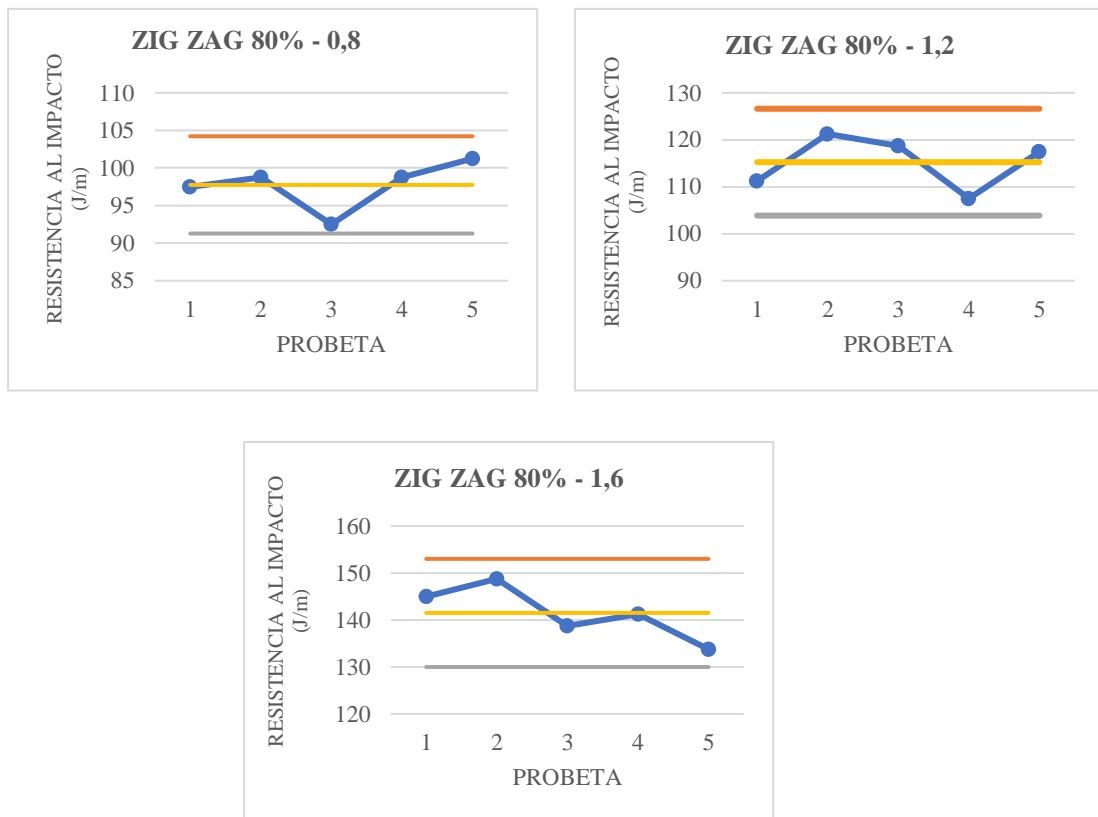


Gráfico 17-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Zigzag al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 18-4: Resistencia al impacto de las probetas ABS, mallado Rejilla al 80% de relleno, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Espesor de pared		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Ensayo				
N.1		116,25	102,5	116,25
N.2		101,25	110	136,25
N.3		107,5	117,5	133,75
N.4		105	121,25	131,25
N.5		102,5	117,5	132,5
Media (\bar{x})		106,5	113,75	130
D. Estándar (s)		5,95556462	7,5	7,90569415

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

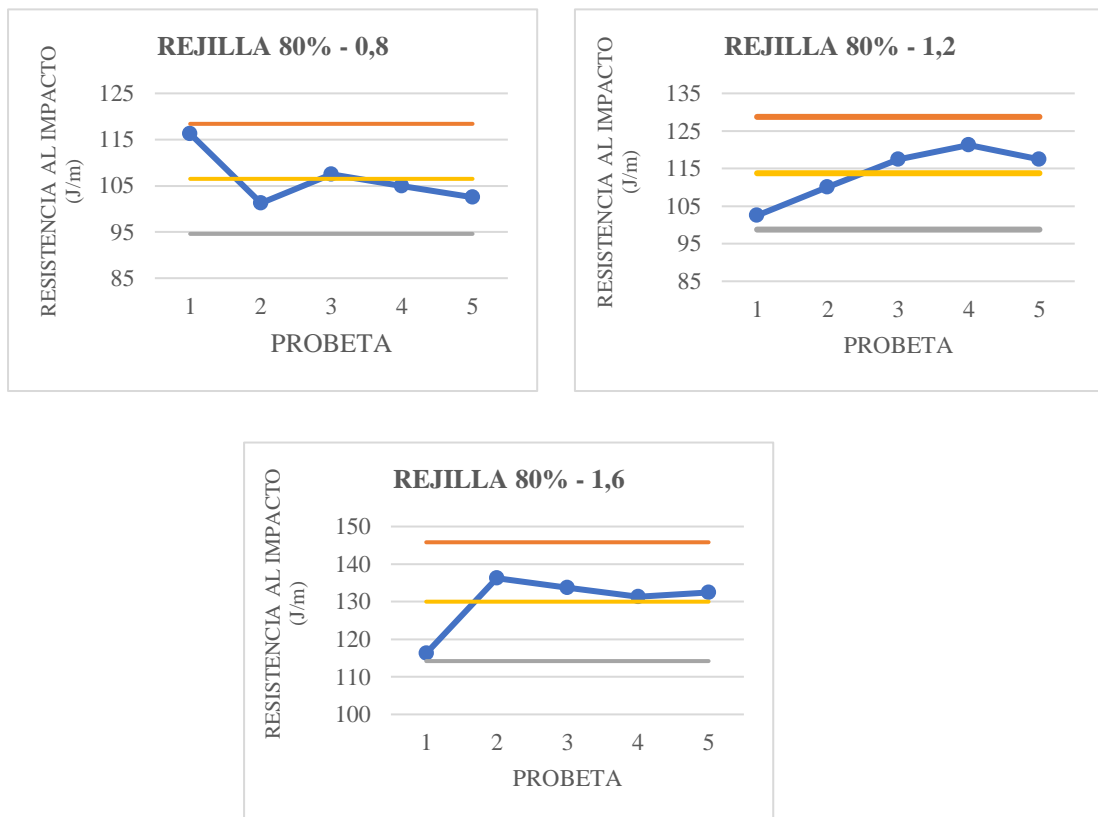


Gráfico 18-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de ABS, mallado Rejilla al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Después de presentar los resultados de probetas impresas con material ABS se observaron que todos los resultados estuvieron dentro del rango aceptable con una confiabilidad del 95% determinando que los ensayos fueron efectivos. A continuación, se presenta los resultados al impacto de materiales impresos con material PLA.

4.2.4. Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de PLA con 30% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.

Los resultados del ensayo de impacto Charpy con porcentaje de relleno al 30%, con 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor de pared y 6 patrones de mallado distinto se presenta en la Tabla 19-4 hasta la Tabla 24-4, además se presenta gráficos de control asegurándose una dispersión mínima del 5% de los datos obtenidos.

Tabla 19-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Trihexagonal al 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Ensayo	Espesor de pared			
N.1		32,5	32,5	42,5
N.2		30	36,25	45
N.3		31,25	36,25	46,25
N.4		30	35	43,75
N.5		31,25	33,75	38,75
Media (\bar{x})		31	34,75	43,25
D. Estándar (s)		1,0456	1,6298	2,878

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

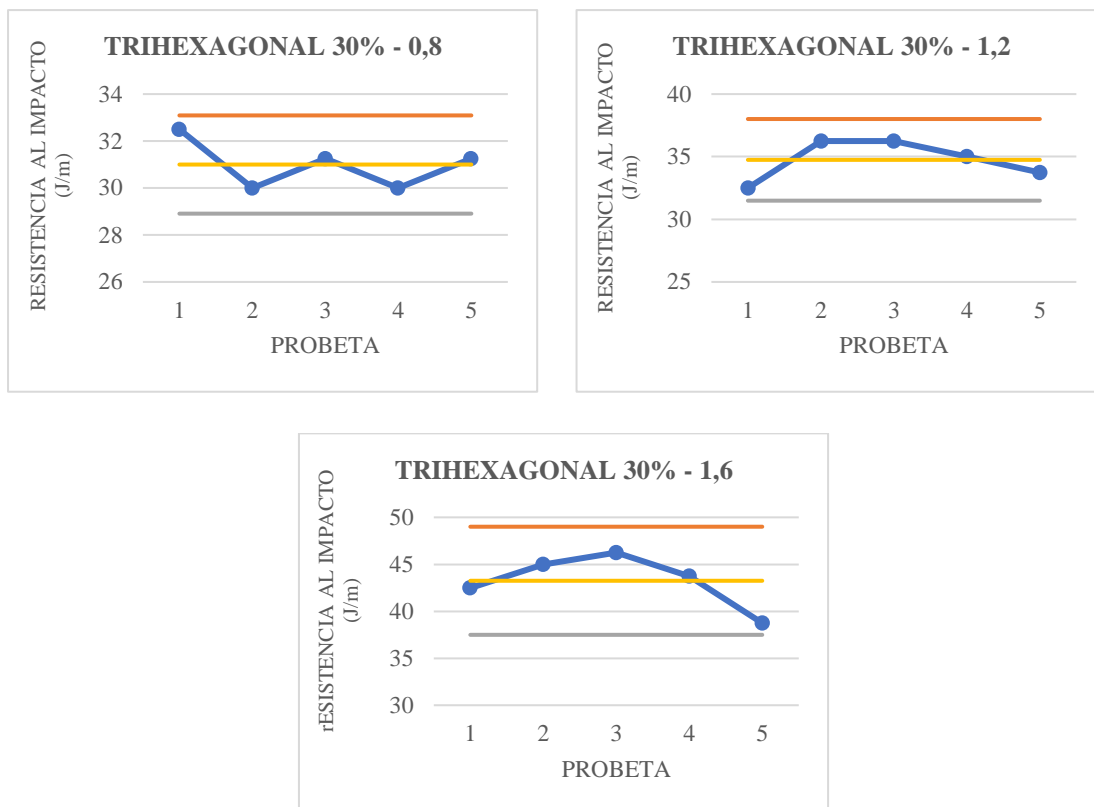


Gráfico 19-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Trihexagonal al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 20-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Lineal, 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Ensayo \ Espesor de pared	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	20	23,75	31,25
N.2	26,25	23,75	28,75
N.3	18,75	26,25	25
N.4	22,5	22	30
N.5	21,25	23	27,5
Media (\bar{x})	21,75	23,75	28,5
D. Estándar (s)	2,878	1,046	2,404

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

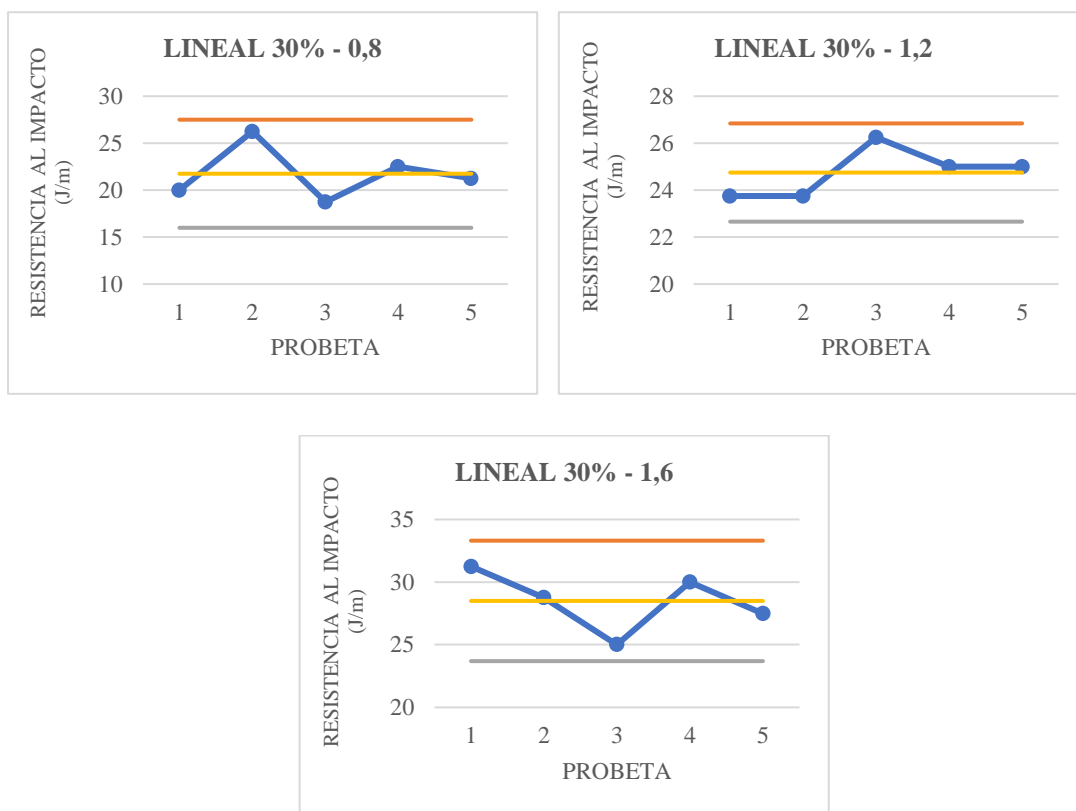


Gráfico 20-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Lineal al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 21-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Concéntrico al 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Espesor de pared Ensayo	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	61,25	63,75	73,75
N.2	53,75	66,25	75
N.3	58,75	61,25	70
N.4	55	67,5	82,5
N.5	51,25	60	81,25
Media (\bar{x})	56	63,75	76,5
D. Estándar (s)	3,992	3,187	5,259

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

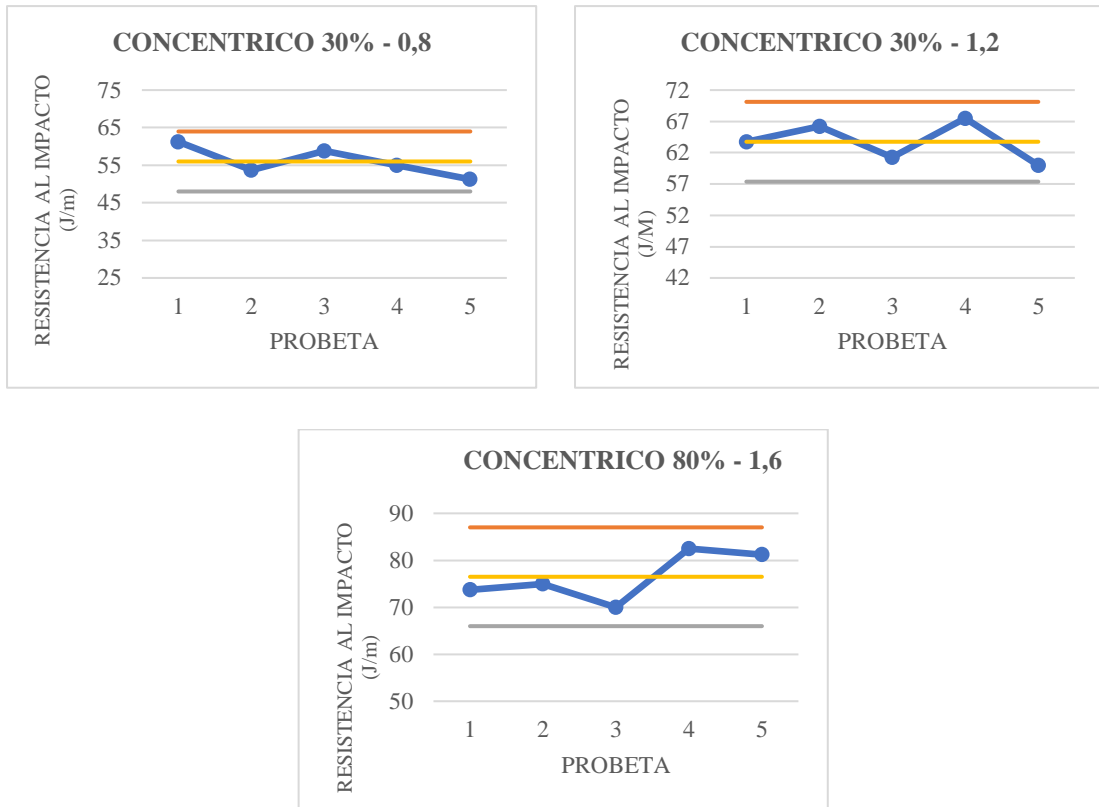


Gráfico 21-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Concéntrico al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 22-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Cubica al 30%, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Esesor de pared Ensayo	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	31,25	35	45
N.2	28,75	43,75	40
N.3	35	38,75	41,25
N.4	30	41,25	47,5
N.5	32,5	36,25	45
Media (\bar{x})	31,5	39	43,75
D. Estándar (s)	2,404	3,579	3,062

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

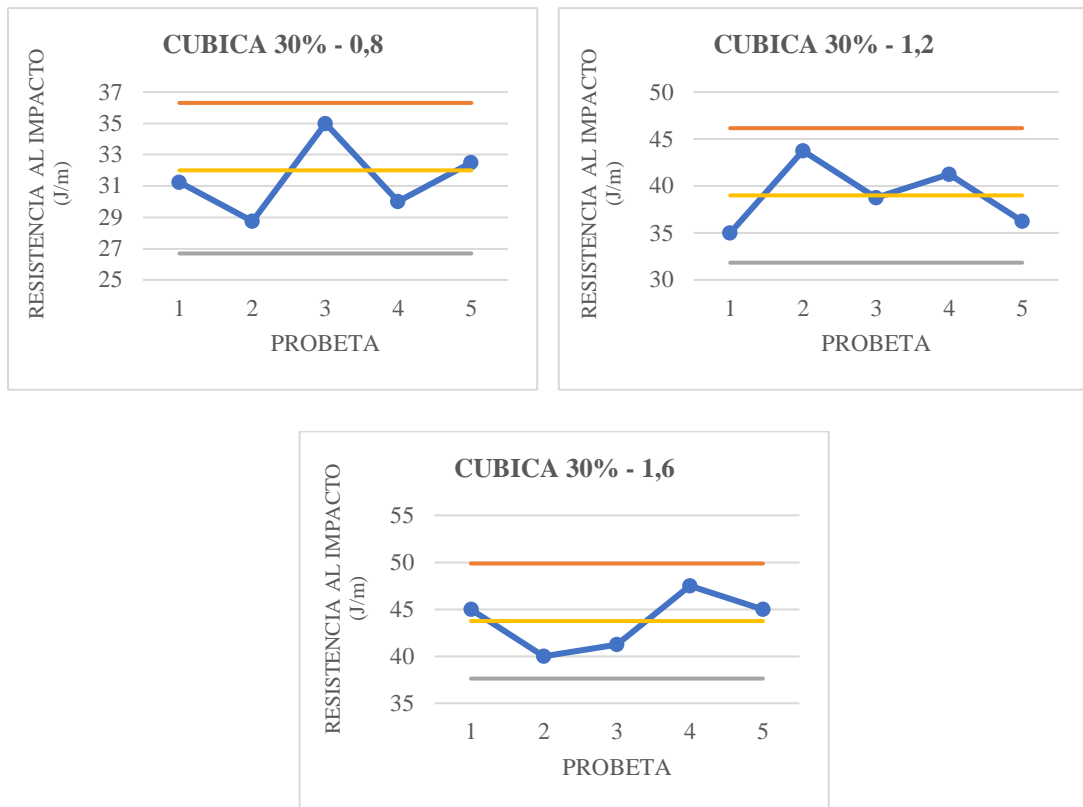


Gráfico 22-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Cúbica al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 23-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Zigzag al 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Ensayo \ Espesor de pared	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	32,5	43,75	48,75
N.2	36,25	40	47,5
N.3	36,25	38,75	47,5
N.4	31,25	42,5	43,75
N.5	35	45	45
Media (\bar{x})	34,25	42	46,5
D. Estándar (s)	2,270	2,592	2,054

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

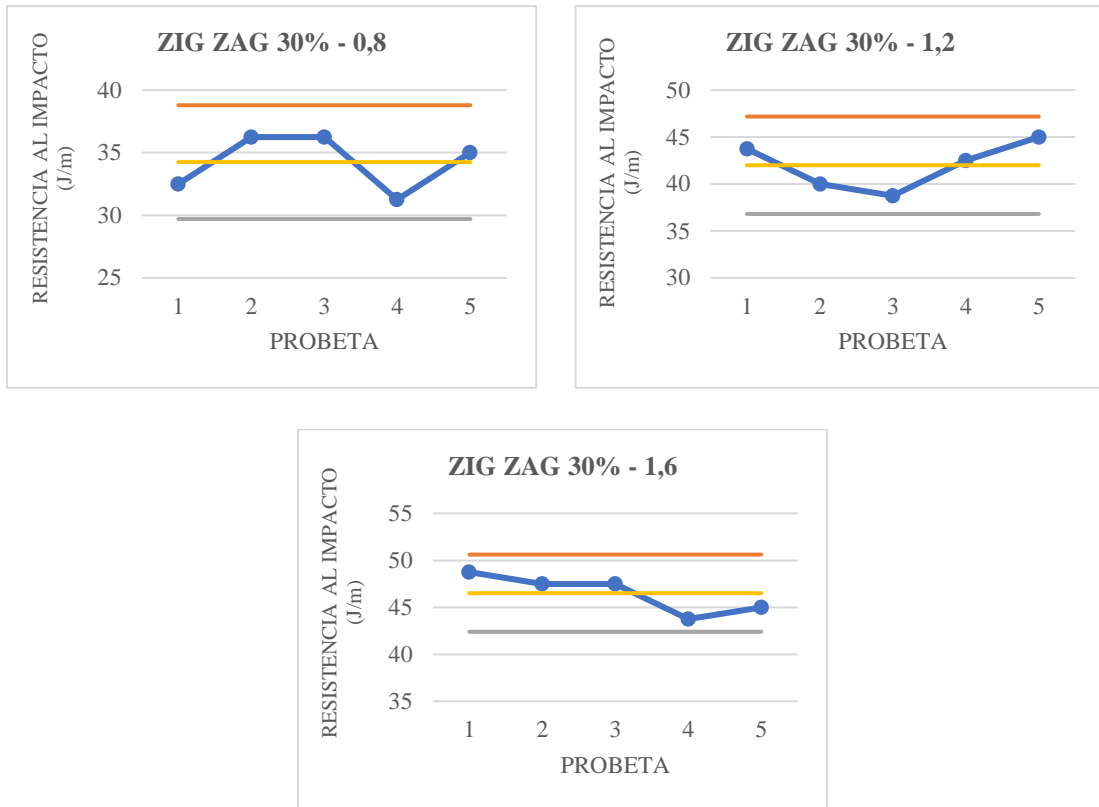


Gráfico 23-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Zigzag al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 24-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Rejilla al 30%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm.

Esesor de pared Ensayo	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	32,5	42,5	50
N.2	35	41,25	55
N.3	31,25	46,25	52,5
N.4	36,25	38,75	47,5
N.5	30	42,5	48,75
Media (\bar{x})	33	42,25	50,75
D. Estándar (s)	2,5920	2,709	3,010

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

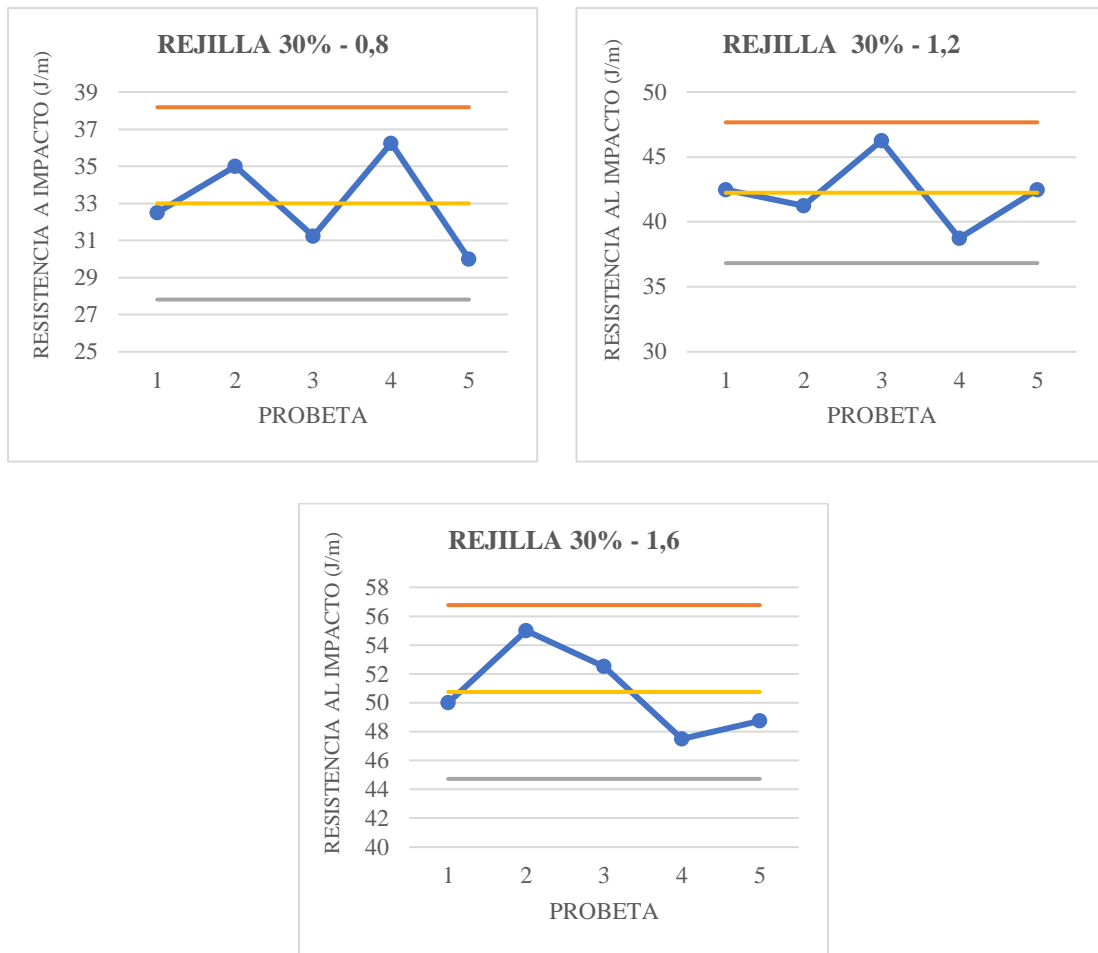


Gráfico 24-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Rejilla al 30% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2.5. Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de PLA con 60% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.

Los resultados del ensayo de impacto Charpy con porcentaje de relleno al 60%, con 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor de capa y los 6 patrones de mallado se detallan en la Tabla 25-4 hasta la Tabla 30-4 respectivamente con sus graficas de control de cada ensayo obteniendo asegurándose una dispersión máxima del 5% de los resultados obtenidos.

Tabla 25-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Trihexagonal al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Espesor de pared		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Ensayo				
N.1		37,5	45	52,5
N.2		38,75	46,25	45
N.3		41,25	42,5	51,25
N.4		36,25	43,75	42,5
N.5		37,5	46,25	47,5
Media (\bar{x})		38,25	44,75	47,75
D. Estándar (s)		1,895	1,629	4,183

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

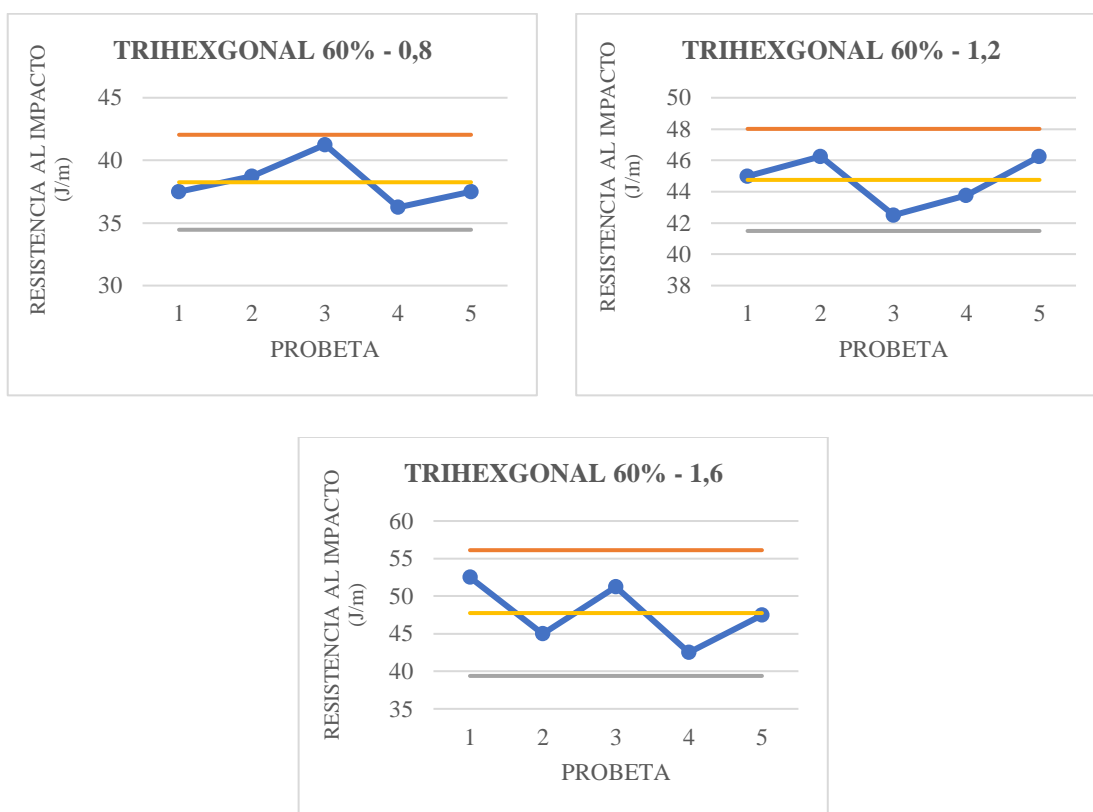


Gráfico 25-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Trihexagonal al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 26-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Lineal al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Espesor de pared	Ensayo			
		N.1	22,5	35
N.2	32,5	31,25	36,25	
N.3	28,75	32,5	43,75	
N.4	26,25	33,75	36,25	
N.5	30	32,5	38,75	
Media (\bar{x})		28	33	37,75
D. Estándar (s)		3,812	1,425	3,791

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

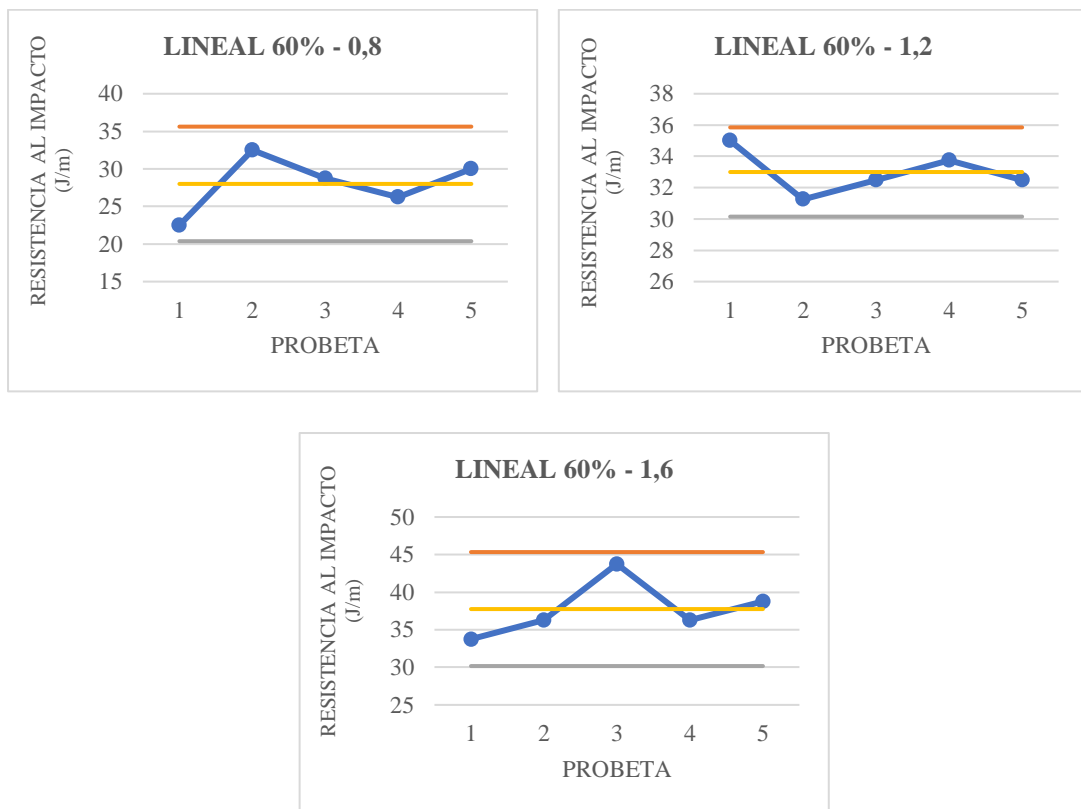


Gráfico 26-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Lineal al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 27-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Concéntrica al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Espesor de pared		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Ensayo				
N.1		70	78,75	87,5
N.2		68,5	85	88,75
N.3		66,5	76,25	82,5
N.4		79,25	78,75	76,25
N.5		79	81,25	87,5
Media (\bar{x})		72,65	80	84,5
D. Estándar (s)		6,0404	3,307	5,199

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

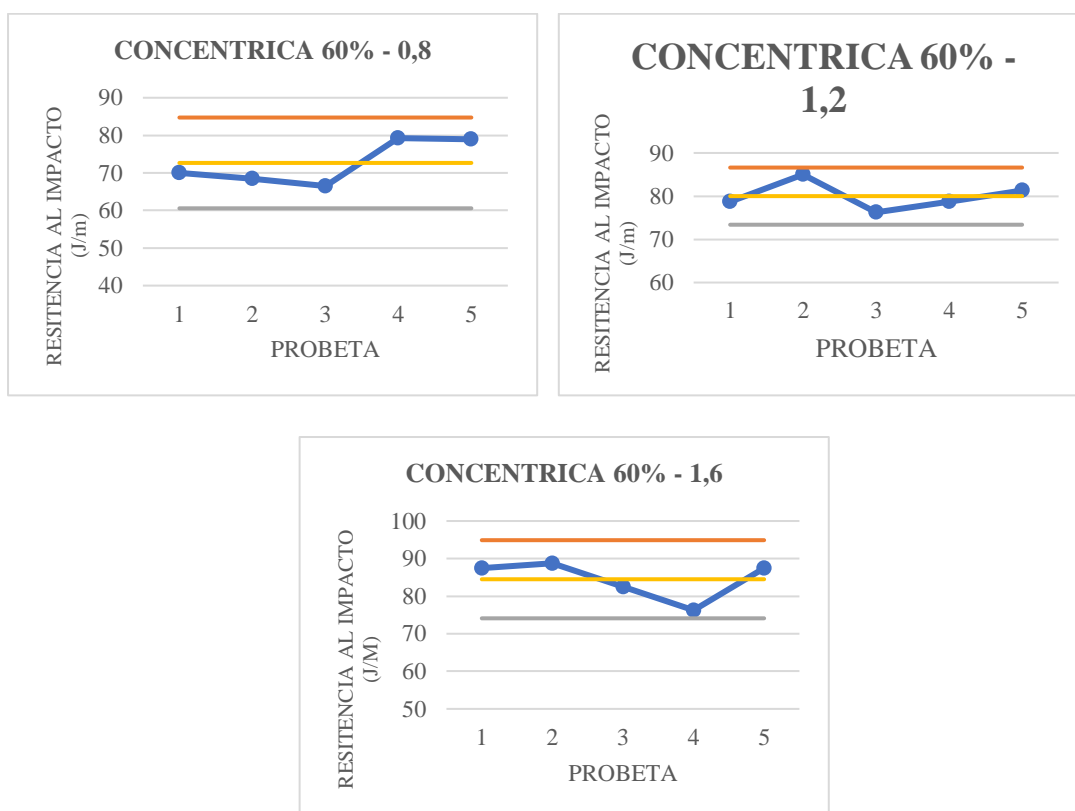


Gráfico 27-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Concéntrico al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 28-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Cubica al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
Espesor de pared	Ensayo			
		N.1	42,5	46,25
N.2	50	51,25	46,25	
N.3	45	53,75	60	
N.4	46,25	50	56,25	
N.5	45	48,75	53,75	
Media (\bar{x})		45,75	50	54,5
D. Estándar (s)		2,738	2,795	5,123

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

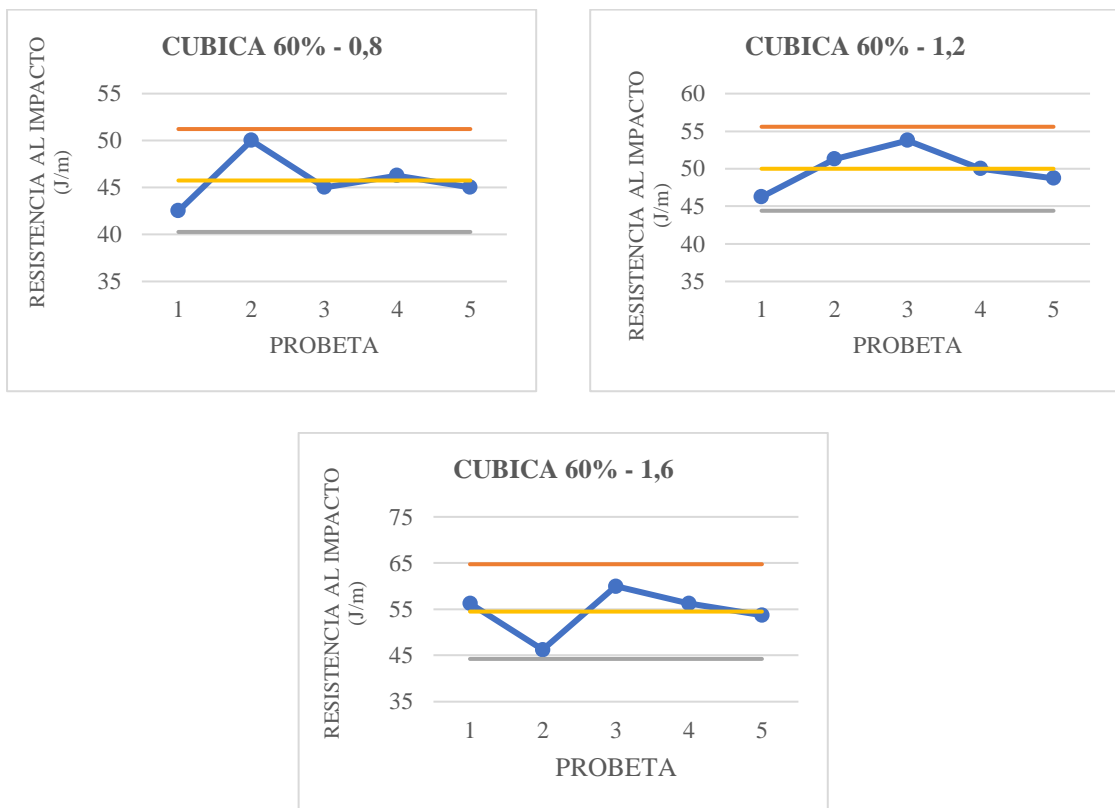


Gráfico 28-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Cubica al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 29-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Zigzag al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Ensayo	Espesor de pared	0.8mm	1.2mm	1.6mm
	N.1		46,25	62,5
N.2		53,75	61,25	71,25
N.3		48,75	60	66,25
N.4		51,25	56,25	71,25
N.5		45	60	68,75
Media (\bar{x})		49	60	69
D. Estándar (s)		3,579	2,338	2,236

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

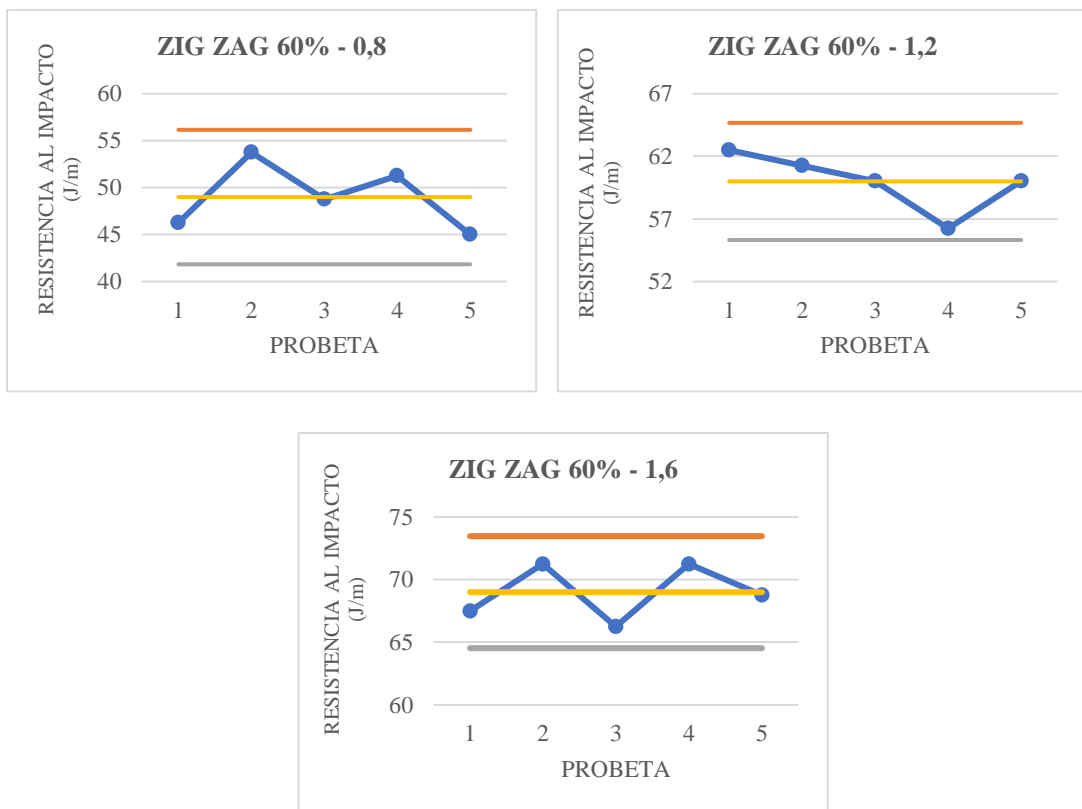


Gráfico 29-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Zigzag al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 30-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Rejilla al 60% de relleno, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Ensayo	Esesor de pared	0.8mm	1.2mm	1.6mm
	N.1		40	48,75
N.2		42,5	47,5	55
N.3		38,75	52,5	62,5
N.4		40	43,75	55
N.5		37,5	61,25	58,75
Media (\bar{x})		39,75	50,75	57,75
D. Estándar (s)		1,854	6,649	3,112

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

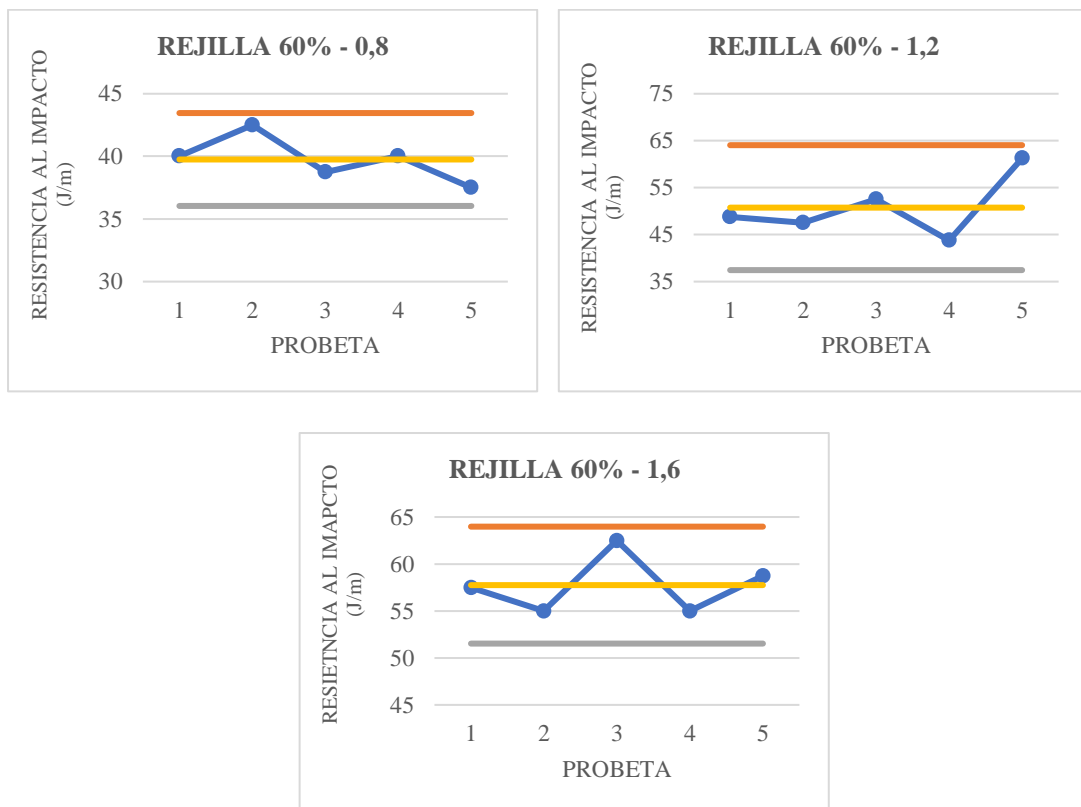


Gráfico 30-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Rejilla al 60% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2.6. Resultados de la Resistencia al Impacto en probetas de PLA con 80% de relleno y 0.8, 1.2 y 1.6 mm de espesor, y 6 patrones de mallado distintos.

Los resultados del ensayo de impacto Charpy con porcentaje de relleno al 80%, con 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor de capa y 6 patrones de mallado distinto se presenta en la Tabla 31-4 hasta la Tabla 36-4 respectivamente, también se presenta los gráficos de control para cada ensayo, en donde las líneas de acotamiento nos aseguran una confiabilidad del 95% de los datos obtenidos.

Tabla 31-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Trihexagonal al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Ensayo \ Espesor de pared	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	51,25	71,25	80
N.2	44,75	67,5	78,75
N.3	52,5	75	68,75
N.4	43,5	61,25	73,75
N.5	50	66,25	76,25
Media (\bar{x})	48,4	68,25	75,5
D. Estándar (s)	4,025	5,199	4,472

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

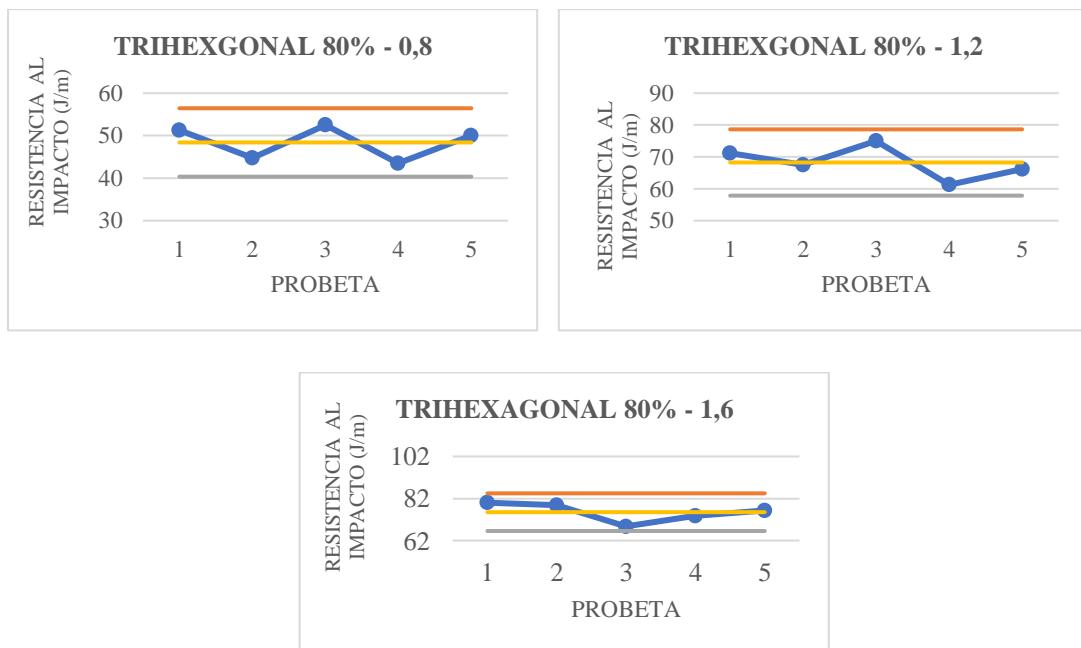


Gráfico 31-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Trihexagonal al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 32-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Lineal al 80%, con espesores de pared de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Esesor de pared Ensayo	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	27,5	38,75	40
N.2	36,25	40	51,25
N.3	32,5	41,25	56,25
N.4	35	45	58,75
N.5	31,25	38,75	48,75
Media (\bar{x})	32,5	40,75	51
D. Estándar (s)	3,423	2,592	7,310

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

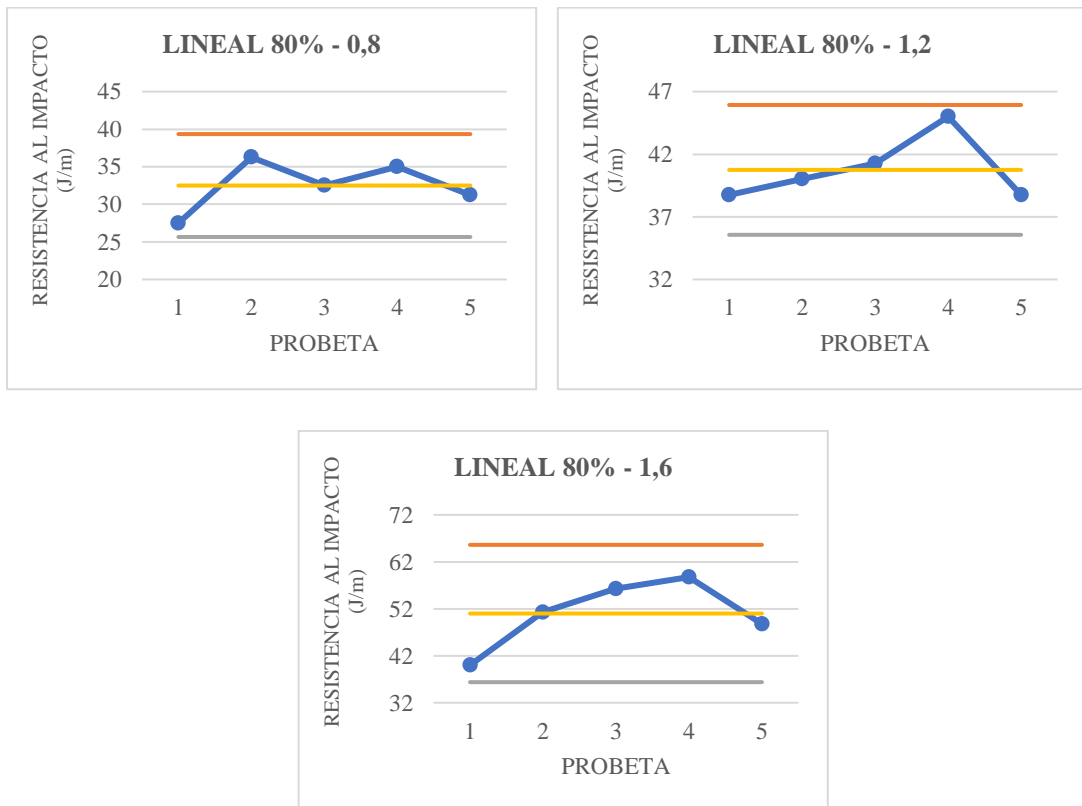


Gráfico 32-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Lineal al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 33-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Concéntrica al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Espesor de pared Ensayo		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1		92	92,5	98,5
N.2		78,25	86,25	100,5
N.3		80,75	96,25	103
N.4		87	87,5	108
N.5		90,75	93,75	110
Media (\bar{x})		85,75	91,25	104
D. Estándar (s)		6,059	4,238	4,886

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

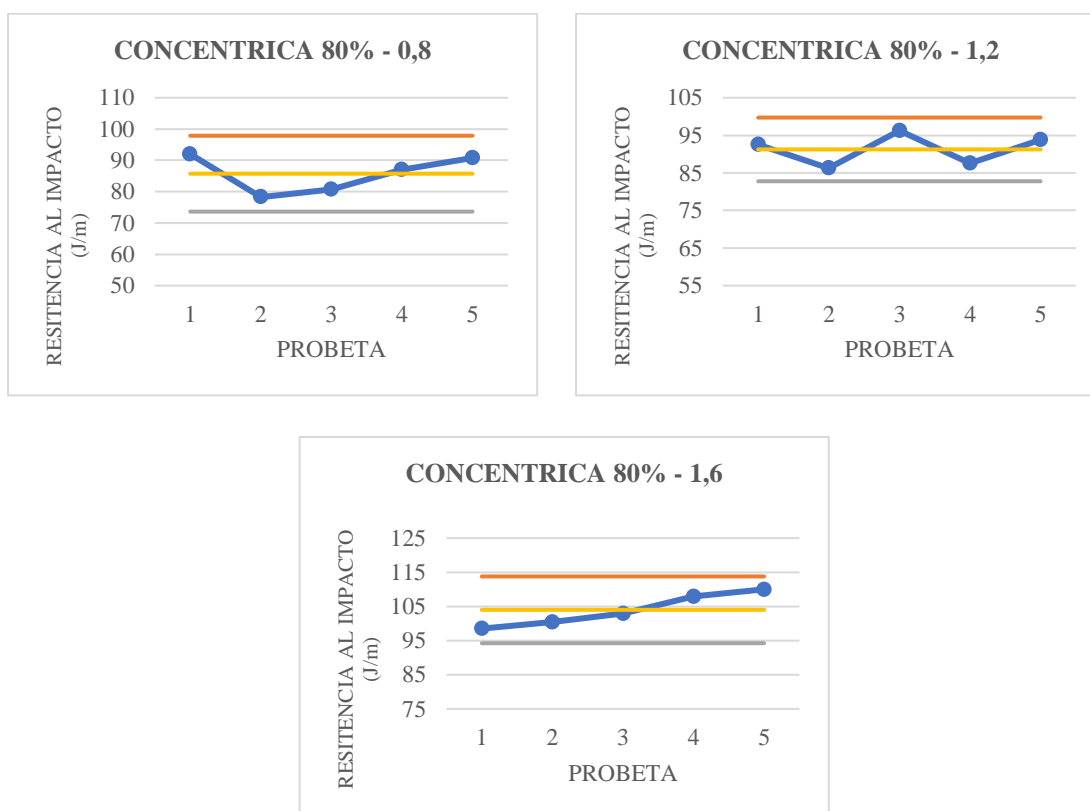


Gráfico 33-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Concéntrica al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 34-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Cubica al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Ensayo \ Espesor de pared	ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
	0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1	43,75	53,75	62,5
N.2	57,5	56,25	53,75
N.3	51,25	53,75	61,25
N.4	47,5	48,75	58,75
N.5	55	57,5	63,75
Media (\bar{x})	51	54	60
D. Estándar (s)	5,5480	3,354	3,952

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021



Gráfico 34-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Cúbica al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 35-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Zigzag al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

Espesor de pared Ensayo		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
		0.8mm	1.2mm	1.6mm
N.1		61,25	75	90
N.2		55	81,25	91,25
N.3		61,25	83,75	93,75
N.4		62,5	78,75	96,25
N.5		63,75	81,25	97,5
Media (\bar{x})		60,75	80	93,75
D. Estándar (s)		3,377	3,307	3,186

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

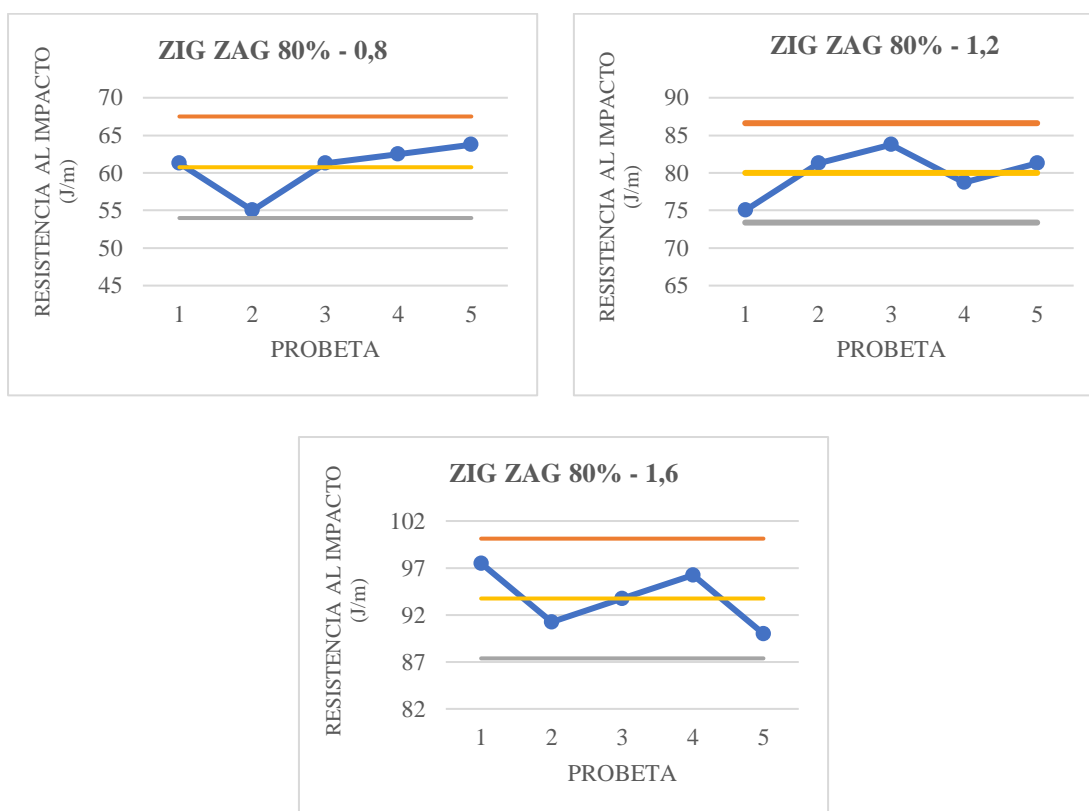


Gráfico 35-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Zigzag al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

Tabla 36-4: Resistencia al impacto de las probetas PLA, mallado Rejilla al 80%, con espesores de 0.8, 1.2, y 1.6mm

		ENERGIA DE IMPACTO (J/m)		
Ensayo	Esesor de pared	0.8mm	1.2mm	1.6mm
	N.1		47,5	57,5
N.2		56,25	60	78,75
N.3		48,75	48,75	70
N.4		52,5	66,25	68,75
N.5		55	68,75	68,75
Media (\bar{x})		52	60,25	70
D. Estándar (s)		3,811	7,876	5,448

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

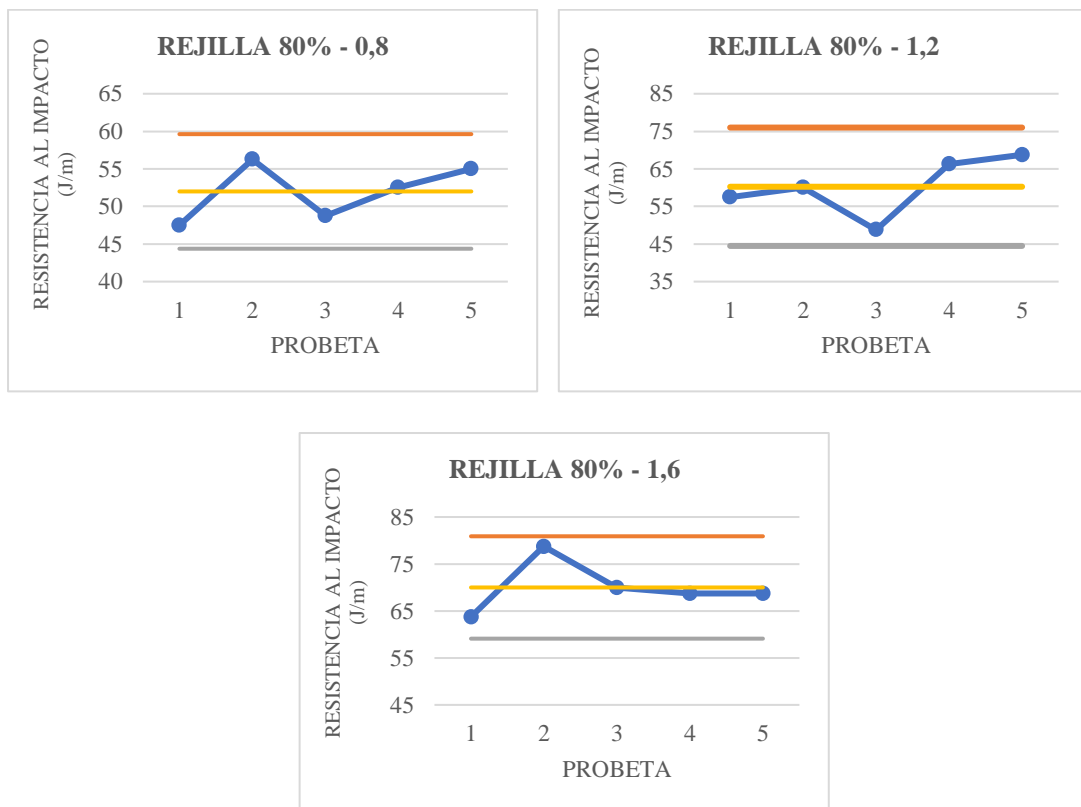


Gráfico 36-4: Gráficos de control de la energía de impacto en las probetas de PLA, mallado Rejilla al 80% relleno y 0.8; 1.2 y 1.6 mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2.7. Análisis de la Resiliencia respecto al Espesor de Pared, para los 6 patrones al 30% – 60% - 80% de Relleno en ABS.

En el Gráfico 37-4, presenta la comparación de la resiliencia para las 6 mallados, al variar su espesor de pared, con un 30% de relleno, se observó que cada mallado presenta un comportamiento creciente semi lineal.

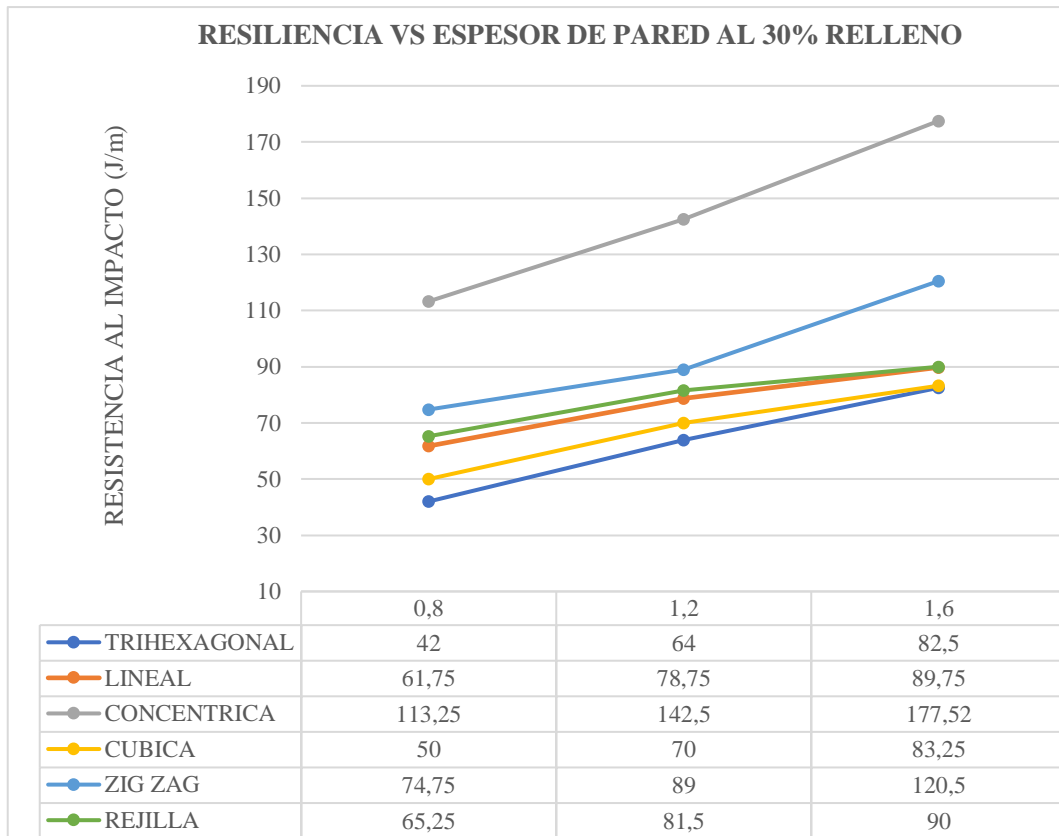


Gráfico 37-4: Resiliencia vs Espesor de pared al 30% de relleno en ABS.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En la Tabla 37-4, en donde se detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, siendo 1, la más resistente y 6 la que menos resiliencia presenta, la comparación se la realizó variando su espesor de pared en 0.4mm, con un porcentaje de 30% de relleno, para lo cual se identificó que el mallado tipo concéntrico presenta la mayor resistencia al impacto, seguido de la configuración Zigzag, además se encontró que la configuración con menos resiliencia es la malla Trihexagonal, en general se puede decir que al aumentar el espesor de pared de 0,8mm a 1,2 mm para el 30% de relleno en las probetas, la resiliencia aumenta en un 29,17% y de 1.2mm a 1.6mm aumenta un 22,4%.

Tabla 37-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 30% de relleno en probetas ABS

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL ESPESOR DE PARED EN LAS PROBETAS ABS AL 30% DE RELLENO						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	42	6	64	6	82,5	6
LINEAL	61,75	4	78,75	4	89,75	5
CONCENTRICA	113,25	1	142,5	1	177,52	1
CUBICA	50	5	70	5	83,25	4
ZIGZAG	74,75	2	89	2	120,5	2
REJILLA	65,25	3	81,5	3	90	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En el Gráfico 38-4, presenta la resiliencia para seis configuraciones al variar su espesor de pared, dentro de un 60% de relleno, se observó que cada mallado presenta un comportamiento creciente semi lineal.

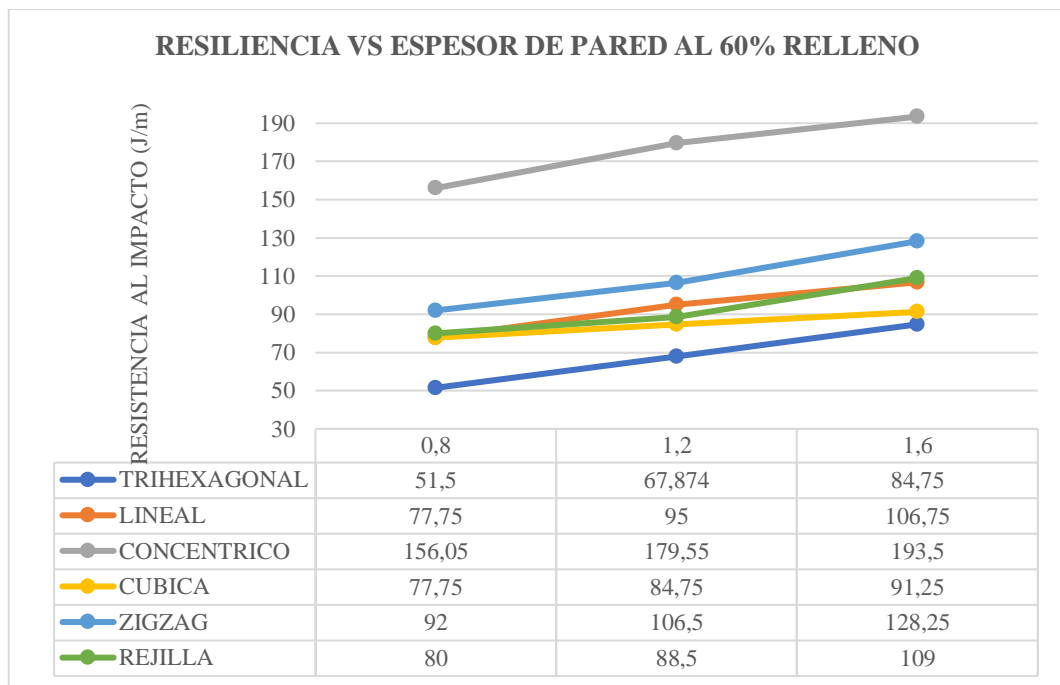


Gráfico 38-4: Resiliencia vs Espesor de pared al 60% de relleno en ABS.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

La Tabla 38-4, detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, siendo 1, variando su espesor de pared en 0.4mm, con un porcentaje de 60% de relleno, para lo cual se identificó que el mallado concéntrico posee la mayor resistencia al impacto, seguido el mallado cubico, y con menos resiliencia el mallado trihexagonal, se concluyó que al aumentar el espesor de pared de 0,8

a 1,2mm para el 60% de relleno, la resiliencia aumenta en un 16,28% y de 1.2 a 1.6mm aumenta un 14,68%.

Tabla 38-4: Análisis de Resiliencia – Espesor de pared al 60% de relleno en probetas ABS

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL ESPESOR DE PARED EN LAS PROBETAS ABS AL 60% DE RELLENO						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	51,5	6	67,87	6	84,75	6
LINEAL	77,75	4	95	3	106,75	4
CONCENTRICA	156,05	1	179,55	1	193,5	1
CUBICA	77,75	5	84,75	5	91,25	5
ZIGZAG	92	2	106,5	2	128,25	2
REJILLA	80	3	88,5	4	109	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En el Gráfico 39-4, presenta la resiliencia para las 6 configuraciones al variar su espesor de pared, dentro de un 60% de relleno, se observó que cada mallado tiene un comportamiento creciente semi lineal.

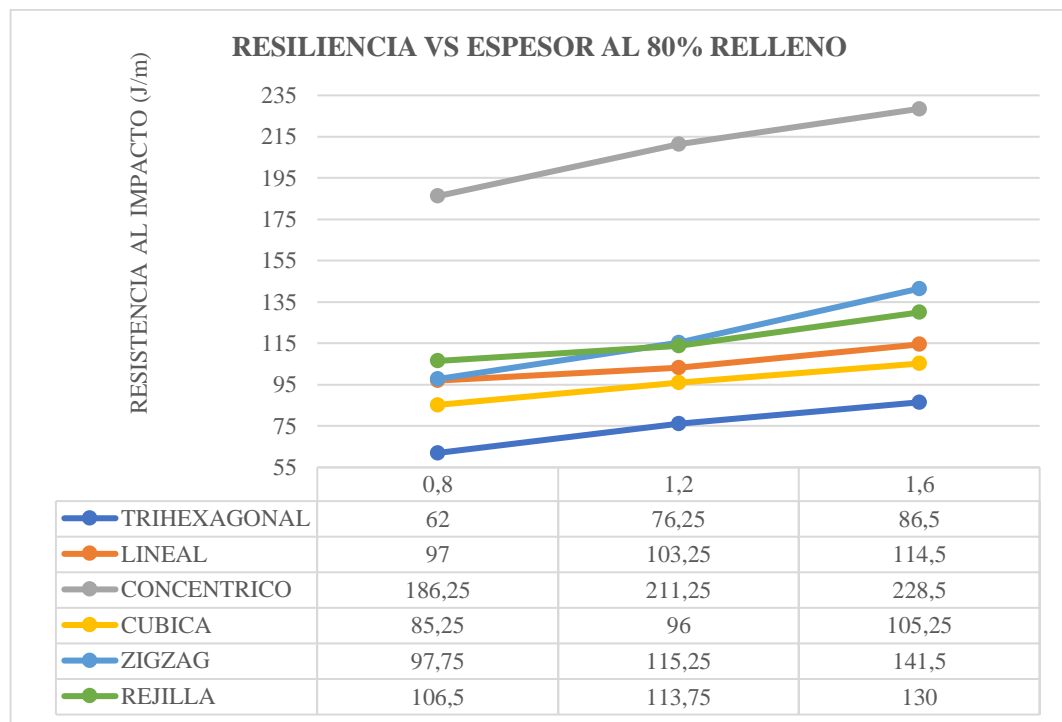


Gráfico 39-4: Resiliencia vs Espesor de pared al 80% de relleno en ABS.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

La Tabla 39-4, presenta la resistencia al impacto, dando una puntuación del 1 al 6, siendo 1, la más resistente y 6 la que menos resiliencia presenta, variando su espesor de pared en 0.4mm, con 80% de relleno; el mallado concéntrico presenta la mayor resistencia al impacto, seguido el mallado cubico y lineal, y con menos resiliencia el mallado trihexagonal, se concluyó que al

aumentar el espesor de pared de 0,8 a 1,2mm para el 80% de relleno, la resiliencia aumenta en un 12,76% y de 1.2 a 1.6mm aumenta un 12,64%.

Tabla 39-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 80% de relleno en probetas ABS

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL ESPESOR DE PARED EN LAS PROBETAS ABS AL 80% DE RELLENO						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	62	6	76,25	6	86,5	6
LINEAL	97	4	103,25	4	114,5	5
CONCENTRICA	186,25	1	211,25	1	228,5	1
CUBICA	85,25	5	96	5	105,25	4
ZIGZAG	97,75	2	115,25	2	141,5	2
REJILLA	106,5	3	113,75	3	130	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2.8. Análisis de la Resiliencia respecto porcentaje de relleno, para los 6 patrones a 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor en ABS.

El Gráfico 40-4, presenta la resiliencia para 6 mallados al variar su porcentaje de relleno en 30%, 60% y 80%, con espesor de 0,8mm, se observó que cada mallado tiene una conducta creciente semi lineal.

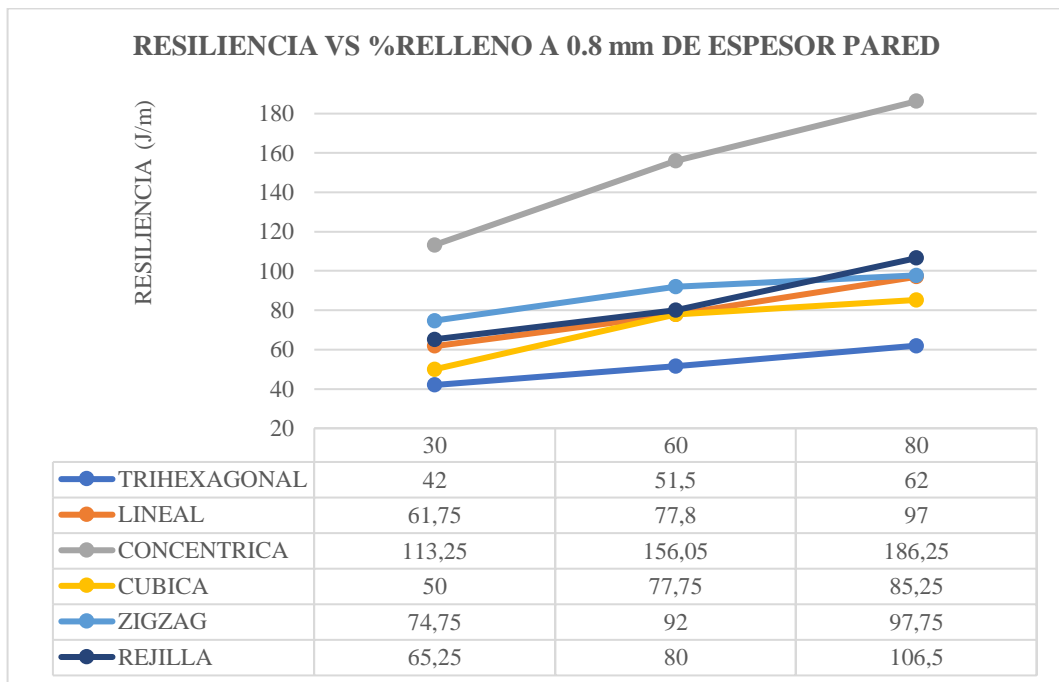


Gráfico 40-4: Resiliencia vs Porcentaje de Relleno espesor a 0.8mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En la Tabla 40-4, detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, variando su porcentaje de relleno al 30%, 60% y 80%, con un espesor de pared de 0,8mm, verificando que el mallado concéntrico tiene mayor absorción de energía al impacto, seguido del mallado cubica y con menos resiliencia el mallado trihexagonal, se determinó que al aumentar el porcentaje de relleno de 30% a 60% para el 0.8 mm de espesor, la resiliencia aumenta en un 31,47 % y de 1.2 a 1.6mm aumenta un 18,62%.

Tabla 40-4: Resiliencia – porcentaje de relleno, con 0.8mm de espesor en probetas ABS.

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL PORCENTAJE DE RELLENO EN LAS PROBETAS ABS CON 0.8mm DE ESPESOR DE PARED						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	42	6	51,5	6	62	6
LINEAL	61,75	4	77,8	4	97	5
CONCENTRICA	113,25	1	156,05	1	186,25	1
CUBICA	50	5	77,75	5	85,25	4
ZIGZAG	74,75	2	92	2	97,75	2
REJILLA	65,25	3	80	3	106,5	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

El Gráfico 41-4, presenta la resiliencia para los seis mallados, al variar el porcentaje de relleno en 30%, 60% y 80%, dentro de un espesor de pared de 1.2mm, se observó que cada configuración presenta un comportamiento creciente semi lineal, al variar su espesor de pared.

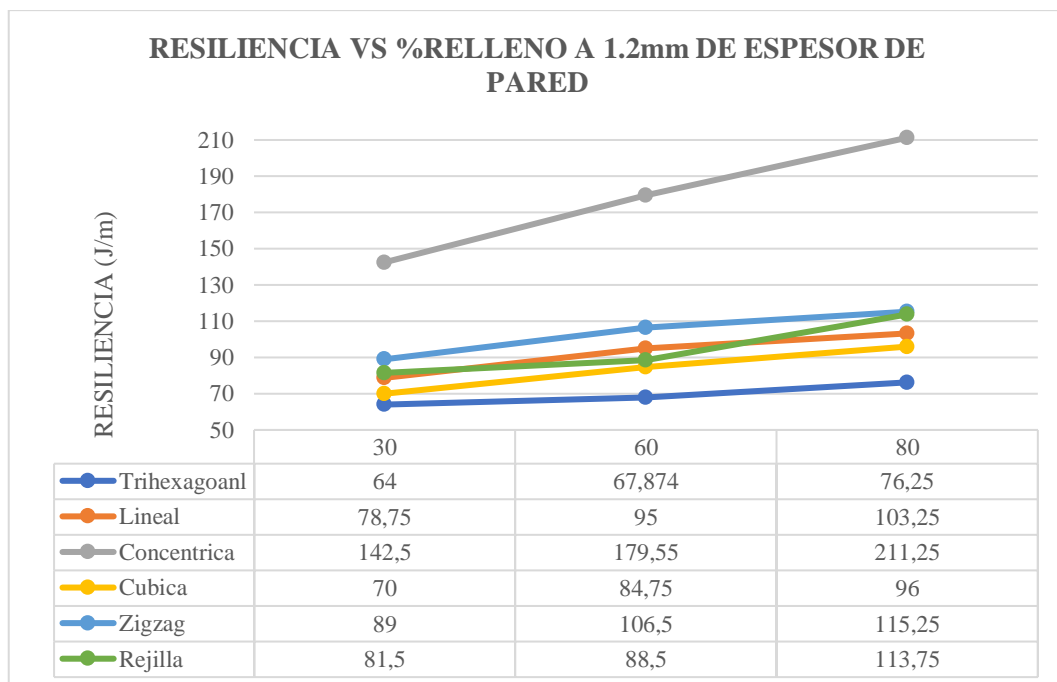


Gráfico 41-4: Resiliencia vs Porcentaje de Relleno a 1.2mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En la Tabla 41-4, detalla la resistencia al impacto, variando su porcentaje de relleno en 30%, 60% y 80%, con un espesor de pared de 1.2mm, para lo cual se identificó que el mallado tipo concéntrico presenta la mayor absorción de energía al impacto, seguido de la configuración cubica y lineal, y con menos resiliencia es la malla Trihexagonal, concluyendo al aumentar el porcentaje en 1.2 mm de espesor en las probetas, la resiliencia aumenta en un 18,34 % y de 1.2mm a 1.6mm aumenta un 15,04%.

Tabla 41-4: Análisis Resiliencia – porcentaje de relleno a 1.2mm de espesor en probetas ABS

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL PORCENTAJE DE RELLENO EN LAS PROBETAS ABS CON 1.2mm DE ESPESOR DE PARED						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	64	6	67,87	6	76,25	6
LINEAL	78,75	4	95	4	103,25	5
CONCENTRICA	142,5	1	179,55	1	211,25	1
CUBICA	70	5	84,75	5	96	4
ZIGZAG	89	2	106,5	2	115,25	2
REJILLA	81,5	3	88,5	3	113,75	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En el Gráfico 42-4 se presenta la comparación de la resiliencia para las 6 configuraciones al variar su espesor de pared, dentro de un 60% de relleno, cada configuración presenta un comportamiento creciente semi lineal, al variar su espesor de pared.

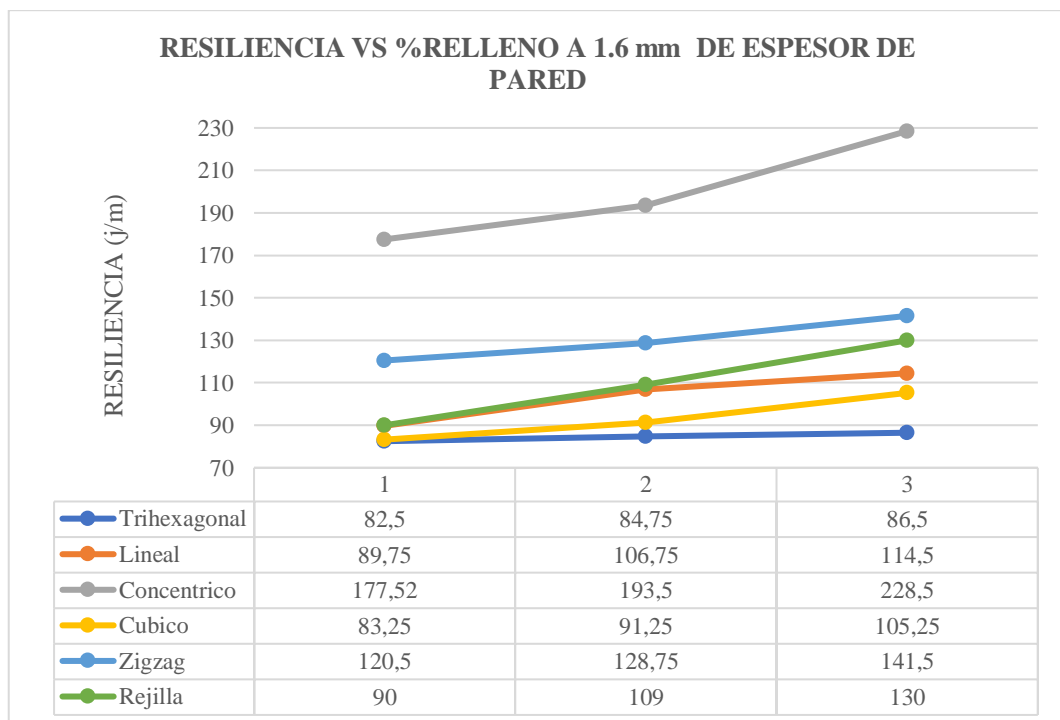


Gráfico 42-4: Resiliencia vs porcentaje de relleno a 1.6mm de espesor de pared.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En la Tabla 42-4, se detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, siendo 1, la más resistente y 6 la menos resistente, variando su espesor de pared en 0.4mm, con un porcentaje de 30% de relleno, para lo cual se identificó que el mallado tipo concéntrico presenta la mayor absorción de energía al impacto.

Tabla 42-4: Análisis de Resiliencia – porcentaje de relleno a 1.6mm de espesor en probetas ABS

	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL PORCENTAJE DE RELLENO EN LAS PROBETAS ABS CON 1.6mm DE ESPESOR DE PARED					
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	82,5	6	84,75	6	86,5	6
LINEAL	89,75	4	106,75	4	114,5	5
CONCENTRICA	177,52	1	193,5	1	228,5	1
CUBICA	83,25	5	91,25	5	105,25	4
ZIGZAG	120,5	2	128,75	2	141,5	2
REJILLA	90	3	109	3	130	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2.9. Análisis de la Resiliencia respecto al Espesor de Pared, para los 6 patrones al 30% – 60% - 80% de Relleno en PLA.

En el Gráfico 43-4, detalla la resiliencia para las 6 configuraciones al variar su espesor de pared, con 30% de relleno, se observó una creciente semi lineal, al variar su espesor de pared.

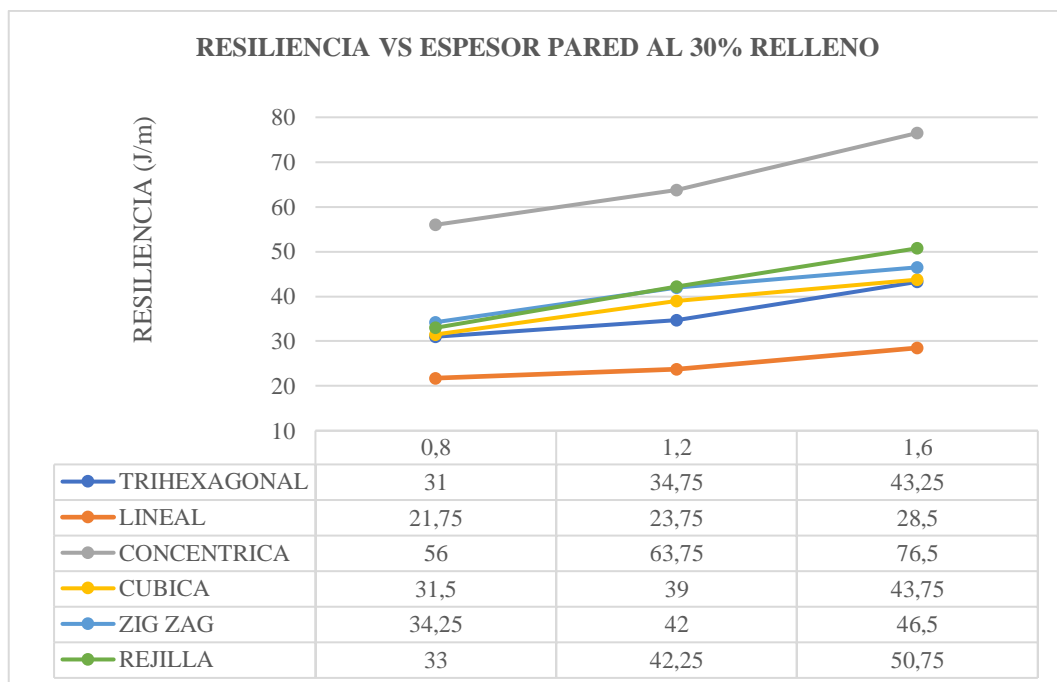


Gráfico 43-4: Resiliencia vs Espesor de pared al 30% de relleno en PLA.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En la Tabla 43-4, detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, siendo 1, con un porcentaje de 30% de relleno; se verificó que el mallado concéntrico presenta la mayor absorción de energía al impacto, seguido el mallado zigzag, y con menos resiliencia el mallado lineal, se concluyó que al aumentar el espesor de pared de 0,8 a 1,2mm con 30% de relleno, la resiliencia aumenta en un 18,31% y de 1.2 a 1.6mm aumenta un 17,82%.

Tabla 43-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 30% de relleno en probetas PLA

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL ESPESOR DE PARED EN LAS PROBETAS PLA AL 30% DE RELLENO						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	31	5	34,75	5	43,25	5
LINEAL	21,75	6	23,75	6	28,5	6
CONCENTRICA	56	1	63,75	1	76,5	1
CUBICA	31,5	4	39	4	43,75	4
ZIGZAG	34,25	2	42	2	46,5	2
REJILLA	33	3	42,25	3	50,75	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En el Gráfico 44-4 presenta la resiliencia para los seis mallados al variar su espesor de pared, con 60% de relleno, se observó un comportamiento creciente semi lineal, al variar su espesor de pared.

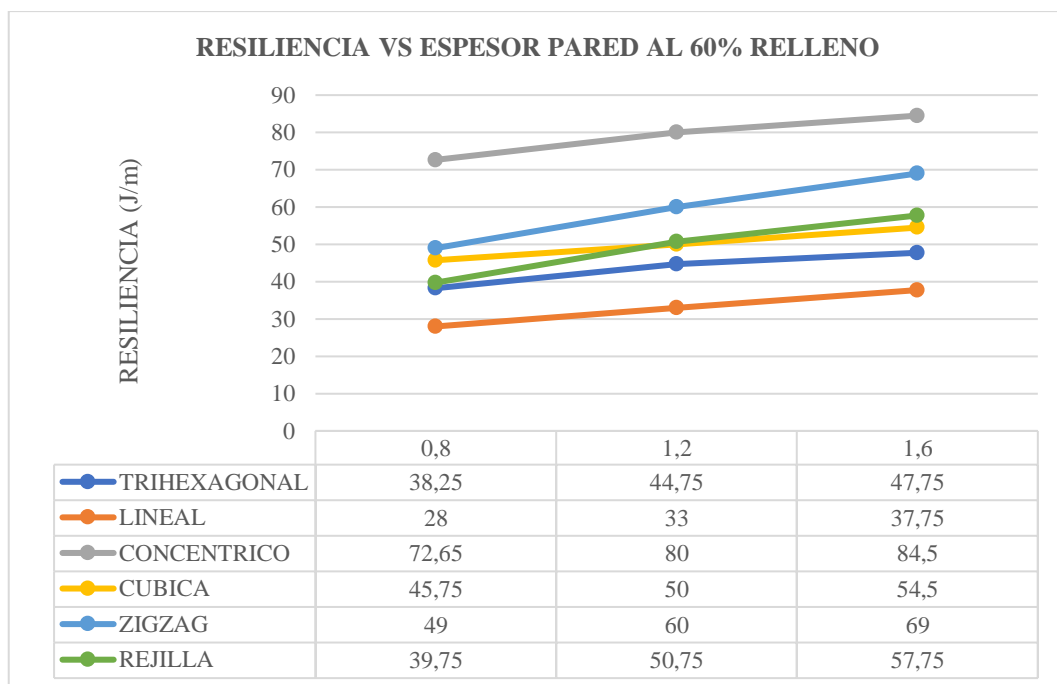


Gráfico 44-4: Resiliencia vs Espesor de pared al 60% de relleno en PLA.

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En la Tabla 44-4, detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, la comparación se la realizo variando su espesor de pared cada 0.4mm, con un 60% de relleno; se identificó que el mallado tipo concéntrico presenta la mayor absorción de energía al impacto, seguido de la configuración zigzag, además se encontró que la configuración con menos resiliencia es la lineal, se concluyó que al aumentar el espesor de pared de 0,8mm a 1,2 mm para el 60% de relleno en las probetas, la resiliencia aumenta en un 16,50% y de 1.2mm a 1.6mm aumenta un 10,28%.

Tabla 44-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 60% de relleno en probetas PLA

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL ESPESOR DE PARED EN LAS PROBETAS PLA AL 60% DE RELLENO						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHExAGONAL	38,25	5	44,75	5	47,75	5
LINEAL	28	6	33	6	37,75	6
CONCENTRICA	72,65	1	80	1	84,5	1
CUBICA	45,75	3	50	4	54,5	4
ZIGZAG	49	2	60	2	69	2
REJILLA	39,75	4	50,75	3	57,75	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

El Gráfico 45-4, se presenta la resiliencia para los seis mallados al variar su espesor de pared, con 80% de relleno, se observó comportamiento creciente semi lineal, al variar su espesor de pared.

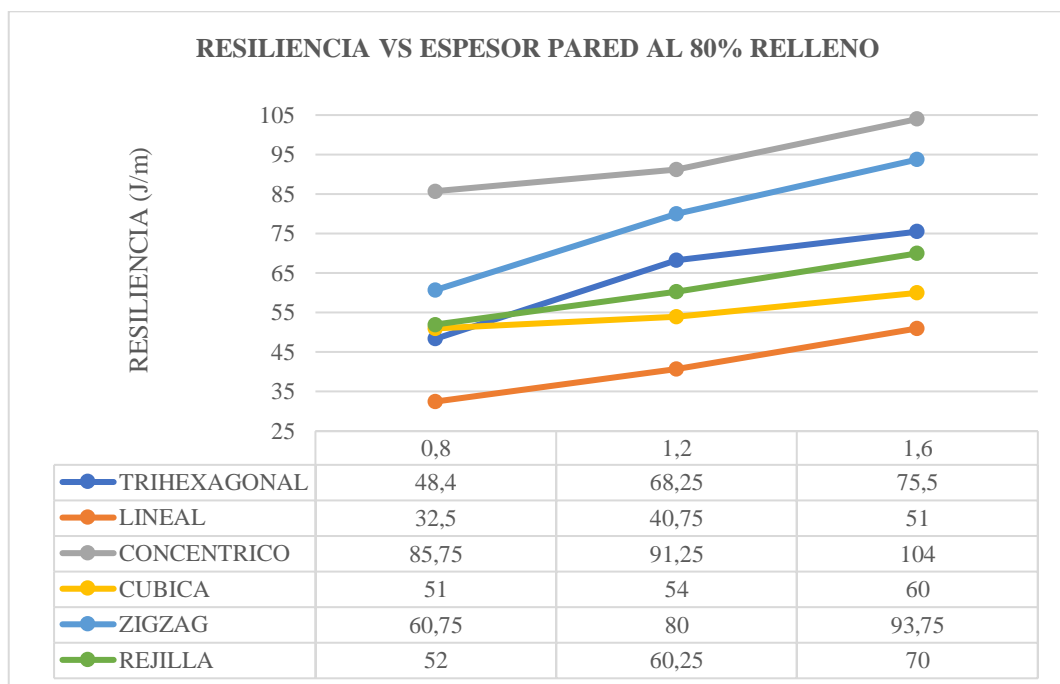


Gráfico 45-4: Resiliencia vs Espesor de pared al 80% de relleno en PLA

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

En la Tabla 45-4, se detalla la resistencia al impacto, variando su espesor de pared con el 80% de relleno, el mallado concéntrico posee la mayor resistencia impacto, seguido del mallado zigzag, y con menos resiliencia el mallado lineal, se concluyó al aumentar el espesor de 0,8 a 1,2mm con 60% de relleno, la resiliencia aumenta en un 19,4% y de 1.2 a 1.6mm aumenta un 9,44%.

Tabla 45-4: Análisis de Resiliencia – espesor de pared al 80% de relleno en probetas PLA

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL ESPESOR DE PARED EN LAS PROBETAS PLA AL 80% DE RELLENO						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	48,4	5	68,25	3	75,5	3
LINEAL	32,5	6	40,75	6	28,5	6
CONCENTRICA	85,75	1	91,25	1	104	1
CUBICA	51	4	54	5	60	5
ZIGZAG	60,75	2	80	2	93,75	2
REJILLA	52	3	60,25	4	70	4

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

4.2.10. Análisis de la Resiliencia respecto porcentaje de relleno, para los 6 patrones a 0.8, 1.2, 1.6 mm de espesor en PLA.

En el Gráfico 46-4, muestra la resiliencia para los seis mallados al variar su porcentaje de relleno, con 0.8mm de espesor de pared, cada mallado posee un comportamiento creciente semi lineal.

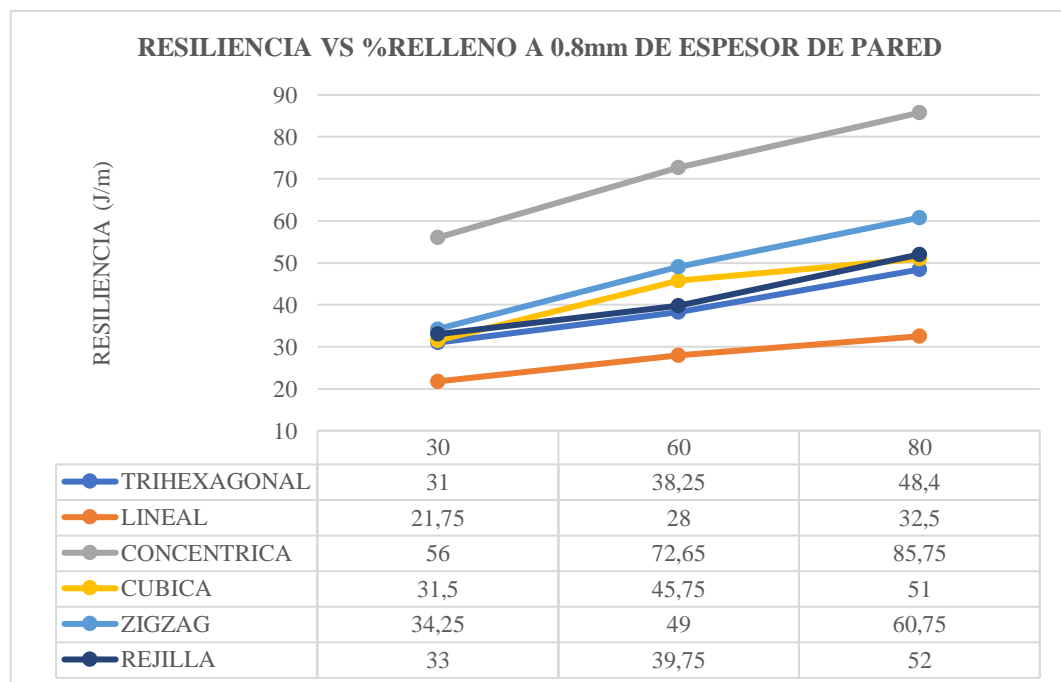


Gráfico 46-4: Resiliencia vs Porcentaje de relleno a 0.8mm de espesor de pared en PLA

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

La Tabla 46-4, detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, la comparación se la realizo variando el relleno en 30%, 60% y 80%, con un espesor de 0.8mm, el mallado concéntrico posee mayor resistencia al impacto, seguido el mallado zigzag y con menos el mallado lineal, al aumentar el porcentaje de relleno de 30% a 60% para el 0.8 mm de espesor, la resiliencia aumenta en un 31,76% y de 1.2 a 1.6mm aumenta un 20,85%.

Tabla 46-4: Análisis de Resiliencia – Porcentaje de relleno a 0.8mm de espesor de pared en PLA

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL PORCENTAJE DE RELLENO EN LAS PROBETAS PLA CON 0.8mm DE ESPESOR DE PARED						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	31	5	38,25	5	48,4	5
LINEAL	21,75	6	28	6	32,5	6
CONCENTRICA	56	1	72,65	1	85,75	1
CUBICA	31,5	4	45,75	3	51	4
ZIGZAG	34,25	2	49	2	60,75	2
REJILLA	33	3	39,75	4	52	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

El Gráfico 47-4, presenta la resiliencia para los 6 mallados al variar su porcentaje de relleno, con 1.2mm de espesor de pared, cada mallado posee un comportamiento creciente semi lineal.

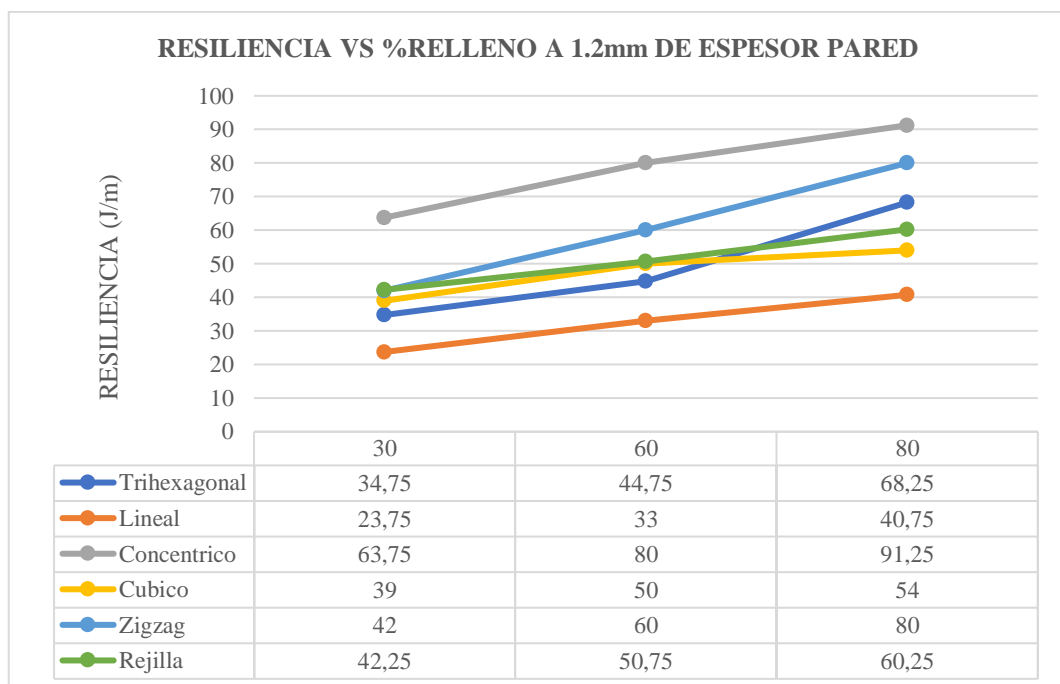


Gráfico 47-4: Resiliencia vs Porcentaje de relleno a 1.2mm de espesor de pared en PLA

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

La Tabla 47-4, detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, variando su porcentaje de relleno en 30%, 60% y 80%, con un espesor de 1.2mm, se identificó que el mallado concéntrico posee mayor absorción de energía al impacto, seguido el mallado zigzag, y con menos resiliencia el mallado lineal, se concluyó, al aumentar el porcentaje de relleno de 30% a 60% la resiliencia aumenta en un 29.73% y de 1.2 a 1.6mm aumenta un 23,86%.

Tabla 47-4: Análisis de Resiliencia – Porcentaje de relleno a 1.2mm de espesor de pared en PLA

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL PORCENTAJE DE RELLENO EN LAS PROBETAS PLA CON 1.2mm DE ESPESOR DE PARED						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	34,75	5	44,75	5	68,25	3
LINEAL	23,75	6	33	6	40,75	6
CONCENTRICA	63,75	1	80	1	91,25	1
CUBICA	39	4	50	4	54	5
ZIGZAG	42	3	60	2	80	2
REJILLA	42,25	2	50,75	3	60,25	4

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

El Gráfico 48-4, presenta la resiliencia para los seis mallados al variar su porcentaje de relleno, con 1.6 mm de espesor de pared, se observó que cada mallado presenta un comportamiento creciente semi lineal.

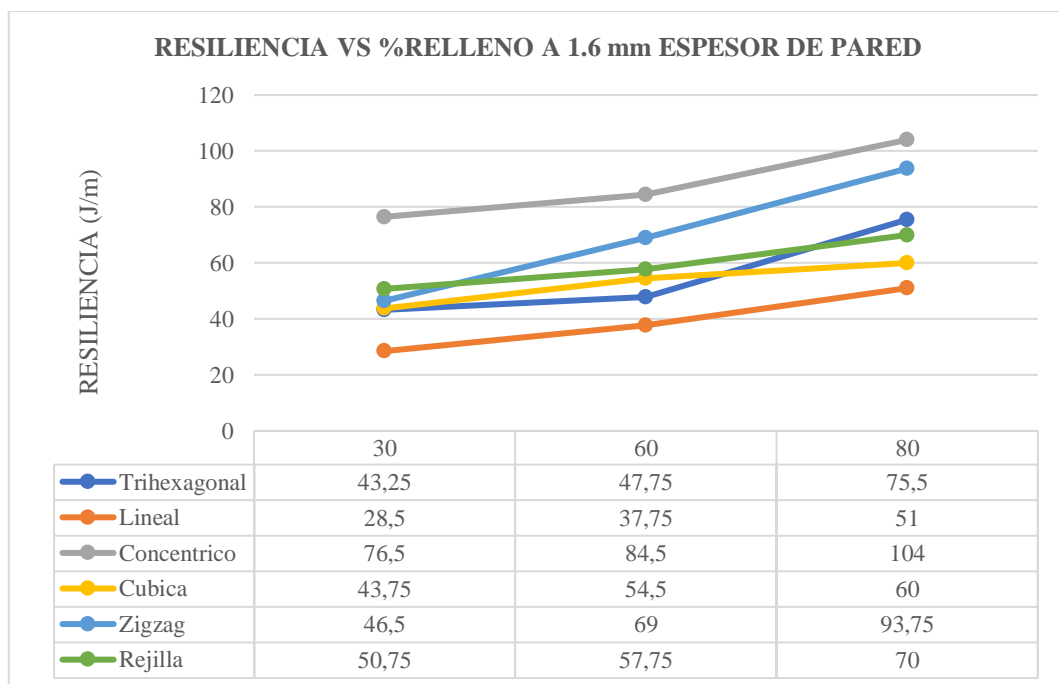


Gráfico 48-4: Resiliencia vs Porcentaje de relleno a 1.6mm de espesor de pared en PLA

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

La Tabla 48-4, se detalla la resistencia al impacto con una puntuación del 1 al 6, el análisis se realizó variando su espesor de pared, con 30% de relleno; el mallado concéntrico presentó la mayor absorción de energía al impacto, seguido del mallado zigzag, y con menos resiliencia es la malla lineal, se concluyó que al aumentar el porcentaje de relleno de 30% a 60% para 1.2mm de espesor, la resiliencia aumenta en un 21,43% y de 1.2 a 1.6mm aumenta un 29,32%.

Tabla 48-4: Análisis de Resiliencia – Porcentaje de relleno a 1.6mm de espesor de pared.

ANALISIS DE RESULTADOS DE LA RESILIENCIA AL VARIAR EL PORCENTAJE DE RELLENO EN LAS PROBETAS PLA CON 1.6mm DE ESPESOR DE PARED						
	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia	E. Impacto (J/mm)	Comparación de resiliencia
	0.8mm	MAXIMO/MINIMO	1.2mm	MAXIMO/MINIMO	1.6mm	MAXIMO/MINIMO
TRIHEXAGONAL	43,25	5	47,75	5	75,5	5
LINEAL	28,5	6	37,75	6	51	6
CONCENTRICA	76,5	1	84,5	1	104	1
CUBICA	43,75	4	54,5	4	60	4
ZIGZAG	46,5	2	69	2	93,75	2
REJILLA	50,75	3	57,75	3	70	3

Realizado por: Arias, M.; López, D. 2021

CONCLUSIONES

- Después de analizar los resultados obtenidos en las probetas de ABS se encontró que el mallado tipo concéntrico tuvo la mejor resistencia al impacto al conformarse de forma transversal, en los tres distintos porcentajes, obteniendo una resiliencia de 113.25 [J/m], 156.05[J/m] y 186.25[J/m] para los porcentajes de 30%, 60% y 80% de relleno a 0.8 mm de espesor de pared, estos valores fueron aumentando a medida que el espesor de pared aumentaba.
- Los resultados de las probetas ABS mostraron que la configuración concéntrica presentó la más alta resiliencia al variar su espesor de pared al conformarse de forma transversal, con unos valores de 113.25 [J/m], 142.5[J/m] y 177.52[J/m] para espesores de 0.8mm, 1.2mm y 1.6mm respectivamente, en un porcentaje de 30% de relleno, estos valores fueron aumentando a medida que el porcentaje de relleno aumentó.
- Por medio de los datos obtenidos en las probetas de PLA, se encontró que la configuración con mayor resistencia al impacto al variar su porcentaje de relleno es la malla concéntrica al conformarse de forma transversal, que presentó una resiliencia de 56 [J/m], 72,65 [J/m] y 85,75 [J/m] para los porcentajes de 30%, 60% y 80% respectivamente, a 0.8 mm de espesor de pared, estos valores fueron aumentando a medida que el espesor de pared aumentaba.
- El análisis de la resistencia al impacto en las probetas de PLA, variando su espesor de pared, marcó a la configuración concéntrica como la de mayor resiliencia al conformarse de forma transversal, con unos valores de 56 [J/m], 64.75 [J/m] y 76.5 [J/m] para espesores de 0.8mm, 1.2mm y 1.6mm con porcentajes de 30% de relleno, estos valores fueron aumentando a medida que el porcentaje de relleno aumentó.
- Los resultados de la resiliencia en las probetas ABS y PLA, mostraron una relación directa entre el aumento del porcentaje de relleno y energía de impacto.
- Por medio del análisis de los datos obtenidos en las probetas de ABS y PLA también se mostró que existe una relación directa entre el aumento del espesor de pared y la energía de impacto.

- Para las probetas de ABS, al aumentar su porcentaje de relleno de un 30% a 60%, se encontró un aumento de su resiliencia en un 31.47% y al aumentar su relleno de 60% a 80%, se produce un incremento del 18.62%, bajo las condiciones normales de impresión con un espesor de capa de 0.8mm
- En las probetas de PLA, se registró que al aumentar su porcentaje de relleno de 30% a 60% se dio un incremento de resistencia al impacto en un 31.47% y al aumentar su relleno de 60% a 80%, la resiliencia incremento en un 20.85%, todo esto bajo un espesor de capa estándar de 08mm
- Se concluye que para tener un objeto impreso en 3D independientemente del material (ABS o PLA), que requiera buenas propiedades mecánicas de tenacidad, se debe tomar en cuenta principalmente el tipo de configuración y el porcentaje de relleno, el espesor de pared también ayudará a incrementar este valor, sin embargo, al tener impresiones muy voluminosas, esta variable se verá superada por las otras dos.
- Los resultados mostraron que los mallados no reaccionan del todo igual al variar el tipo de material, en el caso del ABS la configuración con menos resiliencia es la Trihexagonal, mientras que en el PLA las menos tenas es el mallado tipo Lineal.
- Los tipos de mallado no deben ser descartados por falta o exceso de una propiedad mecánica, puesto que existen otros factores a tomar en cuenta que pueden hacer que una configuración sobresalga por encima de las demás, el tiempo de impresión la cantidad de material, el tipo de boquilla etc., serán factores que variaran su correcta y optima selección, principalmente en impresiones muy volumétricas.
- Se concluye que el material ABS presenta valores más altos de resiliencia frente al PLA, sin embargo, su impresión es más complicada y sus aplicaciones se ven restringidas, puesto que este al ser un material relativamente toxico, no puede ser utilizada en aplicaciones médicas o alimenticias.

- Los gráficos de control por medio de sus líneas de acotamiento mostraron que todos los datos estaban en un rango de dispersión máxima del 5%, esto por medio de una distribución normal, en donde la confiabilidad obtenida se la hizo en base de 2 desviaciones estándar, asegurándose así una confiabilidad del 95% de los valores obtenidos.

- Se observó que las probetas de PLA presentan una mejor calidad de impresión que las probetas impresas en ABS, además que sus temperaturas de fusión son muy distantes, en el caso del PLA las temperaturas del extrusor y de cama son mucho más bajas que las necesarias en ABS.

RECOMENDACIONES

- Para elaborar el esquema de los prototipos a imprimir (probetas), se necesita un software de diseño CAD 3D, que permita pasar estos archivos a formato STL, motivo por el cual se recomienda el uso del software AutoCAD, que pese a que otros investigadores han reportado que este software ha presentado problemas en su extensión STL, en las versiones más actuales (a partir del 2018) este problema ha sido corregido y funciona de manera correcta, haciendo que este software básico de ingeniería, sea una de las herramientas oportunas para esquematisar los prototipos a imprimir.
- Las impresiones 3D por el método de deposición fundida utiliza códigos G para su impresión, por tal motivo se recomienda el software libre Ultimaker Cura, que permite abrir archivo STL y transformarlos a códigos G, además que este software permite configurar los parámetros de impresión de manera amigable y versátil para el usuario.
- Para la impresora Ender3 pro, así como para la mayoría de las impresoras por el método de deposición de material fundido, se necesita calibrar manualmente la cama de impresión y esta se ira descalibrando a medida que su uso continúe, se recomienda nivelar la mesa de impresión por lo menos cada 5 impresiones, esto con el fin de obtener una distancia homogénea de al menos 1mm entre la punta del extrusor y toda la superficie de impresión.
- Se recomienda ampliar el estudio de la resiliencia en polímeros ABS y PLA, al variar distintos parámetros de configuración, como son temperaturas, otros tipos de mallado, diámetros de extrusor, acabados de impresión, velocidades, etc., que serán variables que podrán alterar las propiedades mecánicas de las impresiones 3D.
- Se recomienda situar la impresora 3D en un lugar aislado de corrientes de viento externas, puesto que estas corrientes de viento frías al chocar con la cama de impresión y el filamento caliente generaran un diferencial de temperatura, mismo que provocará el pandeo de las capas ya impresas (fenómeno denominado Warping), dañando así la geometría de la pieza a imprimir.

- Los filamentos ABS son elastómeros que contienen butadieno en su estructura, un componente que lo vuelve un polímero tóxico cancerígeno e inflamable, muy nocivo para la salud, además que desprende olores fuertes al momento de su fundición, por ende es recomendable un lugar asilado, y lo suficientemente amplio o al menos ventilado para su impresión.
- Existe una gran variedad de colores y marcas de filamento, en las cuales los proveedores indicarán las temperaturas recomendadas para cada tipo, por lo que se recomienda que todos los filamentos a utilizar sean de una misma marca y color, puesto que estos dos factores pueden llegar a influir en sus propiedades mecánicas ya que su temperatura de fusión es variable dependiendo de estos dos factores.
- Para imprimir un mismo tipo de material (ABS o PLA), se debe mantener idéntico los parámetros de impresión, (como son velocidad de impresión, velocidad de desplazamiento, temperatura de impresión, temperatura de la placa de impresión, flujo, etc.), con el objetivo de eliminar incertidumbres, que pueden hacer variar los resultados de la impresión, y por ende afectar los resultados del ensayo.
- Se recomienda limpiar la cama de impresión continuamente, por medio de alcohol, en caso de utilizar una cama de vidrio se recomienda el uso de alcohol o acetona.
- Se recomienda hacer una inspección visual y sonora de la impresora 3D mientras se alista para realizar el conformado del sólido, principalmente en la boquilla del extrusor, puesto que este se sabe llenar de residuos de material fundido, además usualmente se introducen virutas o residuos en los ventiladores del extrusor y en la fuente de poder, y como se trabaja con temperaturas altas (especialmente en el ABS), estas pueden llegar a fundirse y dañar algún componente de la impresora.
- Se recomienda hacer una inspección visual de cada probeta impresa, si es que esta presenta alguna anomalía, se debe descartar y volver a imprimirla.
- Se recomienda seguir los pasos y recomendaciones de la norma ASTM D-6110, así como se recomienda verificar la calibración la máquina cada 3 ensayos.

- Para la máquina de ensayo Charpy, se recomienda comprobar el buen funcionamiento de esta, para esto se procede a colocar el martillo en la posición cero (elevada) y dejarla caer sin ningún espécimen a impactar, se debe verificar que la energía de ensayo sea cero y que no exista ninguna vibración o sonido extraño por parte del péndulo al momento de moverse en caída libre.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM D-6110. *Standard Test Methods for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastic.*

BERMEJO, F. *Propiedades Mecánicas de los Materiales.* [En línea] Bogotá-Colombia: Universidad Antonio Nariño, 2010. [Consulta: 10 noviembre 2020]. Disponible en: <https://fbermejo.files.wordpress.com/2010/02/propiedades-mecanicas.pdf>

BERCHON, M. & LUYT, B. *La impresión 3D: Guía definitiva para makers, diseñadores, estudiantes, profesionales, artistas y manitas en general.* [en línea]. Barcelona-España: Gustavo Gili, 2016. [Consulta: 21 Julio 2020]. Disponible en: https://ggili.com/media/catalog/product/9/7/9788425228544_inside.pdf

CARRO, R. & GONZALEZ, D. *Control estadístico de procesos.* [en línea]. Buenos Aires-Argentina: Universidad Nacional de Mar de Plata, 2012. [Consulta: 31 octubre 2020]. Disponible en: http://nulan.mdp.edu.ar/1617/1/12_control_estadistico.pdf

BITFAB, *Partes de una impresora Ender 3 Pro* [Blog]. [Consulta: 28 diciembre 2020]. Disponible en: <https://bitfab.io/es/blog/partes-impresora-3d/>

BOX3D. *Warping and Cracking with closed environment FDM3D printers.* [en línea]. 2017 [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en: <https://box3d.eu/warping-cracking-closed-environment-3d-printers/>

CASTELO, E. Desarrollo de una prótesis de cadera biomecánica tipo Charnley impresa en PLA para un hombre de 50 años del cantón guano. [en línea] (Trabajo titulación). (Tesis pre-grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016. pp. 1-43. [Consulta: 2020-07-25]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13813>

CASULLERA, A. Estudio de diseño y construcción de una reductora con cambio de velocidad con impresora 3D. [en línea] (Trabajo Titulación). (Tesis pre-grado) Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España, 2018. p. 18 [Consulta: 2020-08-05]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/126516>

CORTÉS, A. Estudio de la viabilidad de la tecnología de impresión 3D aplicada al sector de la construcción naval. [en línea] (Trabajo Titulación). (Tesis pre-grado) Universidad Politécnica Cataluña, Barcelona, España, 2019. pp. 18-34. [Consulta: 2020-08-06]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2117/170170>

CORTEZ, O. “Propiedades que definen los materiales resilientes en arquitectura”. *Revista de arquitectura*, [en línea], 2015, (Colombia) vol. 14, n° 1 pp. 117-126 [Consulta 11 noviembre 2020] ISSN 1692-1399 Disponible en: https://issuu.com/universidadelbosque/docs/rev_tecnologia_ub_vol-14-num-1

CREALITY. *Impresora 3D Ender 3 Pro*. [en línea]. 2018 [Consulta: 21 diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.creality3dofficial.com/collections/top-sell/products/creality-ender-3-pro-3d-printer>

CHAKRAVORTY, D. *Master Cura slicer software settings*. [en línea]. 2020 [Consulta: 19 diciembre 2020]. Disponible en: <https://all3dp.com/1/cura-tutorial-software-slicer-cura-3d/>

DEL MEDICO, A. Propiedades mecánicas de componentes fabricados mediante modelado por deposición fundida. [en línea], (Trabajo de titulación). (Tesis pre-grado). Universidad de La Laguna, San Cristóbal de La Laguna, España. 2017. pp. 18-19 [Consulta: 2020-08-31]. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/5823>

ESCOBAR; et al. “Evaluación de la capacidad de absorción de energía de impacto y dureza en probetas impresas en 3D de PLA y ABS con estructura cúbica y trihexagonal” *Conciencia Digital*. [en línea], 2020, (Ecuador) 3(2), pp. 17-32. [Consulta: 1 enero 2021]. ISSN 2600-5859. Disponible en: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i2.1204>

FARAH, S. & LANGER R. “Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications”. *ScienceDirect* [en línea], 2016, (United State of America) 107, pp. 3-7 [Consulta: 28 agosto 2020]. ISSN 0169-409X Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>

GARCIA; et al. *Metodología para la obtención de la tenacidad de fractura dinámica. aplicación a un acero estructural*. [en línea] Madrid-España: Universidad Politécnica de Madrid, 2010. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en: http://oa.upm.es/8517/1/INVE_MEM_2010_83583.pdf

HERMIDA, E. Guía didáctica [en línea], Buenos Aires - Argentina, Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, 2011. pp. 18-21- [Consulta: 8 agosto 2020]. Disponible en: http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf

HERNANDEZ, D. Comportamiento frente a impacto de polímeros termoplásticos en aplicaciones aeronáuticas: caracterización mecánica del peek. (Trabajo de titulación) (Tesis pre-grado). Universidad Carlos III de Madrid, Madrid-España. 2015. pp5-6. [Consulta: 2020-08-04]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/44311567.pdf>

HERNANDEZ; et al. *Metodología de la Investigación*. [en línea]. 6° ed. México D.F.-México: Mc Graw Hill, 2014. [Consulta: 13 enero 2021]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

MACAS, C. & PILCO, K. Construcción de un modelo de fundición mediante la utilización de tecnología de impresión 3D. [en línea] (Trabajo titulación). (Tesis pre-grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Chimborazo, Ecuador. 2016. p.p. 25-26. [Consulta: 2020-11-15]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/handle/123456789/4676>

MEJÍA, H. “Ventajas y desventajas de las impresoras 3D”. *Revista Tecnológica*. [En línea] 2016, (Bolivia), 12 (18), pp. 30-34. [Consultado: 1 de agosto 2020]. ISSN 1729-7532. Disponible en: http://www.revistasbolivianas.org.bo/pdf/rtft/v12n18/v12n18_a06.pdf

MOLINA, J. Caracterización de materiales termoplásticos de Abs y Pla semi – rígidos impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes. [en línea] (Trabajo titulación). (Maestría) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2016. pp. 1-196. [Consulta: 2020-07-25]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/13064>

RELAÑO, A. Estudio comparativo de piezas de ABS y PLA procesadas mediante modelado por deposición fundida. [en línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, España. 2013. pp. 21-24. [Consulta: 2020-09-05]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10016/18015>

ORTEGA, Y. “Prueba de impacto: ensayo Charpy”. *Revista Mexicana de Física*. [En línea], 2006, (Madrid-España) 52(1), pp. 51-57. [Consulta: 20 noviembre 2020]. ISSN 1870-3542. Disponible en: https://rmf.smf.mx/pdf/rmf-e/52/1/52_1_51.pdf

PACHECO, G. Análisis de tracción de probetas impresas en 3d mediante deposición de hilo fundido de PLA, ABS y PLA/MLO. [En línea] (Trabajo de titulación). (Tesis pre-grado) Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2019. pp. 11-15. [Consulta: 2020-08-25]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17123/1/UPS-CT008182.pdf>

RODRIGUEZ, J. & RESTREPO, D. Elaboración y caracterización de componentes plásticos porosos, mediante impresión 3D para aplicaciones de regeneración ósea. [En línea] (Trabajo Titulación). (Tesis pre-grado) Universidad Santo Tomás, Bogotá, Colombia. 2015. pp. 11-12. [Consulta: 2020-07-21]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11634/474>

RODRIGUEZ, F. Materiales y sus propiedades [en línea], Cuautitlán-México: Unam, 2008, [Consulta: 15 noviembre 2020]. Disponible en: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m1/materiales_1.pdf

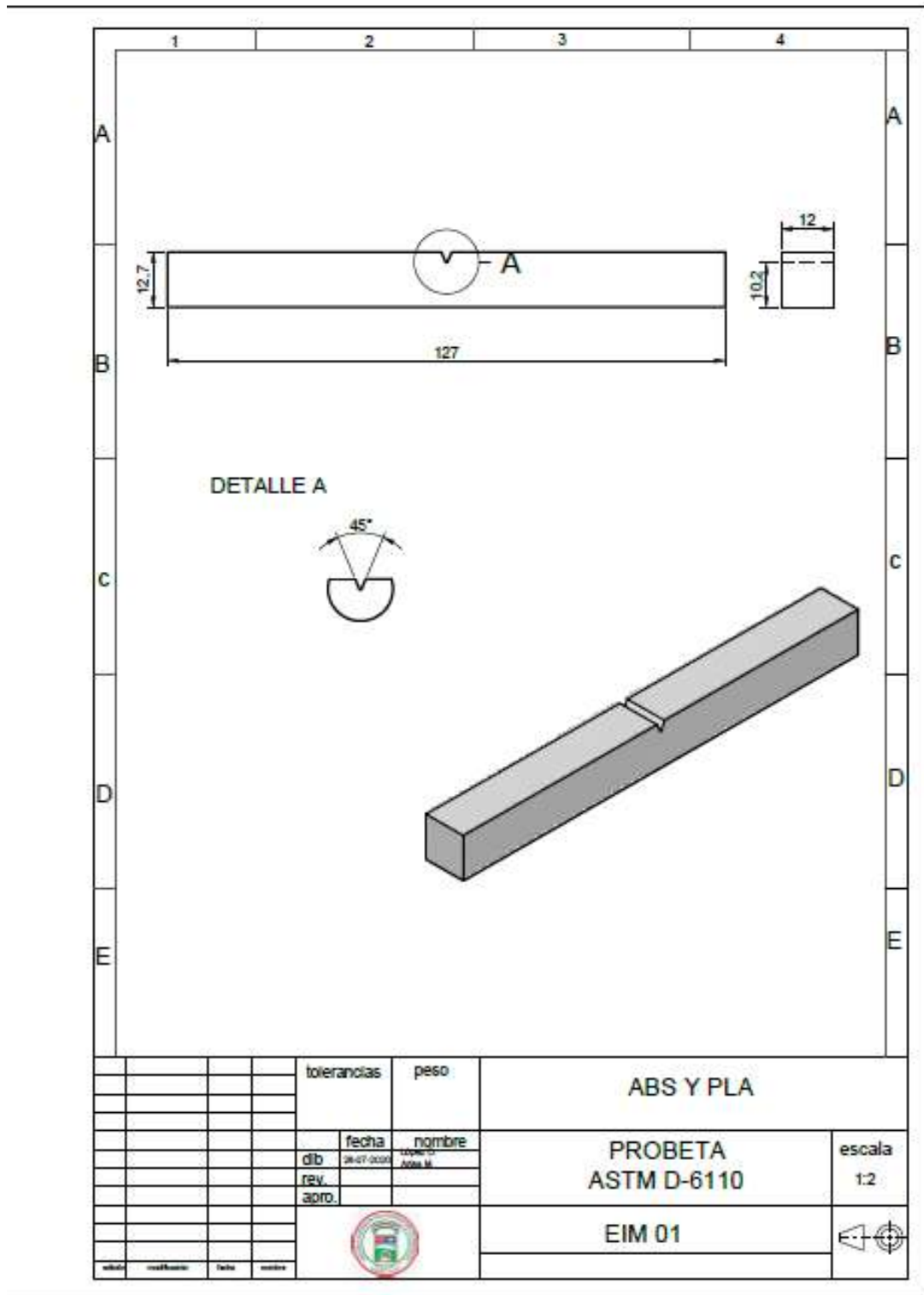
ROMERO, C. & VACA, G. Construcción de una impresora 3d, para la elaboración de objetos plásticos utilizando el método de modelado por deposición fundida (MDF). [en línea] (Trabajo titulación). (Tesis pre-grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 23-24 [Consulta: 2020-08-04]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3804/1/108T0114.pdf>

SANCHEZ, J. Análisis técnico de la rentabilidad de una distribuidora de celular sucursal Plaza Quil. Periodo año 2006. [en línea] (Trabajo Titulación). (Tesis pre-grado). Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2007. p. 19 [Consulta: 2021-01-06]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/39913>

SÁNCHEZ, S. *3Dnatives* [Blog]. [Consulta: 1 agosto 2020]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/impresion-3d-por-estereolitografia-les-explicamos-todo/>

ANEXOS

ANEXO A: PLANO DE LA PROBETA



ANEXO B: MANUAL IMPRESORA ENDER 3D PRO



Ender-3 3D Printer

User Manual



V.2.1

- ◆ This Manual is for the Ender-3 3D printer.
- ◆ Select the correct input voltage to match your local mains (230V or 115V)
- ◆ Because of software/hardware upgrades and model differences, new revisions may not be listed in this guide.
- ◆ Detailed instructions for use are available in the TF card.

Notes

1. Do not use the printer in other wrong ways to avoid personal injury or property damage.
2. Do not place the printer near any heat source or flammable or explosive objects. We suggest placing it in a well-ventilated, low-dust environment.
3. Do not expose the printer to violent vibration or any unstable environment, as this may cause poor print quality.
4. Before using experimental or exotic filaments, we suggest using standard filaments such as ABS or PLA to calibrate and test the machine.
5. Do not use any other power cable except the one supplied. Always use the three-pin plug.
6. Do not touch the nozzle or printing surface during operation as they may be hot. Keep hands away from machine while in use to avoid burns or personal injury.
7. Do not wear gloves or loose clothing when operating the printer. Such cloths may become tangled in the printer's moving parts leading to burns, personal injury, or printer damage.
8. When cleaning debris from the printer **hotend**, always use the provided tools. Do not touch the nozzle directly when heated. This can cause personal injury.
9. Clean the printer frequently. Always turn the power off when cleaning, and wipe with a dry cloth to clean dust, adhesion printing plastics or any other material from the frame, guide rails, or wheels. Use glass cleaner or isopropyl alcohol to clean the print surface before every print for consistent results.
10. Children under the age of 10, should not use the printer without any supervision.

Contents

1. Introduction	1	Software Installation	5
2. Screen Information.....	2	6. Preparing to Print.....	6
3. Loading Filament	3	7. Trouble-Shooting.....	7
4. Bed Levelling	4	8. Circuit Wiring Diagram	8
5.			

Preface

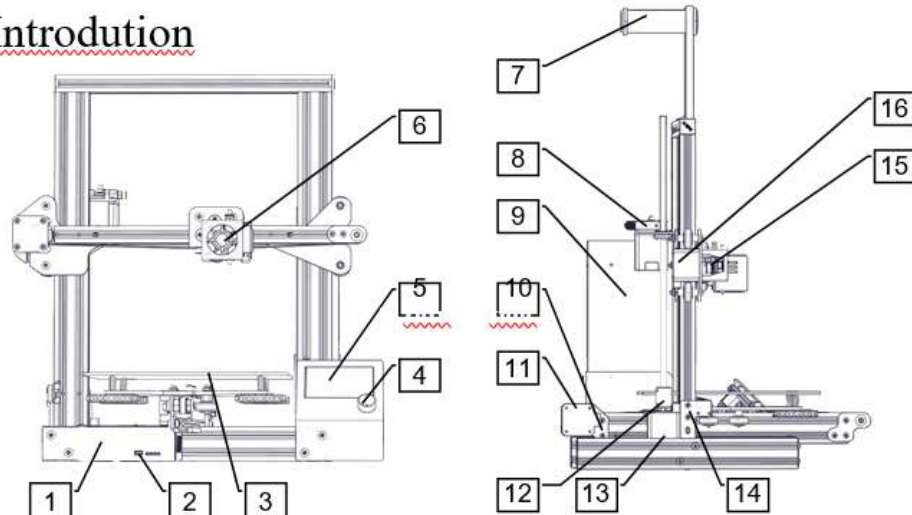
Dear Customers:

Thank you for choosing our products. For the best experience, please read the instructions before operating the Printer. Our 3D team is always ready to provide you with assistance. Please contact us via the phone number or e-mail address provided at the end when you encounter any problem with the Printer.

For a better experience in using our product, you may learn how to use the Printer in the following ways:

1. Learning from the instructions and videos that come with your TF card.
2. Visit our official website www.creality3d.cn. You will find relevant software/hardware information, contact details and operation and maintenance instructions on the website.

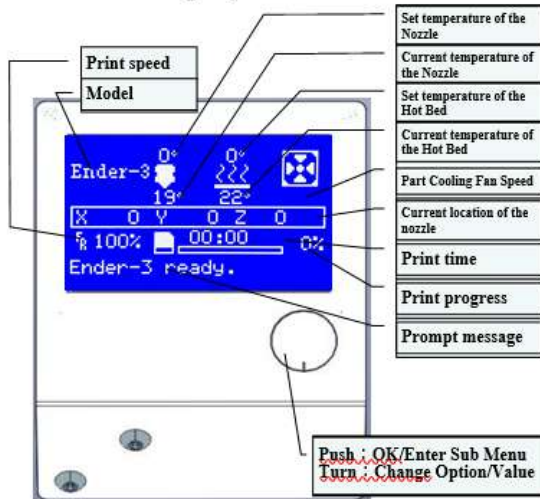
1. Introduction



- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| 1. Control Box | 5. Display | 9. Power | 13. Z Stepper |
| 2. TF Slot and USB Port | 6. Nozzle Assembly | 10. Y Limit Switch | 14. Z Limit Switch |
| 3. Print Surface | 7. Spool Holder | 11. Y Stepper | 15. X Limit Switch |
| 4. Control Knob | 8. Extruder (E) Stepper | 12. Coupling | 16. X Stepper |

2. Screen Information

Information Displayed



Common Functions		
Menu	Sub Menu	Explanation
↑ Info Screen ↑	↑ main ↑	Return
Prepare--	Move axis--	Moving X Y Z axis or Extruder by given value
	Auto home	Return to the origin
	Set home offsets	
	Disable steppers	Moving X Y Z axis by your hands
	Preheat PLA	
	Preheat ABS	
Control--	Control--	
	Temperature--	Heat the nozzle and the bed or change fan speed by given value
No TF card /Print from TF		Select the printing model
Init.TF-Card /Change TF-Card		
About Printer		
Tune--	Printing	
	Speed	Change Printing Speed by given value
	Nozzle	Change the temperature by given value
	Bed	Change the temperature by given value
	Fan Speed	Change Fan Speed by given value
	Flow	Change filament flow by given value
Change filament		
Pause print		
Stop print		

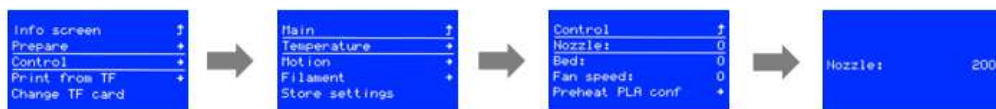
3. Loading Filament

1. Preheat

Method 1



Method 2



2. Feeding

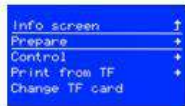


Press and hold the extruder lever then insert 1.75mm filament through the small hole of the extruder. Continue feeding until you see filament out of the nozzle.

Tip : Replacing the Filament

1. Cutting filament near the Extruder and slowly feed new filament until the new filament get into the PTFE tube.
2. Preheating the nozzle, Press and hold the extruder, extract the filament, then feed the new filament.

4. Bed Levelling



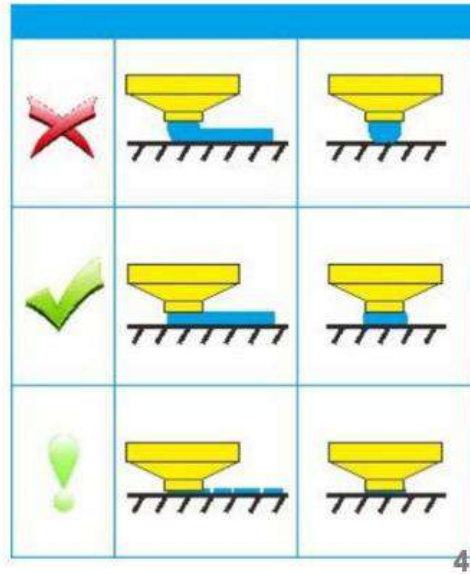
1. Prepare → Auto Home. Wait for the nozzle to move to the left front of the platform.



2. Prepare → Disable Steppers



3. Move the nozzle to the front left leveling point. Adjust the platform height by turning the knob underneath. Use a piece of A4 paper (standard printer paper) to assist with the adjustment, making sure that the nozzle lightly scratches the paper.
 4. Complete the adjustment on all 4 corners.
 5. Repeat above steps 1-2 times if necessary.



4

5. Software Installation



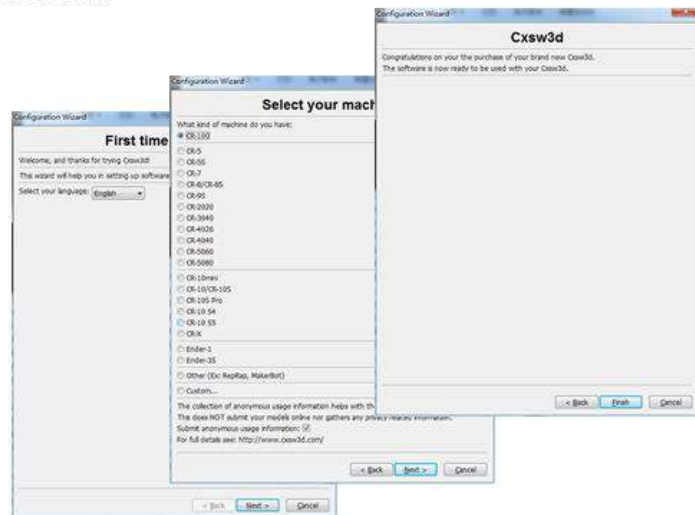
Creality Slicer_1.2.3

1. Double click to install the software.



Creality Slicer

2. Double click to open the software.



3. Select language → Next → Select your machine → Next → Finish

6. Preparing to Print

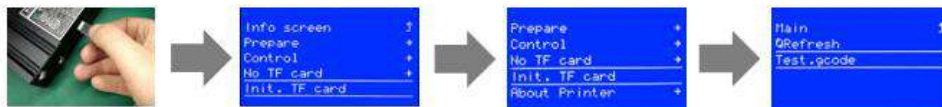
1. Slicing



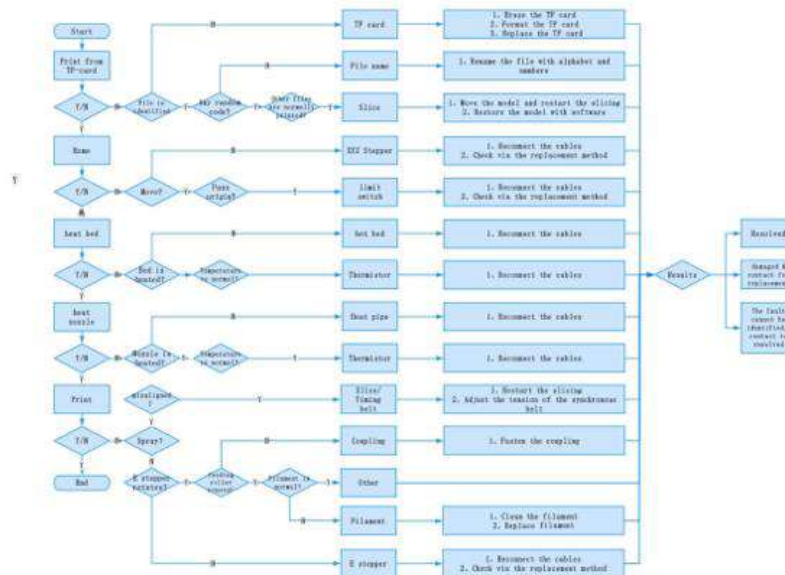
Creality Slicer

Open the software → Load → Select the file → Wait for slicing to finish, and save the gcode file to TF card.

2. Printing



Insert the TF card → Int. TF-Card → Print from TF → Select the file to be printed.



The revision date: May 20,2019



SHENZHEN CREATIVITY 3D TECHNOLOGY CO., LTD.
11F, A Road, JieChengYuan, Tangshang
Dongda Website: www.creativity3d.cn
Tel: +86 755 85004683
E-mail: info@creativity3d.cn cs@creativity3d.cn



Ender

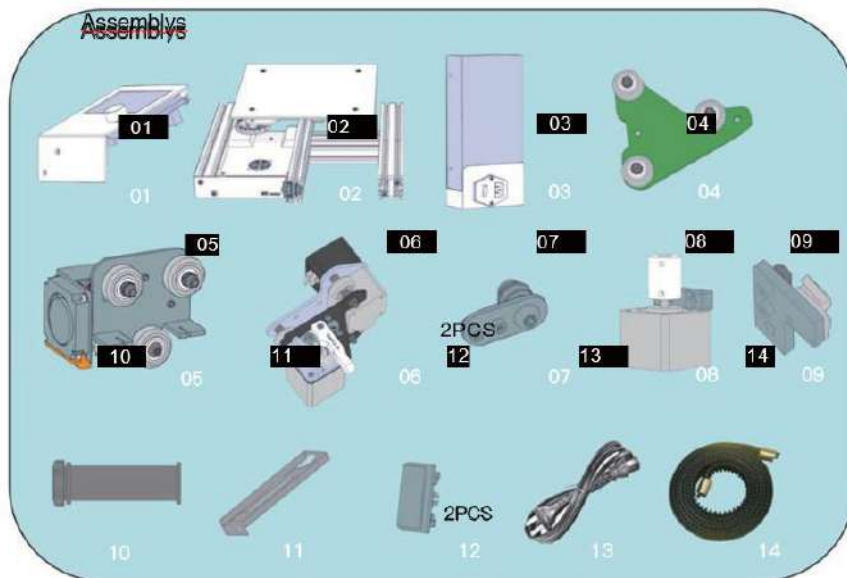
Ender-3 3D Printer

Instructions for assembly

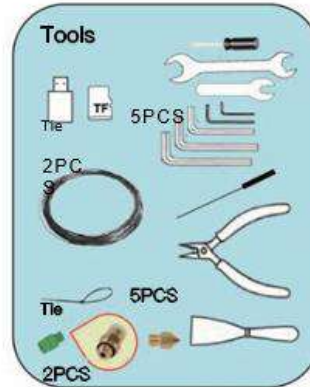
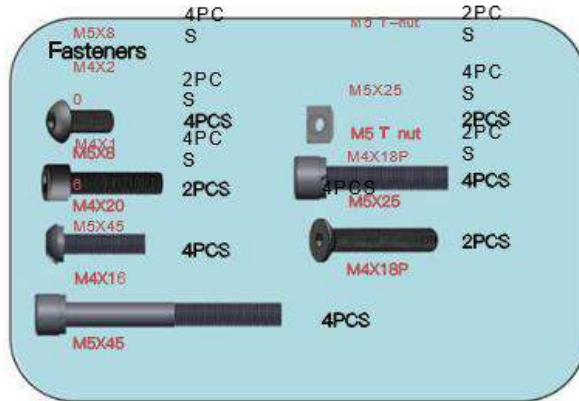
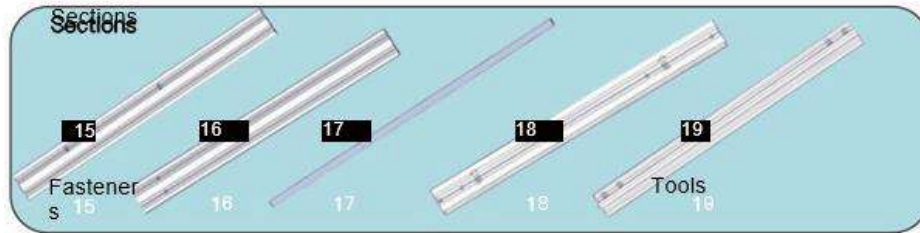
- ◆ This guide is for Ender-3 3D printer.
- ◆ Select the correct input voltage to match your local mains (230V or 115V).
- ◆ Because of software/hardware upgrades and model differences, new revisions may not be listed in this guide.
- ◆ Please plug the Power cord into a three-hole power jack.
- ◆ Detailed instructions for use are available on the TF card.
- ◆
- ◆



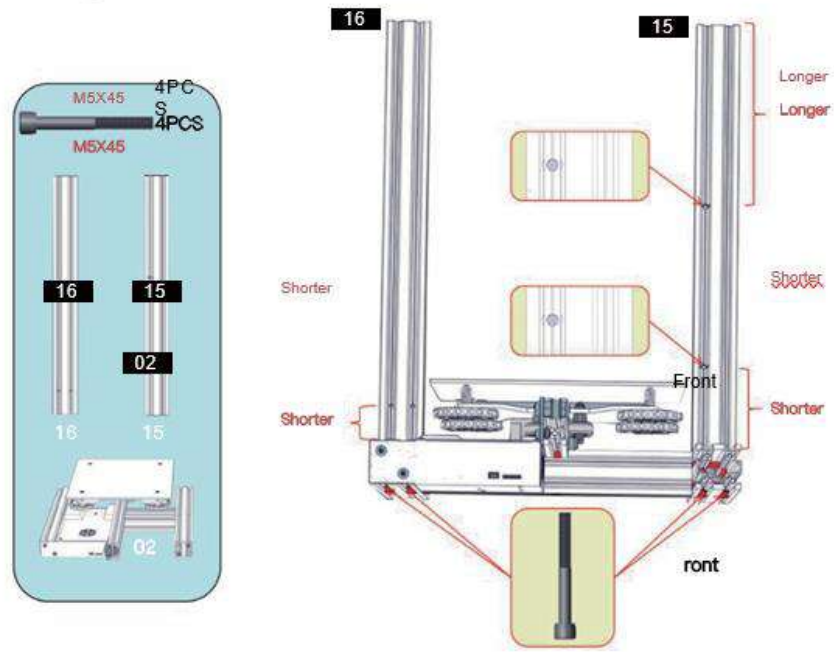
List 1



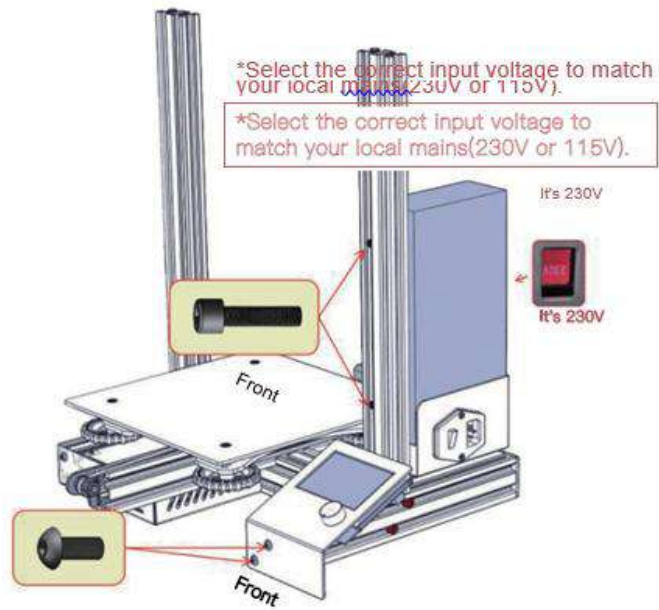
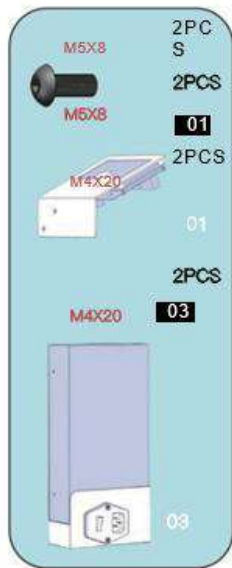
List 2



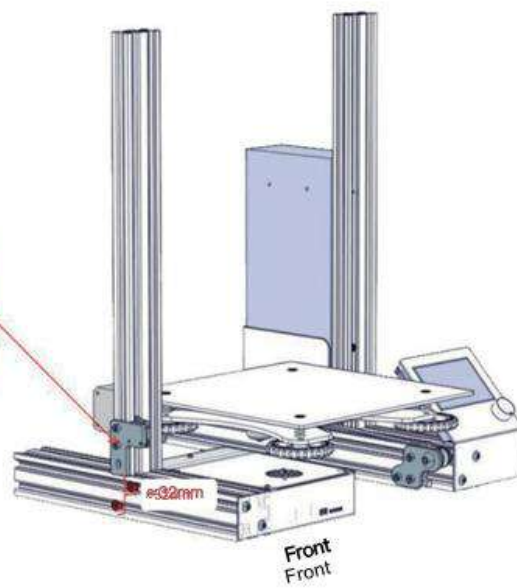
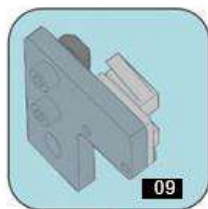
Step 1



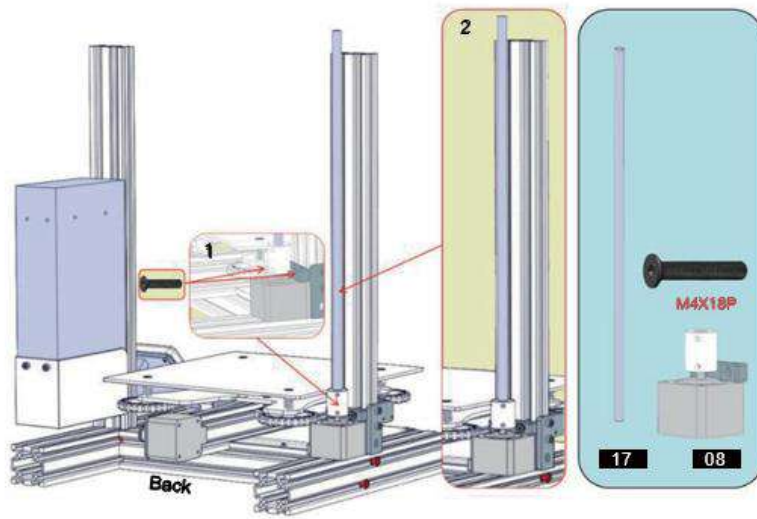
Step 2



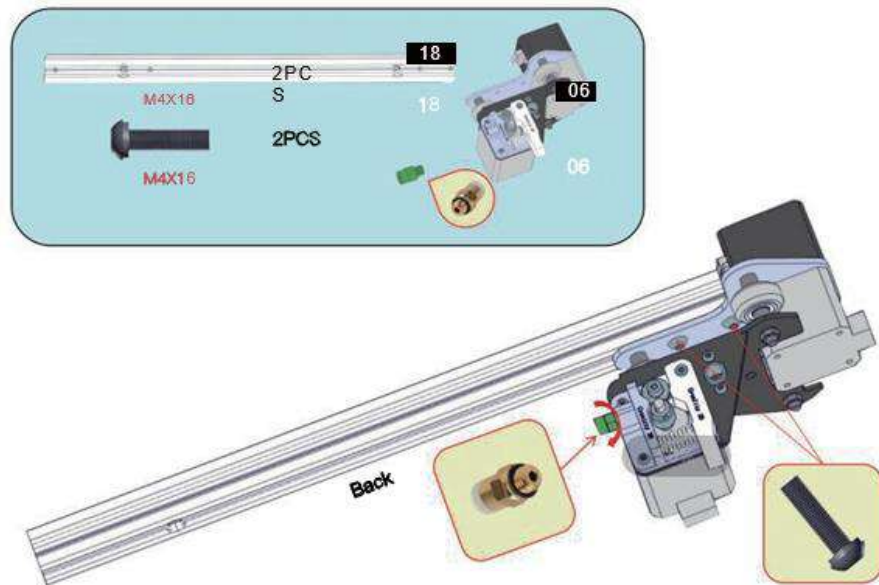
Step 3



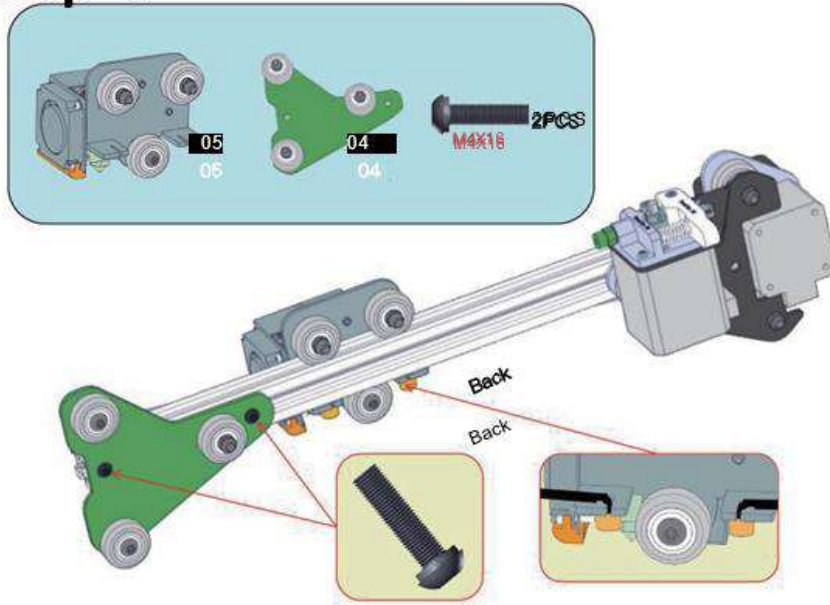
Step 4



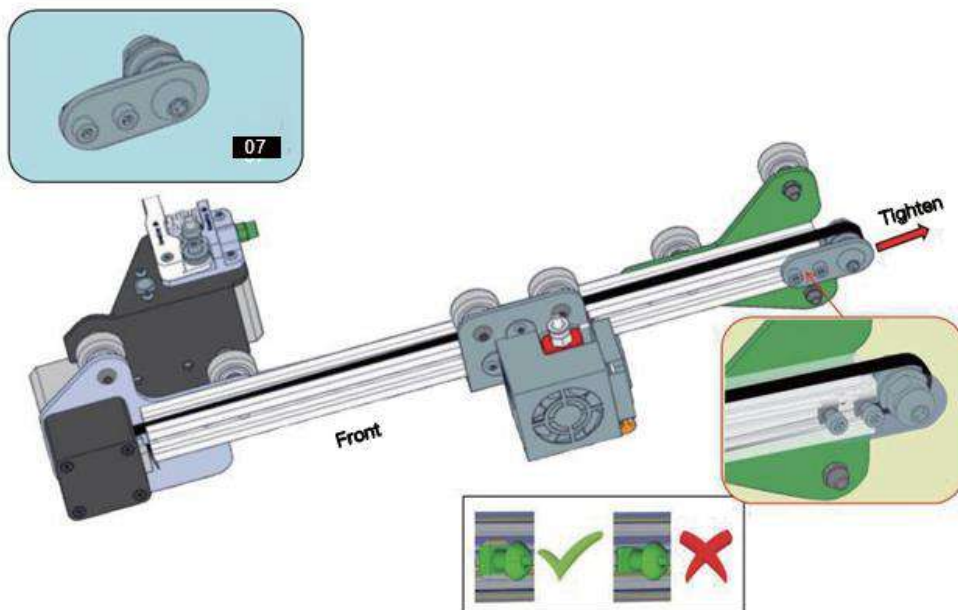
Step 5



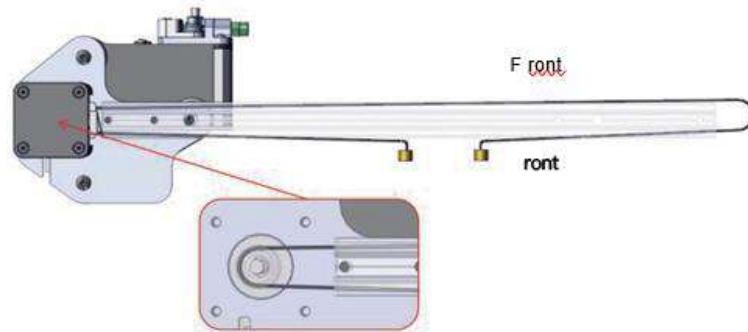
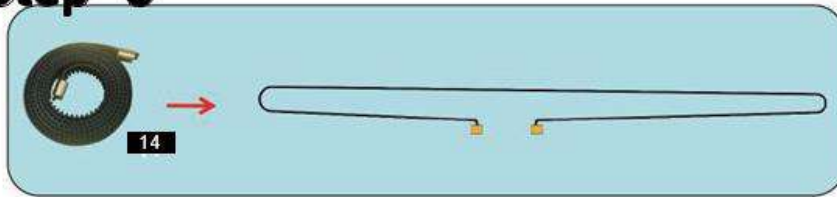
Step 6



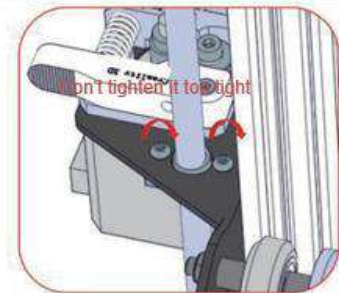
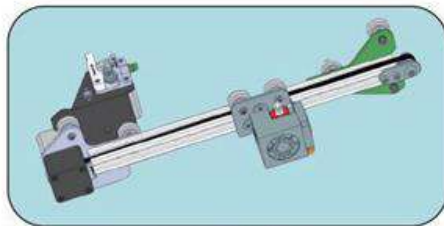
Step 7



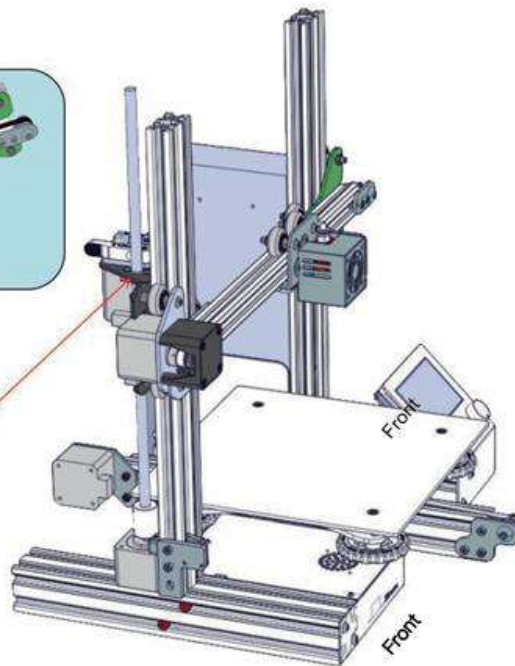
Step 8



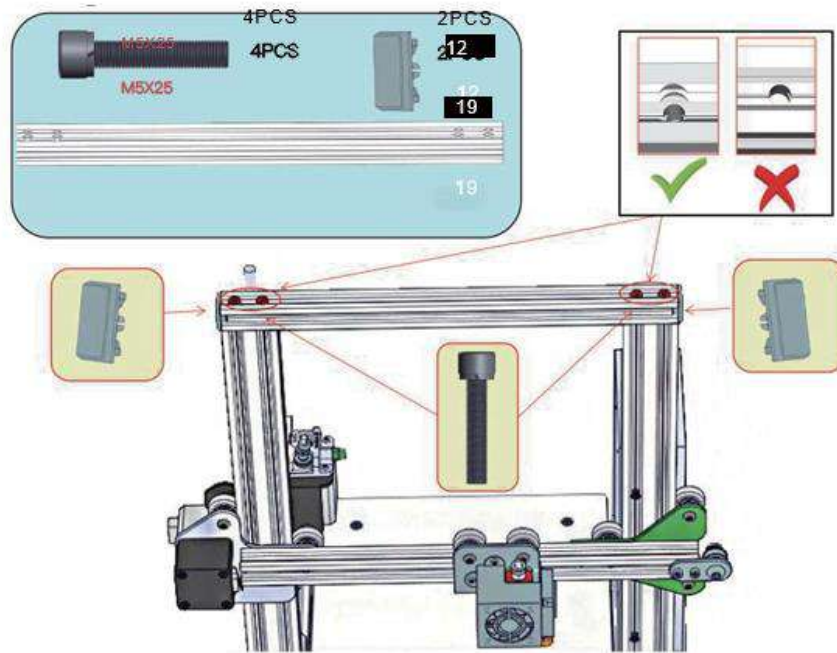
Step 9



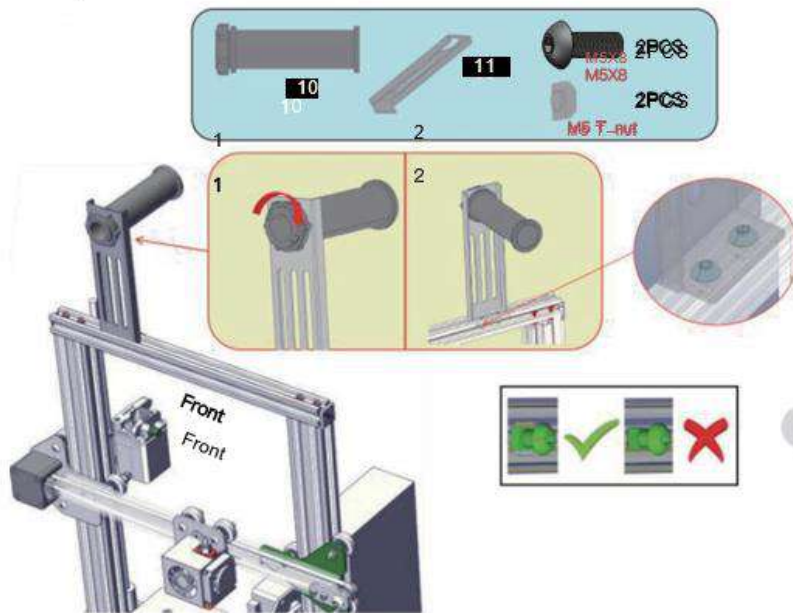
Don't tighten it too tight



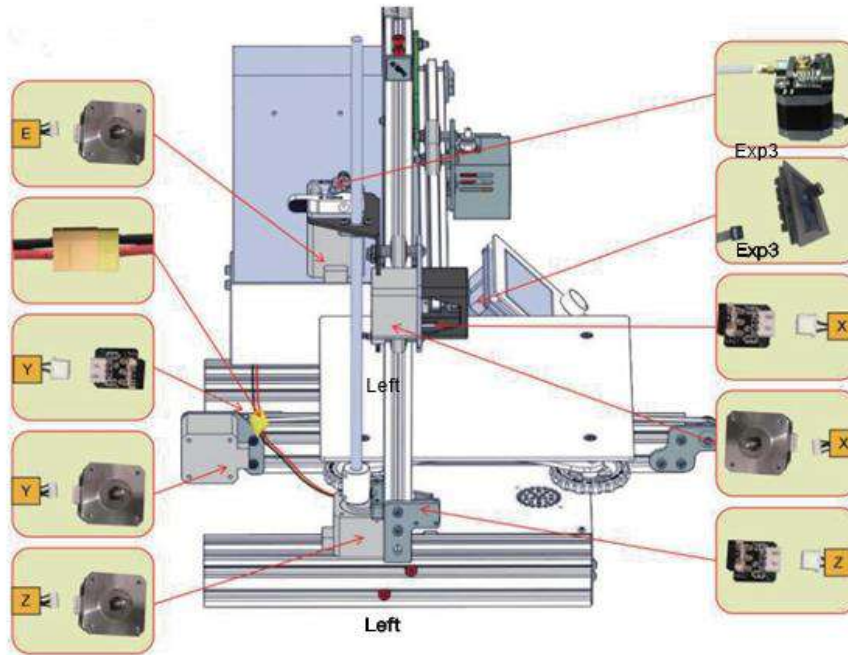
Step 10



Step 11



Step 12



Basic Parameters

Model	Ender-3	Working Mode	Online or TF card offline
Molding Tech.	FDM	File Format	STL,OBJ,AMF
Printing Size	220*220*250mm	Slice Software	Cura, Repetier-Host, Simplify3D
Printing Speed	≤180mm/s, Normal 30- 60mm/s	Power Supply	Input:AC 115/230V 50/60HZ Output:DC 24V
Precision	±0.1mm	Total Power	270W
Slice Thickness	0.1mm-0.4mm	Filament	1.75mm PLA
Nozzle Diameter	Standard 0.4mm	Operating System	Windows XP/Vista/7/10 MAC, Linux
Nozzle Number	1	Language	English
Nozzle Temp.	≤250°C	Resume Print	YES
Bed Temp.	≤100°C	Filament Detector	NO



Facebook QR code

SHENZHEN CREALITY 3D TECHNOLOGY CO., LTD.

11F & Room 1201, Block 3, JinChengYuan, Tongsheng Community,
Daxi Road, Longhua District, Shenzhen, China, 518109

Official Website: www.creality3d.cn

TEL: +86 755-85234565

E-mail: info@creality3d.cn cs@creality3d.cn





Designation: D 6110 – 08

Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics¹

This standard is issued under the fixed designation D 6110; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last approval. A superscripted epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or approval.

1. Scope*

1.1 This test method is used to determine the resistance of plastics to breakage by flexural shock as indicated by the energy extracted from standardized (see **Note 1**) pendulum-type hammers, mounted in standardized machines, in breaking standard specimens with one pendulum swing. This test method requires specimens to be made with a milled notch (see **Note 2**). The notch produces a stress concentration which promotes a brittle, rather than a ductile, fracture. The results of this test method are reported in terms of energy absorbed per unit of specimen width (see **Note 3**).

Note 1—The machines with pendulum-type hammers have been standardized in that they must comply with certain requirements including a fixed height of hammer fall, which results in a substantially fixed velocity of the hammer at the moment of impact. Hammers of different initial energies (produced by varying their effective weights), however, are recommended for use with specimens of different impact resistance. Moreover, manufacturers of the equipment are permitted to use different lengths and constructions of pendulums with possible differences in pendulum rigidity resulting (see Section 5). Be aware that other differences in machine design do exist.

Note 2—The specimens are standardized in that they have a fixed length and fixed depth, however, the width of the specimens is permitted to vary between limits. One design of milled notch is allowed. The notch in the specimen serves to concentrate the stress, minimize plastic deformation, and direct the fracture to the part of the specimen behind the notch. Scatter in energy-to-break is thus reduced. Because of differences in the elastic and viscoelastic properties of plastics, however, response to a given notch varies among materials.

Note 3—Caution must be exercised in interpreting the results of this test method. The following testing parameters have been shown to affect test results significantly: method of specimen fabrication, including but not limited to processing technology, molding conditions, mold design, and thermal treatment; method of notching; speed of notching level; design of notching apparatus; quality of the notch; time between notching and test; test specimen thickness; test specimen width under notch; and environmental conditioning.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate*

safe safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

Note 4—This standard resembles ISO 179 in title only. The content is significantly different.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

- D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing
- D 647 Practice for Design of Molds for Test Specimens of Plastic Molding Materials³
- D 883 Terminology Relating to Plastics
- D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials
- D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials (PA)
- D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastics Specimens
- E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method

3. Terminology

3.1 **Definitions**—For definitions related to plastics, see Terminology D 883.

4. Summary of Test Method

4.1 A notched specimen is supported as a horizontal simple beam and is broken by a single swing of the pendulum with the impact line midway between the supports and directly opposite the notch.

5. Significance and Use

5.1 Before proceeding with this test method, refer to the material specification for the material being tested. Any test specimen preparation, conditioning, dimensions and testing parameters required by the materials specification shall take precedence over those required by this test method. Table 1 of Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.30 on Mechanical Properties. Current edition approved Aug. 1, 2008. Published September 2008. Originally approved in 1997. Last previous edition approved in 2006 as D 6110 - 06.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For Annual Book of ASTM Standards volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Withdrawn.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

Copyright © ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19380-2929, United States.

currently exist. If there is no material specification, then the requirements of this test method apply.

5.2 The pendulum impact test indicates the energy to break standard test specimens of specified size under stipulated conditions of specimen mounting, notching (stress concentration), and pendulum velocity at impact.

5.3 For this test method, the energy lost by the pendulum during the breakage of the specimen is the sum of the energies required to initiate fracture of the specimen; to propagate the fracture across the specimen; to throw the free ends of the broken specimen (loss energy); to bend the specimen; to produce vibration in the pendulum arm; to produce vibration or horizontal movement of the machine frame or base; to overcome friction in the pendulum bearing and in the indicating mechanism, and to overcome windage (pendulum air drag); to indent or deform, plastically, the specimen at the line of impact; and to overcome the friction caused by the rubbing of the striking nose over the face of the bent specimen.

Note 5—The loss energy, or the energy used to throw the free ends of the broken specimen, is assumed to represent a very large fraction of the total energy absorbed when testing relatively dense and brittle materials. No procedure has been established for estimating the loss energy for the Charpy method.

5.4 For tough, ductile, fiber-filled, or cloth-laminated materials, the fracture propagation energy is usually large compared to the fracture initiation energy. When testing these materials, energy losses due to fracture propagation, vibration, friction between the striking nose and the specimen has the potential to become quite significant, even when the specimen is accurately machined and positioned, and the machine is in good condition with adequate capacity (see *Note 6*). Significant energy losses due to bending and indentation when testing soft materials have also been observed.

Note 6—Although the frame and the base of the machine must be sufficiently rigid and massive to handle the energies of tough specimens without motion or excessive vibration, the pendulum arm cannot be made very massive because the greater part of its mass must be concentrated near its center of percussion at its striking nose. Locating the striking nose precisely at the center of percussion reduces the vibration of the pendulum arm when used with brittle specimens. Some losses due to pendulum arm vibration (the amount varying with the design of the pendulum) will occur with tough specimens even when the striking nose is properly positioned.

5.5 In a well-designed machine of sufficient rigidity and mass, the losses due to vibration and friction in the pendulum bearing and in the indicating mechanism will be very small. Vibrational losses are observed when wide specimens of tough materials are tested in machines of insufficient mass, or in machines that are not securely fastened to a heavy base.

5.6 Since this test method permits a variation in the width of the specimens and since the width dictates, for many materials, whether a brittle, low-energy break (as evidenced by little or no drawing down or necking and by a relatively low energy absorption) or a ductile, high-energy break (as evidenced by considerable drawing or necking down in the region behind the notch and by a relatively high energy absorption) will occur, it is necessary that the width be stated in the specification covering that material and that the width be stated along with the impact value.

5.7 This test method requires that the specimen break completely. Results obtained when testing materials with a pendulum that does not have sufficient energy to complete the breaking of the extreme fibers and toss the broken pieces shall be considered a departure from standard and shall not be reported as a standard result. Impact values cannot be directly compared for any two materials that experience different types of failure.

5.8 The value of this impact test method lies mainly in the areas of quality control and materials specification. If two groups of specimens of supposedly the same material show significantly different energy absorptions, critical widths, or critical temperatures, it is permitted to assume that they were made of different materials or were exposed to different processing or conditioning environments. The fact that a material shows twice the energy absorption of another under these conditions of test does not indicate that this same relationship will exist under another set of test conditions.

6. Apparatus

6.1 *Pendulum Impact Machine*—The machine shall consist of a massive base on which are mounted a pair of supports for holding the specimen and to which is connected, through a rigid frame and bearings, one of a number of pendulum-type hammers having an initial energy suitable for use with the particular specimens to be tested (or one basic pendulum designed to accept add-on weights), plus a pendulum holding and releasing mechanism and a mechanism for indicating the breaking energy of the specimen. The specimen anvil, pendulum, and frame shall be sufficiently rigid to maintain correct alignment of the striking edge and specimen, both at the moment of impact and during the propagation of the fracture, and to minimize energy losses due to vibration. The base shall be sufficiently massive so that the impact will not cause it to move. The machine shall be designed, constructed, and maintained so that energy losses due to pendulum air drag (windage), friction in the pendulum bearings, and friction and inertia in the indicating mechanism are held to a minimum.

6.1.1 *Pendulum*—The simple pendulum shall consist of a single or multi-membered arm with a bearing on one end and a head, containing the striking nose, on the other. Although a large proportion of the mass of the simple pendulum is concentrated in the head, the arm must be sufficiently rigid to maintain the proper clearances and geometric relationships between the machine parts and the specimen and to minimize vibrational energy losses, which are always included in the measured impact value. A machine with a simple pendulum design is illustrated in Fig. 1. Instruments with a compound-pendulum design also have been found to be acceptable for use. A compound-pendulum design is illustrated in Fig. 2.

6.1.1.1 The machine shall be provided with a basic pendulum capable of delivering an energy of $2.7 \pm 0.14 \text{ J}$ ($2.0 \pm 0.10 \text{ ft-lbf}$). This pendulum shall be used for specimens that extract less than 85 % of this energy when breaking a specimen. Heavier pendulums or additional weights designed to attach to the basic pendulum shall be provided for specimens that require more energy to break. A series of pendulums such that each has twice the energy of the next lighter one has been found convenient.

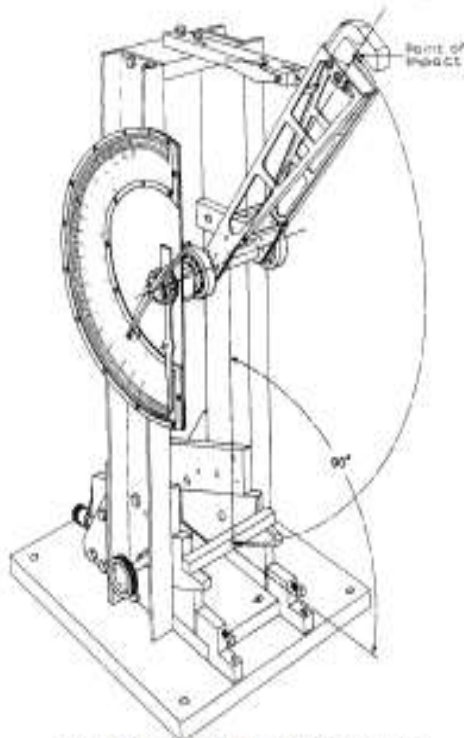


FIG. 1 Simple Beam (Charpy-Type) Impact Machine

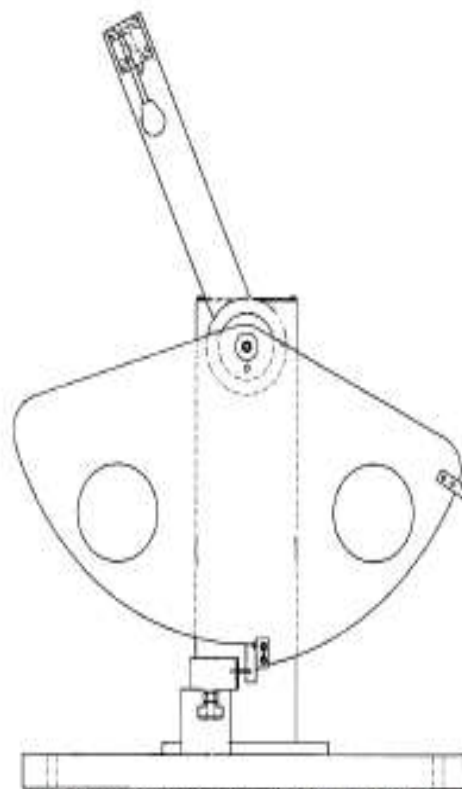


FIG. 2 Example of Compound-Pendulum-Type Machine

6.1.1.2 The effective length of the pendulum shall be between 0.325 and 0.406 m (12.8 and 16.0 in.) so that the required elevation of the striking nose is obtained by raising the pendulum to an angle between 60 and 30° above the horizontal.

6.1.2 *Striking Edge*—The striking edge (nose) of the pendulum shall be made of hardened steel, tapered to have an included angle of 45 ± 2° and shall be rounded to a radius of 3.17 ± 0.12 mm (0.125 ± 0.005 in.). The pendulum shall be aligned in such a way that when it is in its free hanging position, the center of percussion of the pendulum shall lie within ±2.54 mm (0.10 in.) of the middle of the line of contact made by the striking nose upon the face of a standard specimen of square cross section. The distance from the axis of support to the center of percussion is determined experimentally from the period of motion of small amplitude oscillations of the pendulum by means of the following equation:

$$L = (g4\pi^2) p^2 \quad (1)$$

where:

- L = distance from the axis of support to the center of percussion, m,
- g = local gravitational acceleration (known to an accuracy of one part in one thousand), m/s^2
- π = 3.1416 ($4\pi^2 = 39.48$), and
- p = period, in s, of a single complete swing (to and fro) determined from at least 20 consecutive and uninterrupted swings. The angle of swing shall be less than 5° each side of center.

6.1.3 *Pendulum Holding and Releasing Mechanism*—The mechanism shall be designed, constructed, and operated so that it will release the pendulum without imparting acceleration or vibration to the pendulum. The position of the pendulum holding and releasing mechanism shall be such that the vertical height of fall of the striking nose shall be 610 ± 2 mm (24.0 ± 0.005 in.). This will produce a velocity of the striking nose

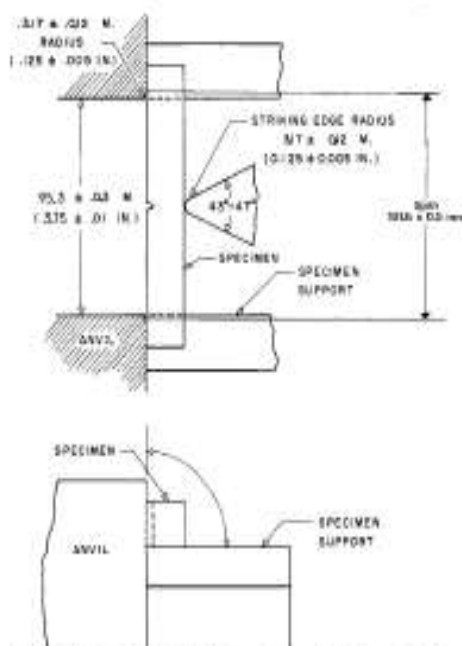


FIG. 3 Relationship of Anvil, Specimen, and Striking Edge to Each Other for Charpy Test Method

at the moment of impact of approximately 3.46 m (11.4 ft/s) as determined by the following equation:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (2)$$

where:

v = velocity of the striking nose at the moment of impact,
 g = local gravitational acceleration, and
 h = vertical height of fall of the striking nose.

This assumes no windage or friction.

6.1.4 Specimen Supports—The test specimen shall be supported against two rigid anvils in such a position that its center of gravity and the center of the notch shall lie on tangent to the arc of travel of the center of percussion of the pendulum drawn at the position of impact. The edges of the anvils shall be rounded to a radius of 3.17 ± 0.12 mm (0.125 ± 0.005 in.) and the anvils' lines of contact (span) with the specimen shall be 101.6 ± 0.5 mm (4.0 ± 0.02 in.) apart (see Fig. 3). Some machine manufacturers supply a jig for positioning the specimen on the supports.

Note 7—Some machines currently in use employ a 108.3-mm span. Data obtained under these conditions are valid.⁶

6.1.5 Indicator—Means shall be provided for determining the energy expended by the pendulum in breaking the specimen. This is accomplished using either a pointer and dial mechanism or an electronic system consisting of a digital

indicator and sensor (typically an encoder or resolver). In either case, the indicated breaking energy is determined by detecting the height of rise of the pendulum beyond the point of impact in terms of energy removed from that specific pendulum. The indicated remaining energy must be corrected for pendulum bearing friction, pointer friction, pointer inertia, and pendulum windage. Some equipment manufacturers provide graphs or tables to aid in the calculation of the correction for friction and windage. Instructions for making these corrections are found in Annex A1 and Annex A2. Many digital indicating systems automatically correct for windage and friction. Consult the equipment manufacturer for information on how this is performed.

6.1.6 Appendix X2 describes a calibration procedure for establishing the accuracy of the equipment. A check of the calibration of an impact machine is difficult to make under dynamic conditions. The basic parameters normally are checked under static conditions. If the machine passes the static tests, then it is assumed to be accurate. Appendix X2, however, also describes a dynamic test for checking certain features of the machine and specimen. For some machine designs, it might be necessary to change the recommended method of obtaining the required calibration measurements. Contact the machine manufacturer to determine if additional instructions for adjusting a particular machine are available. Other methods of performing the required checks are acceptable provided that they are proven to result in an equivalent accuracy.

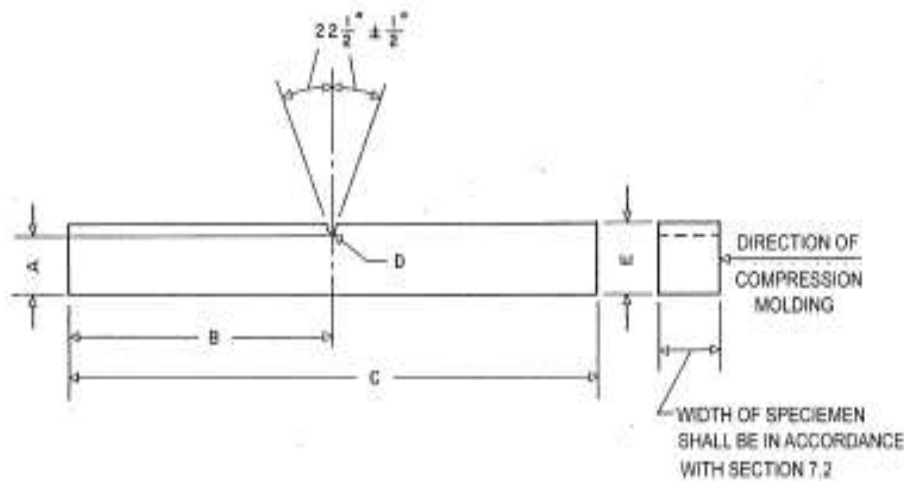
6.2 Specimen Notching Machine—Notching shall be done on a milling machine, engine lathe, or other suitable machine tool. A carbide-tipped or industrial diamond-tipped notching cutter is recommended. Both cutter speed and feed rate shall be controllable. Provision for cooling the specimen is recommended. Water and compressed air are suitable coolants for many plastics.

6.2.1 The profile of the cutting tooth or teeth shall be such as to produce a notch in the test specimen of the contour and depth specified in Fig. 4 and in the manner specified in Section 8.

6.2.2 A single-tooth cutter shall be used for notching the specimen, unless it is demonstrated that notches of an equivalent quality are produced with a multi-tooth cutter. Single-tooth cutters are preferred because of the ease of grinding the cutter to the specimen contour and because of the smoother cut on the specimen. The cutting edge shall be ground and honed carefully to ensure sharpness and freedom from nicks and burrs. Tools with no rake and a work relief angle of 15 to 20° have been found satisfactory.

6.3 Micrometers—Apparatus for measurement of the width of the specimen shall comply with the requirements of Test Methods D 5947. Apparatus for the measurement of the depth of plastic material remaining in the specimen under the notch shall comply with requirements of Test Methods D 5947, provided however that the one anvil or presser foot shall be a tapered blade conforming to the dimensions given in Fig. 5. The opposing anvil or presser foot shall be flat and conforming to Test Methods D 5947.

⁶ Supporting data is available from ASTM Headquarters. Request Research Report RR: D20-0113.



	mm	in.
A	10.16 ± 0.25	0.400 ± 0.010
B	63.5 max 61.0 min	2.50 max 2.40 min
C	127.0 max 124.5 min	5.00 max 4.90 min
D	0.250 ± 0.05	0.0100 ± 0.002
E	12.70 ± 0.15	0.500 ± 0.006

FIG. 4 Dimensions of Simple Beam, Charpy Type, Impact Test Specimen

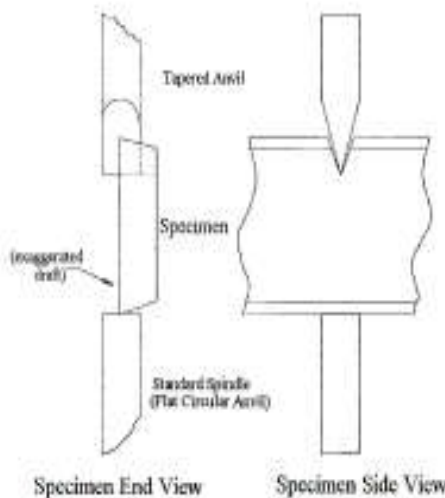


FIG. 5 Notch Depth Measurement on Test Specimens

7. Test Specimen

7.1 The test specimen shall conform to the dimensions and geometry of Fig. 4, except as modified in accordance with 7.2-7.5. To ensure the correct contour and conditions of the specified notch, all specimens shall be notched in accordance with Section 8.

7.2 Molded specimens shall have a width between 3.00 and 12.7 mm (0.118 and 0.500 in.). Use the specimen width as specified in the material specification or as agreed upon between the supplier and the customer.

7.2.1 The type of mold and molding machine used and the flow behavior in the mold cavity will influence the strength obtained. It is possible that results from a specimen taken from one end of a molded bar will give different results than a specimen taken from the other end. It is therefore important that cooperating laboratories agree on standard molds conforming to Practice D 647, and upon a standard molding procedure for the material under investigation.

7.2.2 A critical investigation of the mechanics of impact testing has shown that tests made upon specimens under 6.35 mm (0.250 in.) in width absorb more energy due to crushing, bending, and twisting than do wider specimens. Specimens 6.35 mm (0.250 in.) or over in width are therefore recommended. The responsibility for determining the minimum specimen width shall be the investigator's, with due reference to the specification for that material.

7.2.3 The impact resistance of a plastic material will be different if the notch is perpendicular to, rather than parallel to, the direction of molding.

7.3 For sheet materials, the specimens shall be cut from the sheet in both the lengthwise and crosswise directions unless otherwise specified. The width of the specimen shall be the thickness of the sheet if the sheet thickness is between 3.00 and 12.7 mm (0.118 and 0.500 in.). Sheet material thicker than 12.7 mm (0.500 in.) shall be machined down to 12.7 mm (0.500 in.).

It is acceptable to test specimens with a 12.7-mm (0.500-in.) square cross section either edgewise or flatwise as cut from the sheet. When specimens are tested flatwise, the notch shall be made on the machined surface if the specimen is machined on one face only. When the specimen is cut from a thick sheet, notation shall be made of the portion of the thickness of the sheet from which the specimen was cut, for example, center, top, or bottom surface.

7.3.1 The impact resistance of a plastic material will be different if the notch is perpendicular to, rather than parallel to, the grain of an anisotropic bar cut from a sheet. Specimens cut from sheets that are suspected of being anisotropic shall be prepared and tested both lengthwise and crosswise to the direction of the anisotropy.

7.4 The practice of cementing, bolting, clamping, or otherwise combining specimens of substandard width to form a composite test specimen is not recommended since test results will be seriously affected by interface effects or effects of solvents and cements on energy absorption of composite test specimens, or both. If Charpy test data on such thin materials are required, however, and if possible sources of error are recognized and acceptable, the following technique of preparing composites ought to be utilized. The test specimens shall be a composite of individual thin specimens totaling 6.35 to 12.7 mm (0.125 to 0.500 in.) in width. Individual members of the composite shall be aligned accurately with each other and clamped, bolted, or cemented together. Care must be taken to select a solvent or adhesive that will not affect the impact resistance of the material under test. If solvents or solvent-containing adhesives are employed, a conditioning procedure shall be established to ensure complete removal of the solvent prior to test. The composite specimens shall be machined to proper dimensions and then notched. In all such cases, the use of composite specimens shall be noted in the report of test results.

7.5 Each specimen shall be free of twist and shall be bounded by mutually perpendicular pairs of plane, parallel surfaces and free from scratches, pits, and sink marks. The specimens shall be checked for conformity with these requirements by visual observation against straight edges, squares or flat plates, and by measuring with micrometer calipers. Any specimen showing observable or measurable departure from one or more of these requirements shall be rejected or machined to the proper size and shape before testing. A specimen that has a slight twist to its notched face of 0.05 mm (0.002 in.) at the point of contact with the pendulum striking edge will be likely to have a characteristic fracture surface with considerable greater fracture area than for a normal break. In this case, the energy to break and loss the broken section will be considerably larger (20 to 30 %) than for a normal break.

8. Notching Test Specimens

Note 8—When testing a material for the first time, it is necessary to study the effect of all variations in the notching conditions, including cutter dimensions, notch depth, cutter speed, and feed rate. To establish that the notching parameters are suitable, it is advisable to notch several specimens of the material and inspect both the tool entrance and tool exit side of each notched specimen, in accordance with *Appendix X1*. Adjust the notching machine as required. The specimens used to determine notching conditions shall not be used to make determinations of impact resistance.

8.1 Notch Dimensions—The included angle of the notch shall be $45 \pm 1^\circ$ with a radius of curvature at the apex of 0.25 ± 0.05 mm (0.010 ± 0.002 in.). The plane bisecting the notch angle shall be perpendicular to the face of the test specimen within 2° .

8.1.1 The notch is a critical factor of this test. It is extremely important, therefore, that dimensions of the notch in the specimen are verified. There is evidence that the contour of notches cut in materials of widely differing physical properties by the same cutter will differ. It is sometimes necessary to alter the cutter dimensions in order to produce the required notch contour for certain materials.

8.1.2 A notching operation notches one or more specimens plus the "dummy bars". The specimen notch produced by each cutter will be examined after every 500 notching operations or less frequently if experience shows this to be acceptable. The specimen used to verify the notch shall be the same material that is being prepared for testing. Inspect and verify the notch in the specimen. If the angle or radius of the notch does not meet the requirements of 8.1, the cutter shall be replaced. One procedure for inspecting and verifying the notch is provided in *Appendix X1*.

Note 9—The contour of the notch made using multi-tooth cutters is checked by measuring the contour of the notch on a strip of soft metal that is inserted between two specimens during the notching process.

Note 10—When the same material is being tested on a repetitive basis, and it is demonstrated that the notch in the specimen takes the contour of the tip of the cutter and that the notch meets the contour requirements when checked in accordance with *Appendix X1*, then it is acceptable to check the contour of the tip of the cutter instead of the notch in the specimen.

8.2 Notch Depth—The depth of the plastic material remaining in the specimen under the notch shall be 10.16 ± 0.05 mm (0.400 ± 0.002 in.). This dimension shall be measured with apparatus in accordance with 6.3. The tapered blade will be fitted to the notch. The specimen will be approximately vertical between the anvils. Position the edge of the non-cavity (wider edge) surface centered on the micrometer's flat circular anvil.

8.3 Cutter Speed and Feed Rate—Select the cutter speed and feed speed based on the material being tested. The quality of the notch will be adversely affected by thermal deformations and stresses induced during the cutting operation if proper conditions are not selected.³ The notching parameters used shall not alter the physical state of the material, such as by raising the temperature of a thermoplastic above its glass transition temperature.

8.3.1 In general, high cutter speeds, slow feed rates, and lack of coolant induce more thermal damage than a slow cutter speed, fast feed speed, and the use of a coolant. Too high a feed speed/cutter speed ratio, however, has been shown to cause impacting and cracking of the specimen. The range of cutter speed/feed ratios possible to produce acceptable notches has been shown to be extended by the use of a suitable coolant.

8.3.1.1 For some thermoplastics, suitable notches have been produced using cutter speeds from 54 to 150 m/min and a feed

³ Supporting data is available from ASTM Headquarters. Request Research Report RR-133D-1966.

rate of 89 to 160 mm/min without a water coolant. Satisfactory notches also have been produced using the same cutter speeds at feed speeds of from 36 to 160 mm/min with water coolant.

8.3.1.2 Embedded thermocouples have been used to determine the temperature rise in the material near the apex of the notch during machining. Thermal stresses induced during the notching operation have been observed in transparent materials by viewing the specimen at low magnification between crossed polars in monochromatic light. The specimens used to determine temperature rise shall not be used to make determinations of impact resistance.

8.3.2 The feed rate and the cutter speed shall remain constant throughout the notching operation.

8.4 It is acceptable to notch specimens individually or in a group. In either case, however, an unnotched backup or dummy bar shall be placed behind the last specimen in the sample holder to prevent distortion and chipping by the cutter as it exits from the last test specimen.

8.5 All specimens having one dimension less than 12.7 mm (0.500 in.) shall have the notch cut on the shorter side. Compression molded specimens shall be notched on the side parallel to the direction of application of molding pressure. The impact resistance of a plastic material will be different if the notch is perpendicular to rather than parallel to the direction of molding, as with or across the grain of an anisotropic bar cut from a plate.

9. Conditioning

9.1 Check the materials specification for the material that is being tested. If there are no conditioning requirements stated by the materials specification, the test specimens shall be conditioned at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity for not less than 40 h after notching and prior to testing in accordance with Procedure A of Practice D 618, unless documented (between supplier and customer) that shorter conditioning time is sufficient for a given material to reach equilibrium of impact resistance.

9.2 For hygroscopic materials, such as nylons, the material specifications (for example, Classification System D 4066) call for testing dry-as-molded specimens. Such requirements take precedence over the above routine preconditioning to 50% relative humidity. These specimens shall be sealed in water vapor-impermeable containers as soon as molded. When notching these specimens, minimize the exposure time during notching and return the specimens to a dry container after notching to allow for full cooling of the specimens prior to testing.

9.3 *Test Conditions*—Conduct tests in the standard laboratory atmosphere of $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ($73 \pm 3.6^\circ\text{F}$) and $50 \pm 5\%$ relative humidity, unless otherwise specified. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1^\circ\text{C}$ and $\pm 2\%$ relative humidity.

10. Procedure

10.1 Specimen Preparation:

10.1.1 Prepare the test specimens in accordance with the procedures in Section 7. At least five and preferably ten or more individual determinations of impact resistance shall be

made to determine the average impact resistance for a particular sample. The specimens shall be of nominal width only.

10.1.2 Notch the specimens in accordance with the procedure in Section 8.

10.1.3 Condition the specimens in accordance with the materials specification for the material that is being tested. If there are no conditioning requirements detailed in the materials specification, follow the conditioning requirements in Section 9.

10.2 Machine Preparation:

10.2.1 Estimate the breaking energy for the sample and select a pendulum of suitable energy. Select the lightest standard pendulum that is expected to break all specimens in the group with an energy loss of not more than 85% of its capacity (see 6.1). If the breaking energy cannot be estimated, select the correct pendulum by performing trial runs. Use caution to avoid damaging the pendulum by selecting a pendulum that is too light for a particular sample.

Note 11—Ideally, an impact test would be conducted at a constant test velocity. In a pendulum-type test, however, the velocity decreases as the fracture progresses. For specimens that have an impact energy approaching the capacity of the pendulum, there is insufficient energy to complete the break and loss. By avoiding the higher 15% scale energy readings, the velocity of the pendulum will not be reduced below 1.33 m/s. On the other hand, the use of a pendulum that is too heavy would reduce the sensitivity of the reading.

10.2.2 After installing the selected pendulum on the machine, check the machine for conformity with the requirements of Section 6 before starting the tests.

10.2.3 When using a machine equipped with a pointer and dial mechanism or an electronic indicator that does not automatically correct for windage and friction, determine the windage and friction correction factors for the machine before testing specimens. Windage and friction correction factors shall be determined on a daily basis and shall be calculated each time weights are added to the pendulum or the pendulum is changed. Refer to Annex A1 for information on constructing windage and friction correction charts or refer to Annex A2 for a procedure to calculate the windage and friction correction. If excessive friction is indicated (see X2.12 and X2.13) the machine shall be adjusted before testing specimens. Follow the machine manufacturer's instructions to correct for excessive windage and friction.

Note 12—The actual correction factors for windage and friction will be smaller than those factors in an actual test because the energy absorbed by the specimen prevents the pendulum from making a full swing. The indicated breaking energy of the specimen, therefore, must be included in the calculation of the machine correction.

10.2.4 Some machines equipped with an electronic digital display or computer automatically compensate for windage and friction.

10.3 Specimen Testing:

10.3.1 Check all of the specimens in the sample group for conformity with the requirements of Sections 7 and 8 and 10.1.

10.3.2 Measure and record the width of each specimen after notching to the nearest 0.025 mm (0.001 in). Measure the width in one location adjacent to the notch centered about the anticipated fracture plane.

10.3.3 Measure and record the depth of material remaining in the specimen under the notch of each specimen to the nearest 0.025 mm (0.001 in). The tapered blade will be fitted to the notch. The specimen will be approximately vertical between the anvils. Position the edge of the non-cavity (wider edge) surface so that it is centered on the micrometer's flat circular anvil. See Fig. 5.

10.3.4 Position a test specimen horizontally on the supports and against the anvils so that it will be impacted on the face opposite the notch (see Fig. 3). Center the notch between the anvils. A centering jig is useful for this purpose.

10.3.5 Raise and secure the pendulum in the release mechanism and reset the indicating mechanism.

10.3.6 Release the pendulum, allowing the striking edge of the pendulum to impact the specimen. Note the indicated breaking energy.

10.3.7 Calculate the net breaking energy (see 11.1). If the net breaking energy is greater than 85 % of the pendulum's nominal energy, the wrong pendulum was used. Discard the result. Select and install a pendulum with a greater available energy or add additional weight to the pendulum, determine the windage and friction correction factor, and repeat the test on a new specimen.

10.3.8 If the proper pendulum was used, test the remaining specimens as described in 10.3.1-10.3.6. Results from specimens that do not break shall be discarded. A specimen that does not break completely into two or more pieces is not considered to be broken.

10.3.9 After all of the specimens for the sample have been tested, calculate the impact resistance, in joules per metre, for each individual specimen (see 11.2).

10.3.10 Calculate the average impact resistance for the group of specimens (see 11.3). Values obtained from specimens that did not break completely shall not be included in the average.

10.3.11 Calculate the standard deviation for the group of specimens (see 11.4).

11. Calculation

11.1 *Net Breaking Energy*—Subtract the windage and friction loss energy from the indicated breaking energy.

11.2 *Impact Resistance*—Divide the net breaking energy by the measured width of each individual specimen.

11.3 Calculate the average impact resistance for a group of specimens by adding the individual impact resistance values for the group and dividing the sum by the total number of specimens in the group.

11.4 Calculate the standard deviation as follows and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{\frac{\sum X^2 - n\bar{X}^2}{n-1}} \quad (3)$$

where:

- s = estimated standard deviation,
- X = value of single observation,
- n = number of observations, and
- \bar{X} = arithmetic mean of the set of observations.

12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type source, manufacturer's code number, and previous history.

12.1.2 A statement of how the specimens were prepared, the testing conditions used, the number of hours the specimens were conditioned after notching, and for sheet materials, the direction of testing with respect to anisotropy, if any.

12.1.3 The capacity of the pendulum, J.

12.1.4 The span.

12.1.5 The width and depth under the notch of each specimen tested.

12.1.6 The total number of specimens tested per sample of material (that is five, ten, or more).

12.1.7 The average impact resistance, J/m. Impact resistance is not to be reported for other than complete breaks. Reporting results in kJ/m² is optional (see Appendix X4).

12.1.8 The standard deviation of the values of the impact resistance of the specimens in 10.3.11.

TABLE 1 Precision for Charpy Test

Material	Value in kJ/m ² of Width					Number of Laboratories
	Average	S_L^a	S_R^b	F	R^c	
Phenolic Reinforced nylon	0.55	0.029	0.030	0.08	0.14	7
Polycarbonate	1.88	0.083	0.143	0.18	0.40	7
Polypropylene	2.05	0.083	0.422	0.25	1.18	8
ABS	4.06	0.151	0.422	0.42	1.18	9

^a S_L = within-laboratory standard deviation for the indicated material. It is obtained by pooling the within-laboratory standard deviations of the test results from all of the participating laboratories:

$$S_L = \sqrt{\frac{10S_1^2 + 15S_2^2 + \dots + (5n)S_n^2}{n+1}}$$

^b S_R = between-laboratory reproducibility, expressed as standard deviation:

$$S_R = \sqrt{1.4^2 + S_L^2}$$

where S_L = standard deviation of laboratory means.

^c F = within-laboratory critical interval between two test results = $2.8 \times S_L$.

^d R = between-laboratory critical interval between two test results = $2.8 \times S_R$.

13. Precision and Bias

13.1 Table 1 is based on a round robin⁴ conducted in 1987 in accordance with Practice E 691, involving five materials tested by nine laboratories. For each material, all samples were prepared at one source, but the individual specimens were notched and conditioned at the laboratories which tested them. Each laboratory tested an average of nine specimens for each material. (Warning—The explanations of r and R (13.2-13.2.3) are intended only to present a meaningful way of considering the approximate precision of this test method. The data presented in Table 1 are not to be applied to acceptance or rejection of materials, as these data apply only to the materials tested in the round robin and are unlikely to be rigorously representative of other lots, formulations, conditions, materials, or laboratories. Users of this test method are advised to apply the principles outlined in Practice E 691 to generate data

⁴ Supporting data is available from ASTM Headquarters. Request Research Report RR-1025-1041 and RR-1020-1134.

specific to their materials and laboratory, or between specific laboratories. The principles of 13.2-13.2.3 would then be valid for such data.)

13.2. Concept of r and R in Table 1 —If S_1 and S_2 have been calculated from a large enough body of data, and for test results that were averages from testing nine specimens for each test result, then:

13.2.1 Repeatability— r is the interval representing the critical difference between two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day in the same laboratory. Two tests results shall be judged not equivalent if they differ by more than the r value for that material.

13.2.2 Reproducibility— R is the interval representing the critical difference between two test results for the same

material, obtained by different operators using different equipment in different laboratories, not necessarily on the same day. Two test results shall be judged not equivalent if they differ by more than the R value for that material.

13.2.3 Any judgement in accordance with 13.2.1 or 13.2.2 would have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.3 There are no recognized standards by which to estimate bias of this test method.

14. Keywords

14.1 Charpy impact; impact resistance; notch sensitivity; notched specimen

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. INSTRUCTIONS FOR THE CONSTRUCTION OF A WINDAGE AND FRICTION CORRECTION CHART

A1.1 The construction and use of the chart herein described is based upon the assumption that the friction and windage losses are proportional to the angle through which these loss torques are applied to the pendulum. Fig. A1.1 shows the assumed energy loss versus the angle of the pendulum position during the pendulum swing. The correction chart to be described is principally the left half of Fig. A1.1. Some manufacturers supply windage and friction correction charts for their equipment. The energy losses designated as A or B are described in 10.3.

A1.2 Start the construction of the correction chart (Fig. A1.2) by laying off to some convenient linear scale on the abscissa of a graph the angle of pendulum position for the portion of the swing beyond the free hanging position. For convenience, place the free hanging reference point on the right end of the abscissa with the angular displacement increasing linearly to the left. The abscissa is referred to as Scale C. Although angular displacement is the quantity to be represented linearly on the abscissa, this displacement is more

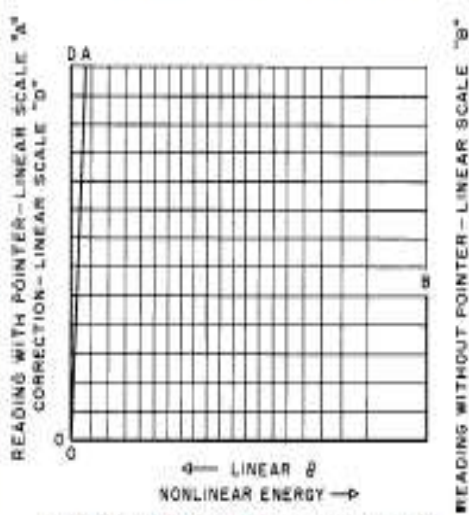


FIG. A1.2 Sample Windage and Friction Correction Chart

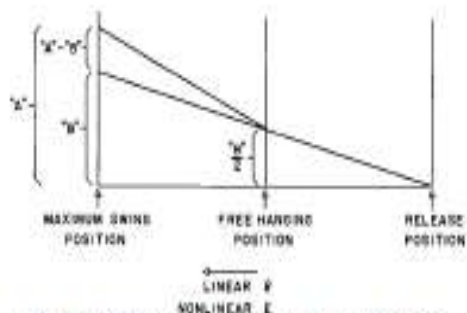


FIG. A1.1 Method of Construction of a Windage and Friction Correction Chart

conveniently expressed in terms of indicated energy read from the machine dial. This yields a nonlinear Scale C with indicated pendulum energy increasing to the right.

A1.3 On the right hand ordinate lay off a linear Scale B starting with zero at the bottom and stopping at the maximum expected pendulum friction and windage value at the top.

A1.4 On the left ordinate construct a linear Scale D ranging from zero at the bottom to 1.2 times the maximum ordinate value appearing on Scale B, but make the scale twice the scale used in the construction of Scale B.

A1.5 Adjoining Scale D draw a curve OA which is the

focus of points whose coordinates have equal values of energy correction on Scale D and indicated energy on Scale C. This curve is referred to as Scale A and utilizes the same divisions and numbering system as the adjoining Scale D.

A1.6 Instructions for Using Chart:

A1.6.1 Locate and mark on Scale A the reading A obtained from the free swing of the pendulum with the pointer prepositioned in the free hanging or maximum indicated energy position on the dial.

A1.6.2 Locate and mark on Scale B the reading B obtained after several free swings with the pointer pushed up close to

zero indicated energy position of the dial by the pendulum in accordance with instructions in 10.3.

A1.6.3 Connect the two points thus obtained by a straight line.

A1.6.4 From the indicated impact energy on Scale C project up to the constructed line and across to the left to obtain the correction for windage and friction from Scale D.

A1.6.5 Subtract this correction from the indicated impact reading to obtain the energy delivered to the specimen.

A2. PROCEDURE FOR THE CALCULATION OF WINDAGE AND FRICTION CORRECTION

A2.1 The procedure for the calculation of the windage and friction correction in this annex is based on the equations developed by derivation in Appendix X3. This procedure is acceptable as a substitute for the graphical procedure described in Annex A1 and is applicable to small electronic calculator and computer analysis.

A2.2 Calculate L , the distance from the axis of support to the center of percussion as indicated in 6.3. It is assumed here that the center of percussion is approximately the same as the center of strike.

A2.3 Measure the maximum height, h_M , of the center of percussion (center of strike) of the pendulum at the start of the test as indicated in X2.11.

A2.4 Measure and record the energy correction, E_A , for windage of the pendulum plus friction in the dial, as determined with the first swing of the pendulum with no specimen in the testing device. This correction must be read on the energy scale, E_M , appropriate for the pendulum used.

A2.5 Without resetting the position of the indicator obtained in A2.4, measure the energy correction, E_B , for pendulum windage after two additional releases of the pendulum with no specimen in the testing device.

A2.6 Calculate β_{max} as follows:

$$\beta_{max} = \cos^{-1} [1 - (h_M/L)(1 - E_B/E_M)] \quad (A2.1)$$

where:

E_A = energy correction for windage of pendulum plus friction in dial, J (ft-lbf),

E_M = full-scale reading for pendulum used, J (ft-lbf),

L = distance from fulcrum to center of strike of pendulum, m (ft),

h_M = maximum height of center of strike of pendulum at start of test, m (ft), and

β_{max} = maximum angle pendulum will travel with one swing of the pendulum.

A2.7 Measure specimen breaking energy, E_B , J (ft-lbf).

A2.8 Calculate β for specimen measurement E_B as:

$$\beta = \cos^{-1} [1 - (h_M/L)(1 - E_B/E_M)] \quad (A2.2)$$

where:

β = angle pendulum travels for a given specimen, and

E_B = dial reading breaking energy for a specimen, J (ft-lbf).

A2.9 Calculate total correction energy, E_{TC} as:

$$E_{TC} = (E_A - (E_M/2)(\beta/\beta_{max})) + (E_B/2) \quad (A2.3)$$

where:

E_{TC} = total correction energy for the breaking energy, E_B , of a specimen, J (ft-lbf), and

E_A = energy correction for windage of the pendulum, J (ft-lbf).

A2.10 Calculate the impact resistance using the following formula:

$$I_x = (E_i - E_{TC})/t \quad (A2.4)$$

where:

I_x = impact resistance of specimen, J/m (ft-lbf/in.) of width, and

t = width of specimen or width of notch, m (in.)

X1. PROCEDURE FOR THE INSPECTION AND VERIFICATION OF NOTCH

X1.1 The purpose of this procedure is to describe the microscopic method to be used for determining the radius and angle of the notch. These measurements could also be made using a comparator if available.

Note X1.1—The notch shall have a radius of 0.25 ± 0.05 mm (0.010 \pm 0.002 in.) and an angle of $45 \pm 1^\circ$.

X1.2 Apparatus:

X1.2.1 *Optical Device*, with minimum magnification of 60 \times , Filar glass scale and camera attachment.

X1.2.2 *Transparent Template*, that will be developed in this procedure.

X1.2.3 *Ruler*.

X1.2.4 *Compass*.

X1.2.5 *Plastic Drafting Set Squares (Triangles)*, 45-45-90 $^\circ$.

X1.3 A transparent template must be developed for each magnification and for each microscope used. It is preferable that each laboratory standardize on one microscope and one magnification. It is not necessary for each laboratory to use the same magnification because each microscope and camera combination have somewhat different blowup ratios.

X1.3.1 Set the magnification of the optical device at a suitable magnification with a minimum magnification of 60 \times .

X1.3.2 Place the Filar glass slide on the microscope platform. Focus the microscope so the most distinct of the Filar scale is visible.

X1.3.3 Take a photograph of the Filar scale (see Fig. X1.1).

X1.3.4 Create a template similar to that shown in Fig. X1.2.

X1.3.4.1 Find the approximate center of the piece of paper.

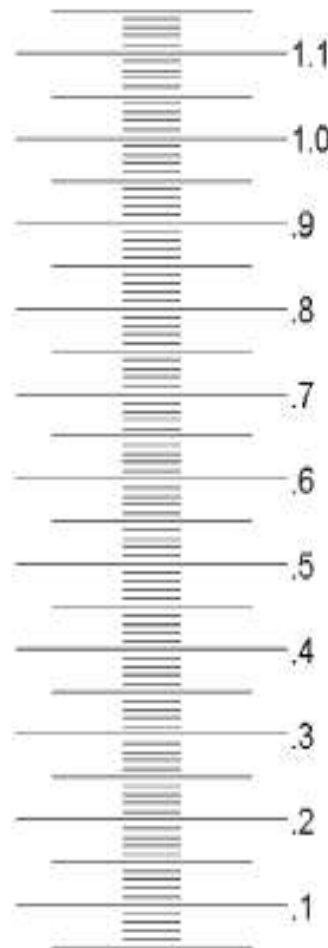
X1.3.4.2 Draw a set of perpendicular coordinates through the center point.

X1.3.4.3 Draw a family of concentric circles that are spaced in accordance with the dimensions of the Filar scale. This task is accomplished by first setting a mechanical compass at a distance of 0.1 mm (0.004 in.) as referenced by the magnified photograph of the Filar eyepiece. Subsequent circles shall be spaced 0.02 mm apart (0.001 in.), as rings, with the outer ring being 0.4 mm (0.016 in.) from the center.

X1.3.5 Photocopy the paper with the concentric circles to make a transparent template of the concentric circles.

X1.3.6 Construct Fig. X1.3 by taking a second piece of paper, finding its approximate center, and marking this point. Draw one line through this center point. Label this line zero degree (0 $^\circ$). Draw a second line perpendicular to the first line through this center point. Label this line 90 $^\circ$. From the center draw a line that is 44 $^\circ$ relative to the 0 $^\circ$. Label the line 44 $^\circ$. Draw another line at 46 $^\circ$. Label the line 46 $^\circ$.

X1.4 Place a microscope glass slide on the microscope

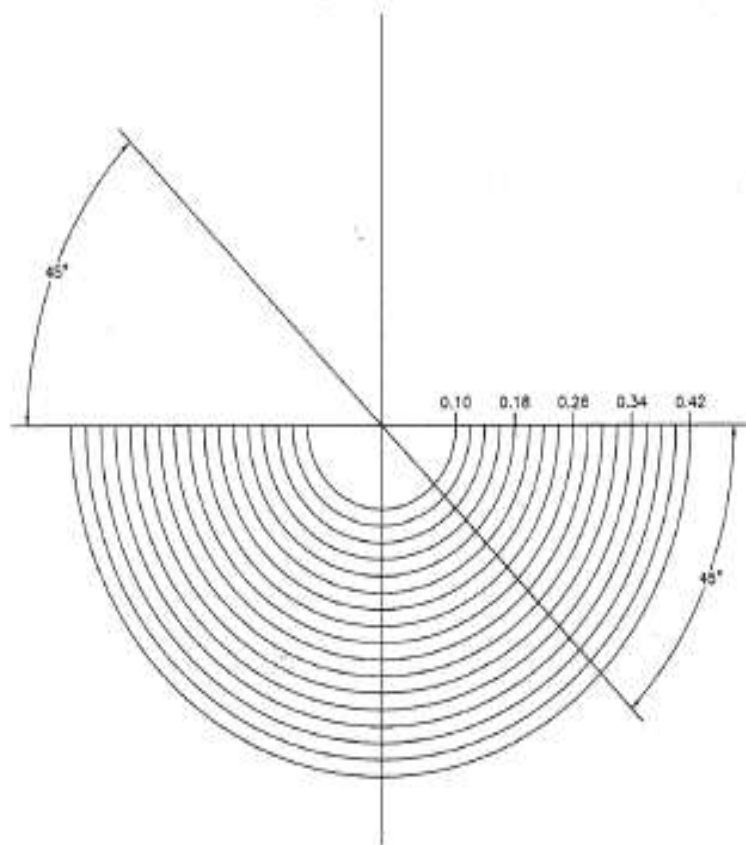


Note 1—100 \times Reference
 Note 2—0.1 mm major scale, 0.01 mm minor scale
FIG. X1.1 Filar Scale

platform. Place the notched specimen on top of the slide. Focus the microscope. Move the specimen around using the platform adjusting knobs until the specimen's notch is centered and near the bottom of the viewing area. Take a picture of the notch.

X1.4.1 *Determination of Notching Radius (Fig. X1.4):*

X1.4.1.1 Place the picture on a sheet of paper. Position the picture so that bottom of the notch in the picture faces downwards and is about 64 mm (2.5 in.) from the bottom of the paper. Tape the picture down to the paper.



Note 1—Magnification = 100x

FIG. X1.2 Example of Transparent Template for Determining Radius of Notch

X1.4.1.2 Draw two lines along the sides of the notch projecting down to a point where they intersect below the notch Point I (see Fig. X1.4B).

X1.4.1.3 Open the compass to about 51 mm (2 in.). Using Point I as a reference, draw two arcs intersecting both sides of the notch (see Fig. X1.4C). These intersections are called Ia and Ib.

X1.4.1.4 Close the compass to about 38 mm (1.5 in.). Using Point Ia as the reference point, draw an arc (2a) above the notch, draw a second arc (2b) that intersects with arc 2a at Point J. Draw a line between I and J. This establishes the centerline of the notch (see Fig. X1.4D).

X1.4.1.5 Place the transparent template on top of the picture and align the center of the concentric circles with the drawn centerline of the notch (see Fig. X1.4E).

X1.4.1.6 Slide the template down the centerline of the notch until one concentric circle touches both sides of the notch. Record the radius of the notch and compare it against the limits of 0.2 to 0.5 mm (0.008 to 0.012 in.).

X1.4.1.7 Examine the notch to ensure that there are no flat spots along the measured radius.

X1.4.2 *Determination of Notch Angle*—Place transparent template for determining notch angle (Fig. X1.3) on top of the photograph attached to the sheet of paper. Rotate the picture so that the notch tip is pointed towards you. Position the center point of the template on top of the Point I established in 0° axis of the template with the right side straight portion of the notch. Check the left side straight portion of the notch to ensure that this portion falls between the 44° and 46° lines. If not, replace the blade.

X1.5 A picture of a notch shall be taken at least every 500 notches or if a control sample gives a value outside its 3-sigma limits for that test.

X1.6 If the notch in the control specimen is not within the requirements, take a picture of the notching blade and analyze it by the same procedure used for the specimen notch. If the

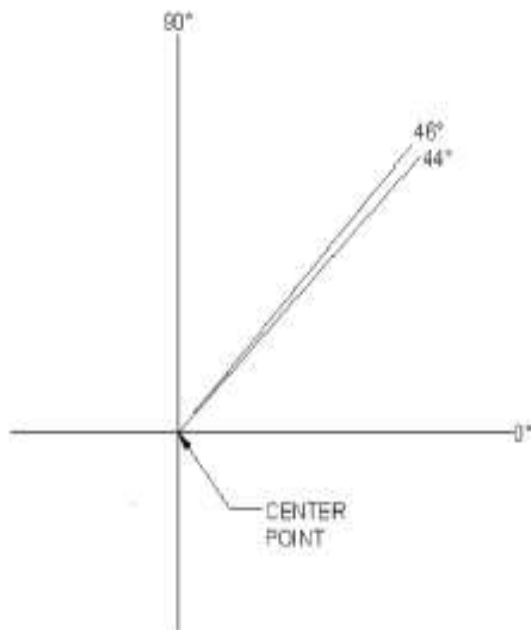


FIG. X1.3 Example of Transparent Template for Determining Angle of Notch

notching blade does not meet ASTM requirements or shows damage, it shall be replaced with a new blade which has been checked for proper dimensions.

the correct notch in the specimen, it will be necessary to evaluate other conditions (cutter and feed speeds) to obtain the correct notch dimension for that material.

X1.7 If a cutter has the correct dimensions, but does not cut

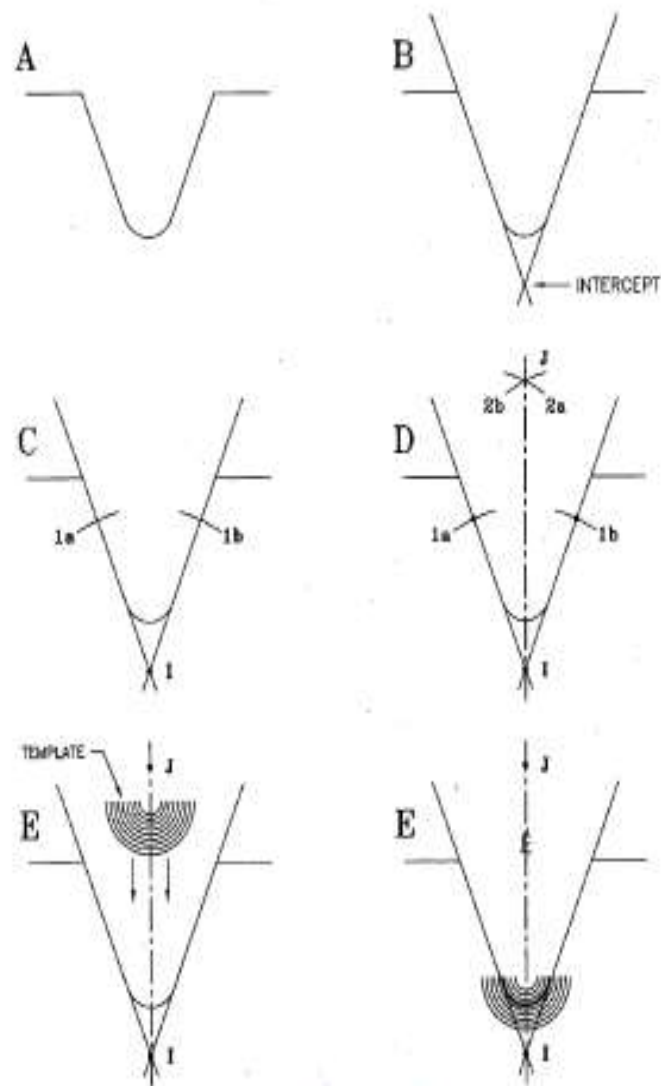


FIG. X1.4 Determination of Notching Radius

X2. CALIBRATION OF PENDULUM-TYPE HAMMER IMPACT MACHINES FOR USE WITH PLASTIC SPECIMENS

X2.1 This calibration procedure applies specifically to the Charpy impact machine.

X2.2 Locate the impact machine on a sturdy base. It shall not walk on the base and the base shall not vibrate appreciably. Loss of energy from vibrations will give high readings. It is recommended that the impact tester be bolted to a base having

a mass of at least 23 kg if it is used at capacities higher than 2.7 J (2 ft-lb).

X2.3 Check the level of the machine in both directions on the plane of the base with spirit levels mounted in the base, by a machinist's level if a satisfactory reference surface is available, or with a plumb bob. Level the machine to within

XI. DERIVATION OF PENDULUM IMPACT CORRECTION EQUATIONS

X3.1 From right triangle distances in Fig. X3.1:

$$L - h = L \cos \beta \quad (X3.1)$$

X3.2 The potential energy gain of pendulum, E_p , is:

$$E_p = hW_p/g \quad (X3.2)$$

X3.3 Combining Eq X3.1 and Eq X3.2 gives the following:

$$L - E_p/W_p g = L \cos \beta \quad (X3.3)$$

X3.4 The maximum energy of the pendulum is the potential energy at the start of the test, E_M , or

$$E_M = h_M W_p g \quad (X3.4)$$

X3.5 The potential energy gained by the pendulum, E_p , is related to the absorption of energy of a specimen, E_s , by the following equation:

$$E_M - E_s = E_p \quad (X3.5)$$

X3.6 Combining Eq X3.3-X3.5 gives the following:

$$(E_M - E_s)W_p g = Lh_M(1 - \cos \beta) \quad (X3.6)$$

X3.7 Solving Eq X3.6 for β gives the following:

$$\beta = \cos^{-1} [1 - (E_p/W_p g)(1 - E_s/E_M)] \quad (X3.7)$$

X3.8 From Fig. X3.2, the total energy correction, E_{TC} , is given as:

$$E_{TC} = m\beta + b \quad (X3.8)$$

X3.9 At the zero point of the pendulum the potential energy is:

$$E_p/2 = m(0) + b \quad (X3.9)$$

$$b = E_p/2 \quad (X3.9)$$

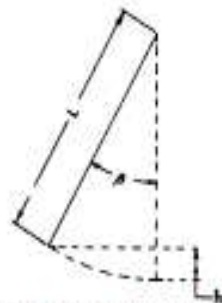


FIG. X3.1 Swing of Pendulum from its Rest Position

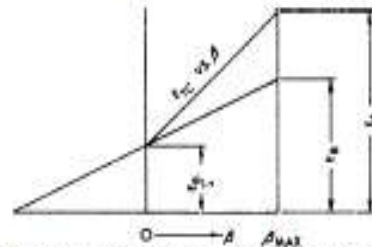


FIG. X3.2 Total Energy Correction for Pendulum Windage and Dial Friction as a Function of Pendulum Position

X3.10 The energy correction, E_A , on the first swing of the pendulum occurs at the maximum pendulum angle, β_{max} . Substituting in Eq X3.8 gives the following:

$$E_A = m\beta_{max} + (E_p/2) \quad (X3.10)$$

X3.11 Combining Eq X3.8 and Eq X3.11 gives the following:

$$E_{TC} = (E_s - (E_p/2))/(\beta/\beta_{max}) + (E_p/2) \quad (X3.11)$$

X3.12 Nomenclature:

- b = intercept of total correction energy straight line,
- E_A = energy correction, including both pendulum windage plus dial friction, J,
- E_p = energy correction for pendulum windage only, J,
- E_M = maximum energy of the pendulum (at the start of test), J,
- E_p = potential energy gain of pendulum from the pendulum rest position, J,
- E_s = uncorrected breaking energy of specimen, J,
- E_{TC} = total energy correction for a given breaking energy, E_p , J,
- g = acceleration of gravity, m/s^2 ,
- h = distance center of gravity of pendulum rises vertically from the rest position of the pendulum, m,
- h_M = maximum height of the center of gravity of the pendulum, m,
- m = slope of total correction energy straight line,
- L = distance from fulcrum to center of gravity of pendulum, m,
- W_p = weight of pendulum, as determined in X2.13, kg, and
- β = angle of pendulum position from the pendulum rest position.

ANEXO D: DATOS TECNICOS “PLA”

MARCA: CREALITY

DESCRIPCIÓN: El PLA (ácido poliláctico) es un material ecológico que puede degradarse fácilmente y sin olor. Es un poliéster alifático termoplástico elaborado a partir de recursos renovables como maíz o almidón. Su temperatura de extrusión es mucho más baja que la del ABS y la mayoría de las veces no requiere una cama caliente. Es el material recomendado "predeterminado" para muchas impresoras 3D de escritorio. Tiene las siguientes características:

- Buena tenacidad alta resistencia, alta rigidez
- Boquilla sin bloque, buen semillero de palo, se utiliza un PLA suave
- Baja contracción, estabilidad dimensional de termoformado
- Diámetro exacto: 1,75 mm, variaciones +/-0,05 mm, redondez +/- 0,03 mm
- La tolerancia del diámetro está dentro de ± 0.02
- El PLA regular en el mercado es muy frágil, nuestro PLA se modifica con más flexibilidad y puede almacenar al menos un año
- Varias veces más resistente que el PLA normal, lo que mejora la resistencia y la resistencia al impacto.
- Excelente unión de capas
- Alta rigidez. Buen brillo.

Especificaciones técnicas:

- **Temperatura de impresión:** 190 - 220 C°
- **Velocidad de flujo:** 5 - 7g / 10 min (190 C° 2.16 Kg)
- **Higroscopicidad:** 0.5 %
- **Resistencia:** 60 MPa
- **Doble de quiebre:** 60 MPa
- **Resistencia a la elongación:** 3.0 %
- **Diámetro:** 1.75 mm
- **Peso neto:** 1 kg
- **Dimensiones del producto:** 200mm diámetro 66mm de altura diámetro del círculo central 56mm

ANEXO E: DATOS TECNICOS “ABS”

MARCA: CREALITY

DESCRIPCIÓN: Filamento ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) de Creality, uno de los materiales de impresión 3D más populares, generalmente utilizado para impresiones más duraderas.

Características

- Alta pureza, sin burbujas.
- Alta precisión, control de tolerancia dentro de 0.02 mm, el efecto de impresión es más notable.
- Buena resistencia a la tracción, ductilidad, fluidez, alta tenacidad y bajo peso.
- Adecuado para impresoras 99% FDM en el mercado 3D.

Especificaciones técnicas

- Temperatura de la boquilla: 215-245 °C
- Densidad: 1.02 + - 0.02g / cm³
- Índice de fluidez: 30g + -1.2g / 10 min (200°C, 5Kg)
- Absorción de agua: 0.25%
- Fuerza de Tensión: 45.2 + -1.4 Mpa
- Módulo de flexión: 2388 + -230 Mpa
- Rompiendo el alargamiento: 35.3% + - 3.4%
- Diámetro del filamento: 3 mm / 1.75 mm
- Burbuja:100% sin burbujas
- Peso: 1 kg (longitud de filamento 340 m)
- Tamaño de la rueda de filamento: Diámetro 200 mm, altura 66 mm, diámetro del orificio 56 mm
- Temperatura de la cama caliente: 90°C

ANEXO F: FICHA TECNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Material:	
Configuración:	

PORCENTAJE DE RELLENO 30%

Espesor Pared	0.8	1.2	1.6
N.1			
N.2			
N.3			
N.4			
N.5			
Peso Unitario			
promedio			

PORCENTAJE DE RELLENO 60%

Espesor Pared	0.8	1.2	1.6
N.1			
N.2			
N.3			
N.4			
N.5			
Peso Unitario			
promedio			

PORCENTAJE DE RELLENO 80%

Espesor Pared	0.8	1.2	1.6
N.1			
N.2			
N.3			
N.4			
N.5			
Peso Unitario			
promedio			

Observaciones:

.....
.....



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL APRENDIZAJE
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 04/05/2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Moab Ignacio Arias Avalos Diego Marcelo López Ayala
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Mecánica
Título a optar: Ingeniero Mecánico
f. Analista de Biblioteca responsable: Lic. Luis Caminos Vargas Mgs.

**LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS**

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2021.05.04 15:17:39
-05'00'



1031-DBRAI-UTP-2021