



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERA MECÁNICA**

TEMA:

“ESTUDIO DEL PROCESO DE CORTE LÁSER DE CO₂ DEL
MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA
REFORZADA CON FIBRA DE ABACÁ”

AUTOR: Marilyn Johaira Riera Riera

TUTOR: Ing. Mg. Cristian Pérez

AMBATO – ECUADOR

2019

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniera Mecánica, con el tema: **“ESTUDIO DEL PROCESO DE CORTE LÁSER DE CO₂ DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE ABACÁ”** elaborado por la señorita Marilyn Johaira Riera Riera, egresada de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que la presente tesis es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos.
- Es concluida y puede continuar con el trámite correspondiente.

Por lo tanto, autorizo la presentación de este documento ante el organismo pertinente, para que sea sometido a evaluación por los profesores calificadores designados por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad.

Ambato, Mayo del 2019

.....

Ing. Mg. Cristian Pérez

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Marilyn Johaira Riera Riera, portadora de la C.I. 050288173-3 tengo a bien indicar que las ideas mostradas en el presente trabajo experimental: **“ESTUDIO DEL PROCESO DE CORTE LÁSER DE CO₂ DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE ABACÁ”**, son auténticos y de absoluta responsabilidad del autor, a excepción de las fuentes bibliográficas que se encuentran citadas en el trabajo de investigación.

Ambato, Mayo del 2019

AUTOR

.....
Marilyn Johaira Riera Riera

C.I. 0502881733

Autor

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación según las normas de la institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Trabajo Experimental dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Mayo de 2019

AUTOR

.....
Marilyn Johaira Riera Riera

C.I. 0502881733

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO

Los miembros del tribunal aprueban el informe del Trabajo Experimental sobre el tema: **“ESTUDIO DEL PROCESO DE CORTE LÁSER DE CO₂ DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE ABACÁ”** elaborado por Marilyn Johaira Riera Riera, el mismo que guarda conformidad con las disposiciones reglamentarias emitidas por la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

Ambato, Mayo del 2019

Para constancia firman:

.....

Ing. Luis Escobar Mg.

.....

Ing. María Belén Paredes Mg.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios y la Virgen, por ser un pilar fundamental en mi vida, por convertirse en mi fortaleza en aquellos momentos en los que me sentí débil y por permitirme cumplir un sueño tan anhelado junto a toda mi familia.

A mi madre Amparito, pues ella con su ejemplo me ha enseñado que con trabajo duro es posible cumplir todas las metas que me he trazado.

A mi padre Fernando, que sin importarle el cansancio ha trabajado incansablemente por verme cumplir mis sueños; mi amigo quien siempre ha estado dispuesto a brindarme su apoyo y consejo cuando más lo he necesitado.

A mi hermana Belina, quien nunca dudó de mí y siempre me brindó su apoyo a lo largo de mi vida estudiantil, por sus consejos y por demostrarme que con esfuerzo y dedicación es posible alcanzar todas las metas que nos proponíamos.

A mis amigos Darwin Villegas, Byron Sánchez y Alex Acosta, quienes estuvieron junto a mí a lo largo de la carrera universitaria, brindándome su apoyo y consejos cuando más lo necesitaba y por compartir junto a mí grandiosas aventuras.

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradezco a Dios y a la Virgen, por otorgarme la vida, la familia y la salud; los momentos felices y las adversidades que me han enseñado que a pesar de las dificultades es posible seguir adelante, por darme fuerza para cumplir mis metas sin desviarme del camino correcto y el poder contribuir con quienes lo necesiten.

Agradezco a mis padres y a mi hermana por su apoyo incondicional, sus consejos, por confiar en mí, por enseñarme con el ejemplo que nada es gratis en esta vida que hay que luchar para alcanzar lo querido y que trabajando siempre con humildad y respeto lograre cumplir cada una de mis metas.

Al tutor de este trabajo, el Ingeniero Cristian Pérez, que confió en mis capacidades para poder desarrollar este trabajo investigativo, por el apoyo y guía brindada durante la elaboración del mismo.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica por transmitirme sus conocimientos, consejos y experiencias de vida durante el proceso de formación profesional.

A mis amigos Johanna Vega, Christian Maldonado, Fernando Freire, Alex Chipantiza, Wilmer Chicaiza, Daniel Saquina, Johnny Sánchez, Christian Lagos, por sus consejos y por estar junto a mí en los tiempos de tristeza y alegría.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PAGINAS PRELIMINARES

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	II
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL GRADO.....	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
RESUMEN EJECUTIVO	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 Tema	1
1.2 Antecedentes investigativos.....	1
1.3 Fundamentación teórica	2
1.3.1 Ingeniería de materiales.....	2
1.3.2 Clasificación de los materiales	2
1.3.2.1 Metales.....	2
1.3.2.2 Cerámicos	3
1.3.2.3 Polímeros	3
1.3.2.4 Materiales compuestos.....	3
1.3.2.5 Material matriz para materiales compuestos de plástico	3
1.3.2.6 Refuerzo.....	4
1.3.2.7 Fibras vegetales.....	4
1.3.2.8 Composición química de las fibras vegetales	6
1.3.2.9 Propiedades mecánicas de las fibras vegetales	6
1.3.2.10 Fibra de abacá	8
1.3.2.11 Propiedades mecánicas y físicas	8
1.3.2.12 Aplicaciones.....	9
1.3.2.13 Tejido plano	9
1.3.2.14 Tipo de estratificación.....	10
1.3.3 Corte por haz de láser	10
1.3.3.1 Corte Láser.....	10

1.3.3.2	Láser.....	10
1.3.3.3	Potencia.....	11
1.3.3.4	Haz	11
1.3.4	Propiedades del material.....	11
1.3.4.1	Propiedades térmicas	11
1.3.4.2	Densidad	11
1.3.4.3	Difusividad térmica.....	12
1.3.4.4	Temperatura superficial	12
1.3.4.1	Pulso de energía en la superficie.....	13
1.3.5	Parámetros del proceso	13
1.3.5.1	Velocidad del corte	13
1.3.5.2	Gas auxiliar	13
1.3.5.3	Calidad del corte	14
1.3.5.4	Rugosidad superficial.....	14
1.3.5.5	Rugosímetro.....	15
1.3.5.6	Índice de inflamabilidad	15
1.4	Objetivos	15
1.4.1	Objetivo General.....	15
1.4.2	Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO II		16
METODOLOGÍA		16
2.1	Materiales.....	16
2.1.1	Fabricación del material compuesto	16
2.2	Métodos.....	20
2.2.1	Método de diseño de experimentos (DOE)	20
2.2.2	Diseño experimental	20
2.2.3	Metodología del corte láser	21
2.2.3.1	Formas geométricas de corte	24
2.2.3.2	Espesor de los materiales	25
2.2.4	Procedimiento.....	25
2.2.4.1	Composición de los materiales	25
2.2.5	Preparación de la fibra de abacá.....	28

2.2.5.1	Adquisición de la materia prima	28
2.2.5.2	Tejido plano entre la fibra de algodón y fibra de abacá.....	29
2.2.6	Fabricación y curado de las probetas.....	29
2.2.6.1	Estratificación manual	29
2.2.6.2	Curación.....	30
2.2.7	Ensayos.....	32
2.2.7.1	Pruebas preliminares del corte láser	32
2.2.8	Selección de parámetros de entrada.....	34
2.2.9	Espesor de los materiales.....	34
2.2.10	Ensayos de corte láser	34
2.2.11	Rugosímetro	38
2.2.11.1	Calibración del rugosímetro.....	38
2.2.11.2	Medición de la rugosidad.....	39
2.2.12	Efecto térmico láser.....	40
2.2.13	Hipótesis.....	40
2.2.14	Señalamiento de variables	40
2.2.14.1	Variable independiente	40
2.2.14.2	Variable dependiente	40
2.3	Operacionalización de variables	41
2.3.1	Variable independiente	41
2.3.2	Variable dependiente	42
2.4	Pruebas de inflamabilidad.....	43
2.4.1.1	Composición de los materiales	43
2.4.1.2	Fabricación de las placas	43
2.4.1.3	Cálculo de la tasa de combustión.....	43
2.4.1.4	Procedimiento	43
2.4.1.5	Resultados	44
2.4.1.6	Descripción de actividades	44
2.4.1.7	Plan de recolección de datos.....	47
CAPÍTULO III.....		48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		48
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	48

3.1.1 Recolección de datos	48
3.1.2 Compuesto de resina poliéster con fibra de abacá (RP+FA)	48
3.1.2.1 Temperaturas medidas con el pirómetro.....	48
3.1.2.2 Mediciones de la rugosidad	49
3.1.2.3 Densidad	51
3.1.2.4 Temperatura superficial	53
3.1.2.5 Tabulación y selección de temperaturas superficiales	55
3.1.2.6 Temperaturas a distintos espesores.....	55
3.1.3 Compuesto de resina epoxi con fibra de abacá (RE+FA)	58
3.1.3.1 Temperaturas medidas con el pirómetro.....	58
3.1.3.2 Mediciones de la rugosidad	59
3.1.3.3 Densidad	60
3.1.3.4 Temperatura superficial	62
3.1.3.5 Tabulación y selección de temperaturas superficiales	64
3.1.3.6 Temperaturas a distintos espesores.....	64
3.1.4 Pruebas de inflamabilidad.....	67
3.2 Verificación de hipótesis.....	71
3.2.1 Análisis de datos de rugosidad	71
3.2.1.1 Verificación de supuestos	71
3.2.1.1.1 Supuesto de normalidad	71
3.2.1.1.2 Supuesto de varianzas iguales	72
3.2.1.1.3 Verificación del supuesto de independencia en las mediciones.....	73
3.2.1.2 Aplicación de la metodología de superficie de respuesta	73
3.2.1.3 Optimización de la rugosidad	79
3.2.1.4 Verificación de hipótesis respecto a la rugosidad.....	80
3.2.2 Análisis de datos de temperatura	81
3.2.2.1 Verificación de supuestos	81
3.2.2.1.1 Supuesto de normalidad	81
3.2.2.1.2 Supuesto de varianzas iguales	82
3.2.2.1.3 Verificación del supuesto de independencia en las mediciones.....	83
3.2.2.2 Aplicación de la metodología de superficie de respuesta	83
3.2.2.3 Optimización de la rugosidad	89

3.2.2.4 Verificación de hipótesis respecto al efecto térmico	90
CAPÍTULO IV	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
4.1 Conclusiones.....	91
4.2 Recomendaciones.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94
ANEXOS.....	96
Anexo I: Fichas de reporte de las pruebas de inflamabilidad epoxi	96
Anexo II: Fichas de reporte de las pruebas de inflamabilidad poliéster	102
Anexo III: Norma ISO 3795	108
Anexo IV: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1668 “VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTERPROVINCIAL”.	120
Anexo V. Norma NTE INEN 1668 “Vehículos De Transporte Público De Pasajeros Intrarregional Interprovincial E Interprovincial”	121
Anexo VI. Informe técnico de las mediciones de las rugosidades (Ra) de las probetas del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de abacá.	122
Anexo VII. Informe técnico de las mediciones de las rugosidades (Ra) de las probetas del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de abacá.	127
Anexo VIII. Informe técnico de los ensayos de inflamabilidad de las probetas del material compuesto de matriz poliéster reforzado con Fibra de Abacá.	132
Anexo IX. Informe técnico de los ensayos de inflamabilidad de las probetas del material compuesto de matriz epoxi reforzado con Fibra de Abacá.	136
Anexo X. Factura de la adquisición de licencia de software estadístico Minitab®.	140
Anexo XI. Rugosímetro MITUTOYO SJ 210 con su manual.....	141
Anexo XII. Certificado de calibración del Rugosímetro MITUTOYO SJ-210.....	142
Anexo XIII.. Pirómetro CEM DT – 8867H con su manual.	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Propiedades de la resina poliéster y epoxi modeladas sin relleno.	3
Tabla 1-2. Tipos de fibras naturales y su ubicación dentro de la planta	5
Tabla 1-3. Composición química en porcentaje de las fibras vegetales	6
Tabla 1-4. Ventajas y desventajas de refuerzo vegetal	7
Tabla 1-5. Comparación de las fibras vegetales con respecto a la fibra de vidrio	7
Tabla 1-6. Comparación entre fibras vegetales y fibra de vidrio	7
Tabla 1-7. Propiedades mecánicas de distintos tipos de fibras naturales.....	8
Tabla 1-8. Rugosidad permitida para cada proceso	14
Tabla 2-1. Equipo de protección personal.....	16
Tabla 2-2. Equipos y herramientas.....	17
Tabla 2-3. Listado de materiales	18
Tabla 2-4. Parámetros de corte.....	21
Tabla 2-5. Especificaciones técnicas de la Máquina Cortadora Láser.....	22
Tabla 2-6. Factores controlables	23
Tabla 2-7. Factores difíciles de controlar.....	23
Tabla 2-8. Salida	23
Tabla 2-9. Masas totales de la fibra y resinas	28
Tabla 2-10. Parámetros en cortes preliminares del compuesto (RP + FA).....	32
Tabla 2-11. Parámetros en cortes preliminares del compuesto (RE + FA).....	33
Tabla 2-12. Parámetros seleccionados del compuesto (RP + FA).....	34
Tabla 2-13. Parámetros seleccionados del compuesto (RE + FA).....	34
Tabla 2-14. Parámetros combinados utilizados en el corte láser del compuesto (RP+FA).....	36
Tabla 2-15. Parámetros combinados utilizados en el corte láser del compuesto (RE+FA).....	37
Tabla 2-16. Operacionalización de la variable independiente.	41
Tabla 2-17. Operacionalización de la variable dependiente.	42
Tabla 2-18. Pesos totales de la fibra y resinas	43
Tabla 2-19. Tipos de materiales utilizados para el ensayo de inflamabilidad	45
Tabla 3-1. Medición de temperaturas con pirómetro del compuesto (RP+FA).....	48
Tabla 3-2. Resultados de la rugosidad superficial, compuesto (RP + FA)	49
Tabla 3-3. Medición de la masa promedio.....	51
Tabla 3-4. Cálculo de los tiempos de pulso láser.....	53
Tabla 3-5. Propiedades y datos generales necesarios para el cálculo del compuesto (RP + FA).....	53
Tabla 3-6. Cálculo de las temperaturas superficiales en el compuesto (RP + FA)....	54
Tabla 3-7. Comparación de las temperaturas medidas con el pirómetro y las calculadas en el compuesto de (RP + FA)	55
Tabla 3-8. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en la placa de (RP + FA).....	55

Tabla 3-9. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en el compuesto de (RP + FA), replica 1	56
Tabla 3-10. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en el compuesto de (RP + FA), replica 2.....	57
Tabla 3-11. Medición de temperaturas con pirómetro del compuesto (RE+FA).....	58
Tabla 3-12. Resultados de la rugosidad superficial, compuesto (RE + FA)	59
Tabla 3-13. Medición de la masa promedio.....	60
Tabla 3-14. Cálculo de los tiempos de pulso láser.....	62
Tabla 3-15. Propiedades y datos generales necesarios para el cálculo del compuesto (RE + FA).....	62
Tabla 3-16. Cálculo de las temperaturas superficiales en el compuesto (RE + FA)..	63
Tabla 3-17. Comparación de las temperaturas medidas con el pirómetro y las calculadas en el compuesto de (RE + FA)	64
Tabla 3-18. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en la placa de (RE + FA).....	64
Tabla 3-19. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en el compuesto de (RE + FA), replica 1.....	65
Tabla 3-20. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en el compuesto de (RE + FA), replica 2.....	66
Tabla 3-21. Pruebas de inflamabilidad del compuesto (RP + FA)	67
Tabla 3-22. Pruebas de inflamabilidad del compuesto (RE + FA)	69
Tabla 3-23. ANOVA para la rugosidad.	74
Tabla 3-24. Valores predichos para el punto óptimo de la rugosidad.....	79
Tabla 3-25. Verificación de hipótesis.	80
Tabla 3-26. ANOVA para la temperatura.....	84
Tabla 3-27. Valores predichos para el punto óptimo de la temperatura.	89
Tabla 3-28. Verificación de hipótesis.	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Fibras floemáticas en corte transversal del tallo de lino	5
Figura 1-2: Aplicaciones de la fibra de abacá.....	9
Figura 1-3. Estructura básica de tejido plano.....	10
Figura 1-4. Rugosímetro	15
Figura 2-1. Cortadora láser RICOMA	22
Figura 2-2. Variables del proceso	23
Figura 2-3. Modelo del experimento.....	24
Figura 2-4. Forma geométrica de corte (Rectangular).....	24
Figura 2-5. Dimensionamiento de la plancha para cada compuesto.....	25
Figura 2-6. Fibra de abacá.....	28
Figura 2-7. Telar textil	29
Figura 2-8. Tejido plano entre la fibra de algodón y fibra de abacá.....	29
Figura 2-9. Pesaje de las resinas poliméricas.....	30
Figura 2-10. Estratificación manual.....	30
Figura 2-11. Ingreso de las probetas al secador infrarrojo.....	31
Figura 2-12. Curado de las probetas a una temperatura de 60°C.....	31
Figura 2-13. Compuesto desmontado (RP + FA)	31
Figura 2-14. Compuesto desmontado (RE + FA)	32
Figura 2-15. Cortes preliminares del compuesto (RP + FA)	33
Figura 2-16. Cortes preliminares del compuesto (RE + FA)	33
Figura 2-17. Corte láser del material compuesto	35
Figura 2-18. Codificación del compuesto (RP + FA)	35
Figura 2-19. Codificación del compuesto (RE + FA)	35
Figura 2-20. Cortes de las probetas del compuesto (RP + FA).....	36
Figura 2-21. Cortes de las probetas del compuesto (RE + FA)	37
Figura 2-22. Rugosímetro MITUTOYO SJ 210	38
Figura 2-23. Ensamble del Rugosímetro MITUTOYO SJ 210	38
Figura 2-24. Montaje del rugosímetro	38
Figura 2-25. Calibración correcta	39
Figura 2-26. Ubicación de la probeta y el rugosímetro.....	39
Figura 2-27. Medición de la rugosidad	39
Figura 2-28. Medición de la temperatura superficial de la placa.....	40
Figura 2-29. Medición de masas de los compuestos.....	40
Figura 2-30. Probeta de RE + FA	45
Figura 2-31. Probeta de RE + FA	45
Figura 2-32. Altura de llama	46
Figura 2-33. Insertar la probeta en la cámara.....	46
Figura 2-34. Esperar que llegue el pie de llama a la primera marca	46
Figura 2-35. Probeta ya ensayada	47
Figura 3-1. Gráfica de probabilidad normal de la rugosidad.	71

Figura 3-2. Gráfica de igualdad de varianza en los tratamientos de la rugosidad.	72
Figura 3-3. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la rugosidad.	73
Figura 3-4. Diagrama de Pareto de los efectos para la rugosidad.	74
Figura 3-5. Diagrama de Pareto de los efectos considerados significativos para la rugosidad.	75
Figura 3-6. Gráfica de probabilidad normal de los efectos de la rugosidad.	76
Figura 3-7. Gráfica de efectos principales para la rugosidad.	76
Figura 3-8. Gráfica de interacción para la rugosidad.	77
Figura 3-9. Gráfica de superficie para la rugosidad vs la potencia y la velocidad; con resina poliéster.	78
Figura 3-10. Gráfica de superficie para la rugosidad vs la potencia y la velocidad; con resina epoxi.	78
Figura 3-11. Gráfica de optimización para la rugosidad.	79
Figura 3-12. Gráfica de probabilidad normal de la temperatura.	81
Figura 3-13. Gráfica de igualdad de varianza en los tratamientos de la temperatura. ..	82
Figura 3-14. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la temperatura.	83
Figura 3-15. Diagrama de Pareto de los efectos para la temperatura.	84
Figura 3-16. Diagrama de Pareto de los efectos considerados significativos para la temperatura.	85
Figura 3-17. Gráfica de probabilidad normal de los efectos de la temperatura.	86
Figura 3-18. Gráfica de efectos principales para la temperatura.	86
Figura 3-19. Gráfica de interacción para la temperatura.	87
Figura 3-20. Gráfica de superficie para la temperatura vs la potencia y la velocidad; con resina poliéster.	88
Figura 3-21. Gráfica de superficie para la temperatura vs la potencia y la velocidad; con resina epoxi.	88
Figura 3-22. Gráfica de optimización para la temperatura.	89

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TEMA: “ESTUDIO DEL PROCESO DE CORTE LÁSER DE CO₂ DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE ABACÁ”

AUTOR: Marilyn Johaira Riera Riera

TUTOR: Ing. Cristian Pérez Mg.

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente trabajo experimental se realizó el proceso de Corte Láser por CO₂, en el que se elaboraron dos planchas de materiales compuestos que son: (resina poliéster combinado con fibra de abacá) y (resina epoxi combinado con fibra de abacá), los que fueron sometidos a cortes; por lo que se planteó un proceso de análisis basado en el método de superficie de respuesta, en el que intervinieron los parámetros de corte como son: la potencia, velocidad y resina, con sus distintos niveles; generando un total de 26 combinaciones con sus réplicas, obteniendo un total 52.

Una vez realizados los cortes se evaluó la calidad superficial del material mediante la rugosidad superficial (Ra), para lo que se utilizó un rugosímetro Mitutoyo SJ-210 logrando así determinar la rugosidad superficial mínima del material de 3,4833 μm , cumpliendo así con lo establecido en la Norma ISO 1302; se determinó también la temperatura crítica (T) del corte a través de cálculos y se tomaron medidas de la temperatura en la superficie mientras se cortaba con el pirómetro consiguiendo una menor temperatura crítica que disminuye sin duda la cantidad de material quemado.

Se realizó una prueba complementaria en la que se obtuvo el índice de inflamabilidad de los materiales compuestos, el proceso para realizar dichos ensayos esta detallado en la norma ISO 3795; se calculó el índice de combustión obteniendo 15,9 y 19,9 mm/min respectivamente, cumpliendo así con lo requerido por las normas, ya que, estos no sobrepasan el índice de combustión máximo de 100 mm/min y 250 mm/min establecido en las normas NTE INEN 1668 y NTE INEN 1323 respectivamente.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF MECHANICAL AND CIVIL ENGINEERING
MECHANICAL ENGINEERING CAREER

THEME: “STUDY OF THE CO₂ LASER CUTTING PROCESS OF THE MATERIAL COMPOSED OF POLYMERIC MATRIX REINFORCED WITH ABACÁ FIBER”.

AUTHOR: Marilyn Johaira Riera Riera

TUTOR: Ing. Cristian Pérez Mg.

ABSTRACT

In the present experimental work the process of Laser Cutting by CO₂ was carried out, in which two sheets of composite materials were made as: (polyester resin combined with abaca fiber) and (epoxy resin combined with abaca fiber), which they were subjected to cuts; therefore, an analysis process based on the surface response method was proposed, in which the cutting parameters intervened, such as: power, speed and resin with their different levels; generating a total of 26 combinations with their replicas and obtaining a total of 52.

Once the cuts were made, the surface quality of the material was evaluated by means of the surface roughness (Ra), for which a Mitutoyo SJ-210 rugosimeter was used, achieving thus to determine the minimum surface roughness of the material of 3.4833 μm, fulfilling like this with the established in ISO Standard 1302; the critical temperature (T) of the cut was also determined through calculations and temperature measurements of the surface were taken while it was cutting with the pyrometer, and getting a lower critical temperature which undoubtedly decreases the amount of material burned.

A complementary test was carried out in which the flammability index of the composite materials was obtained, the process to perform these essays is detailed in the ISO 3795 standard; the combustion index was calculated obtaining 15.9 and 19.9 mm / min respectively, fulfilling like this with the requirements of the standards, since they do not exceed the maximum combustion index of 100 mm / min and 250 mm / min established in the standards NTE INEN 1668 and NTE INEN 1323 respectively.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Tema

“ESTUDIO DEL PROCESO DE CORTE LÁSER CON CO₂ DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON FIBRA DE ABACÁ”

1.2 Antecedentes investigativos

En busca de información para la elaboración de este estudio es necesario citar los siguientes trabajos los cuales servirán de referencia en nuestra investigación.

“ESTUDIO DE CORTE LÁSER POR CO₂ EN MATERIALES COMPUESTOS: FIBRA DE VIDRIO (FV) + RESINA POLIÉSTER, FIBRA DE VIDRIO (FV)+FIBRA NATURAL (FN) + RESINA POLIÉSTER” esta investigación fue realizada por Rony Rubén Rojas Moposita, previo a la obtención de ingeniero mecánico, en la Universidad Técnica de Ambato, en el 2018, quién concluye que:

- Los parámetros para realizar un corte láser CO₂ en el compuesto tradicional formado por fibra de vidrio más resina poliéster, que brindan una rugosidad superficial (Ra) adecuada y que le queman al material en lo más mínimo, se lo consiguen con una potencia de 50W y velocidad de corte de 10 m/s.
- Los parámetros para realizar un corte láser CO₂ en el compuesto híbrido formado por fibra de vidrio, resina poliéster y fibra de cabuya, que brindan una rugosidad superficial (Ra) adecuada y que le quema al material en lo más mínimo, se lo consiguen con una potencia de 85W y velocidad de corte de 10 m/s [1].

“CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HIBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ” esta investigación fue realizada por Geovanny Santiago Benavides Salinas previo a la

obtención de ingeniero mecánico, en la Universidad Técnica de Ambato, en el 2017, quién concluye que:

- Los resultados obtenidos de las probetas sometidos a los diferentes ensayos por tracción, flexión e impacto permiten destacar la caracterización del caso 3 como el mejor grupo que presenta las mejores propiedades mecánicas, utilizando tres capas de refuerzo de tejido plano en orientaciones (0°, 90°); (45°, 135°); (0°, 90°) respectivamente y espesor promedio de 4,88 mm [2].

En el artículo técnico “CO₂ LASER CUTTING OF DIFFERENT MATERIALS”, redactado por Pushkal Badoniya para la revista Journal of Constructional Steel Research resume lo siguiente:

- El corte láser es uno de los procesos de mecanizado avanzado de tipo sin contacto basado en la energía térmica más ampliamente utilizado que se puede utilizar para casi toda la gama de materiales. El ancho del corte o corte láser, la calidad de los bordes cortados y el costo de operación se ven afectados por la potencia del láser, la velocidad de corte, la presión del gas auxiliar, el diámetro de la boquilla y la posición del punto de enfoque, así como el material de la pieza de trabajo [3].

1.3 Fundamentación teórica

1.3.1 Ingeniería de materiales

Se interesa inicialmente en el empleo de conocimientos aplicados a los materiales, de manera que estos sean de utilidad para la sociedad [4]. Se fundamenta en las relaciones, propiedades y estructura de un material para conseguir un conjunto de propiedades [5].

1.3.2 Clasificación de los materiales

1.3.2.1 Metales

Estos materiales se caracterizan por presentar una buena conductividad térmica y eléctrica, una resistencia y rigidez relativamente altas siendo utilizados normalmente en aplicaciones estructurales o de carga [6].

1.3.2.2 Cerámicos

Son materiales que se caracterizan por ser frágiles o quebradizos, no obstante, son muy fuertes y duros. En la actualidad se ha conseguido mediante su proceso de fabricación ser utilizados en aplicaciones de carga, como los impulsores en motores de turbina [6].

1.3.2.3 Polímeros

Son materiales que se caracterizan por presentar una baja conductividad térmica y eléctrica, una resistencia y rigidez baja. Los polímeros se dividen en dos grupos los cuales son:

- **Termoplásticos:** son cadenas moleculares largas no conectadas de manera rígida, presentando buena ductilidad y confortabilidad.
- **Termoestables:** son cadenas que se encuentran fuertemente enlazadas, por lo que son más resistentes, aunque más frágiles [6].

1.3.2.4 Materiales compuestos

Se define al material compuesto como la combinación de dos o más materiales micro y macro constituyentes los cuales se encuentran separados por una intracara, estos materiales difieren ya sea en su composición química como en su forma siendo insolubles entre sí [4].

La importancia que prestan los materiales compuestos para la ingeniería es que al combinarse, estos forman un material cuyas propiedades superan a las proporcionadas por los materiales de forma individual [4].

1.3.2.5 Material matriz para materiales compuestos de plástico

Las dos matrices que han mostrado mayor relevancia son la resina poliéster no saturada y resina epoxi [4].

En la Tabla 1-1 se encuentran algunas de las propiedades de las resinas poliéster y epoxi, rígidas fundidas sin relleno.

Tabla 1-1. Propiedades de la resina poliéster y epoxi modeladas sin relleno.

	Poliéster	Epoxi
Resistencia a la tensión, ksi (MPa)	6-13(40-90)	8-19(55-130)
Módulo de elasticidad bajo tensión, Msi (MPa)	0,30-0,64(2,0-4,4)	0,41-0,61(2,8-4,2)
Esfuerzo de fluencia a la flexión, ksi (MPa)	8,5-23(60-160)	18,1(125)
Resistencia al impacto (Prueba Izod de resistencia), $pie * \frac{lb}{pulg} \left(\frac{J}{m}\right)$ con muesca	0,2-0,4(10,6-21,2)	0,1-1,0(5,3-53)
Densidad $\left(\frac{g}{cm^3}\right)$	1,10-1,46	1,2-1,3
Calor específico $\frac{J}{K*kg}$	1200 – 1350	1490 - 2000
Conductividad térmica a 23°C $\frac{W}{m*K}$	0,15 – 0,4	0,18 - 0,5

Fuente: [4]

La diferencia de precios de las resinas constituye principalmente la calidad en la resistencia que presenta cada una con respecto a la otra, siendo la resina epoxi la que presenta un valor más elevado [4].

Aplicaciones

La resina poliéster no saturado se encuentra presente en la conformación de cascos de lanchas, paneles de construcción, paneles estructurales para automóviles, aviones y electrodomésticos [4].

La resina epoxi al presentar menor contracción, es utilizada mayormente como aglutinante para compuestos con fibras de carbono y de aramida [4].

1.3.2.6 Refuerzo

El refuerzo se puede clasificar en tres categorías, las cuales son: fibras, whiskers y partículas. A partir de las propiedades mecánicas presentadas por cada una de las categorías, se puede obtener las mejores características por partes de las fibras continuas, mientras que con los whiskers y partículas se experimenta menor resistencia pero se obtiene gran isotropía del material [7].

1.3.2.7 Fibras vegetales

Son filamentos lignocelulósicos, formado por células largas y delgadas de esclerénquima, que forman parte de las plantas y que cumplen funciones como darles

soporte, fuerza y rigidez a los tejidos vegetales. Las fibras se pueden clasificar en tres grupos los cuales son: fibras blandas, duras y de superficie [8].

Las fibras blandas se ubican en la parte liberiana del tallo y actúa como esqueleto dando rigidez y resistencia estructural. Se denominan así porque presentan una textura suave al tacto, flexibilidad y finura. Entre las que tenemos el lino, el ramio, el yute y el cáñamo [9].

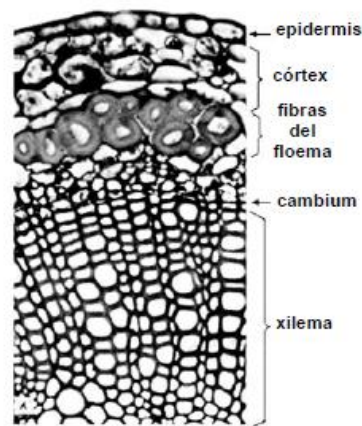


Figura 1-1. Fibras floemáticas en corte transversal del tallo de lino

Fuente: [9]

Las fibras duras constituyen las hojas de ciertas plantas como son: la cabuya, el abacá, el plátano y el formio. Por lo general estas fibras son de mayor grosor, aspereza y rigidez, ya que poseen un alto contenido de lignina. Estas se obtienen cuando se realiza un proceso de descortezación, en el que se separa mecánicamente la corteza del tallo [8].

Fibras de superficie son representadas por los pelos de la epidermis de las semillas como es el algodón [8].

En la Tabla 1-2 se muestra las fibras que se produce comercialmente y su ubicación dentro de la planta.

Tabla 1-2. Tipos de fibras naturales y su ubicación dentro de la planta

F. Blandas	F. Duras	F. Superficie	Otras	
Tallo	Hojas	Semillas	Fruto	Caña
Cáñamo	Abacá	Algodón	Palma aceitera	Esparto

Ramio	Sisal	Kapok	Coco	Bejuco
Lino	Cuaruá	Algodoncillo		Bambú
Yute				

Fuente: [8]

1.3.2.8 Composición química de las fibras vegetales

Las fibras vegetales están compuestas principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina por esta razón son llamadas lignocelulósicas. La composición química varía según: la especie, la edad de la planta y situación climática. En la Tabla 1-3 se exhibe el contenido de estos componentes en las fibras naturales [10].

Tabla 1-3. Composición química en porcentaje de las fibras vegetales

Fibra	Celulosa (% peso)	Hemicelulosa (%peso)	Lignina (% peso)
Lino	71,2	18 –20	2,2
Cáñamo	70 –75	17 –22	3,7 –5,7
Yute	61 –71	13 –20	8,1 –13
Kenaf	45 –57	21	8 –13
Ramio	68 –76	13 –16	0,6 –0,7
Abacá	63 –70	20 –21	5 –6
Sisal	67 –78	10 –14	8 –14
Algodón	82 – 93	3 –6	–
Bambú	35 – 61	15	27 –32
Coco	32 – 43	0,15 –0,25	40 –45
Banana	63 – 64	10	5

Fuente: [10]

1.3.2.9 Propiedades mecánicas de las fibras vegetales

Las fibras presentan características inherentes a su naturaleza, estas determinan su utilidad al combinarlas con compuestos poliméricos. Es importante considerar varios parámetros para la selección de un refuerzo que determinarán la facilidad de su producción y el rendimiento que presentarán. En la Tabla 1-4 se presentan las ventajas y desventajas de la elaboración de compuestos con refuerzo de fibra vegetal [11].

Tabla 1-4. Ventajas y desventajas de refuerzo vegetal

Ventajas	Desventajas
Sostenibilidad	Baja resistencia al agua
Generan un bajo consumo de CO ₂	Alta absorción de agua
Son biodegradables	Baja estabilidad dimensional
Requieren un bajo consumo de energía	Pobre interfaz
No quedan residuos tóxicos de quemaduras	Dureza
Su densidad es baja	Dificultad en su procesamiento
Poseen buenas propiedades mecánicas	Calidad heterogénea
No son tóxicas ni abrasivas	Demanda y ciclos de suministros variables
Tienen bajo costo	Presentan alta flameabilidad

Fuente: [12]

En la actualidad en la industria se está optando por sustituir las fibras sintéticas con fibra vegetal ya que estas presentan múltiples ventajas respecto a las fibras sintéticas, tal como se muestra en la Tabla 1-5.

Tabla 1-5. Comparación de las fibras vegetales con respecto a la fibra de vidrio

Cualidades	Fibras naturales “FN”	Fibra de vidrio
Densidad	Bajo	Doble que las FN
Costo	Bajo	Bajo, mayor a las FN
Renovable	Si	No
Reciclable	Si	No
Consumo de energía	Bajo	Alto
Abrasión a máquinas	No	Si
Riesgo de inhalación	No	Si
Eliminación	Biodegradable	No es biodegradable

Fuente: [10]

En la Tabla 1-6 se comparan las fibras vegetales con las fibras sintéticas.

Tabla 1-6. Comparación entre fibras vegetales y fibra de vidrio

Fibra	Densidad ($\frac{g}{cm^3}$)	Resistencia a la tracción (MPa)	Módulo de elasticidad (GPa)	Elongación fractura (%)	Absorción de humedad
Vidrio-S	2,5	2000 –3500	70	2,5	–
Vidrio-E	2,5	4570	86	2,8	–
Aramida	1,4	3000 –3150	63 –67	3,3 –3,7	–

Carbón	14	4000	230 –240	1,4 –1,8	–
Cáñamo	1,4	690	35	1,6	8
Yute	1,3	393 –773	26,5	1,5 –1,8	12
Ramio	1,5	400 –938	61,4 –128	3,6 –3,8	12 –17
Coco	1,2	175 –220	4 –6	15 –30	10
Sisal	1,5	511 –635	9,4 –22	1,0 –2,5	11
Abacá	1,3	400 –1289	45	2,7	8 –10
Lino	1,5	345 –1035	27,6	2,7 –3,2	7
Algodón	1,5	393 –773	26,5	7 –8	8 –25

Fuente: [10]

1.3.2.10 Fibra de abacá

El abacá tiene un tiempo de espera para su producción de aproximadamente: de 18 a 24 meses, a partir de los cuales se cosechará cada dos a tres meses. Esta planta se encuentra en las regiones que presenta un clima tropical húmedo con unas temperaturas que varían entre los 22 a 28 ° C [13].

Clasificación

La fibra de abacá a nivel internacional consta con más de 40 variedades, mientras que a nivel nacional se pueden encontrar dos tipos de fibra, los cuales son:

- **Bungalanón:** esta variedad se caracteriza por tener un menor desarrollo como planta, con tallos delgados y pequeños, su coloración es café en su base y verde brillante en la parte superior, produce fibras blancas y suaves.
- **Tangongón:** esta variedad se caracteriza por producir una fibra fuerte con los tallos de mayor diámetro y longitud [13].

1.3.2.11 Propiedades mecánicas y físicas

En la Tabla 1-7 se muestran las propiedades mecánicas de distintos tipos de fibras naturales en el que encontramos la fibra de abacá.

Tabla 1-7. Propiedades mecánicas de distintos tipos de fibras naturales

Fibra	Esfuerzo máximo (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa)
Cáñamo	490	3000-5000
Lino	640	2400-4000

Sisal	169	2860
Abacá	980	7200
Fibra de vidrio tipo S	4590	86000
Fibra de vidrio tipo E	3400	72500

Fuente: [14]

1.3.2.12 Aplicaciones

Las aplicaciones de la fibra de abacá son las siguientes:

- Fabricación de bolsas de té, papel de escritorio de toda calidad, envolturas para embutidos y papel moneda.
- Fabricación de sogas para buques.
- Artesanías, tapicería, hamacas, esteras etc.

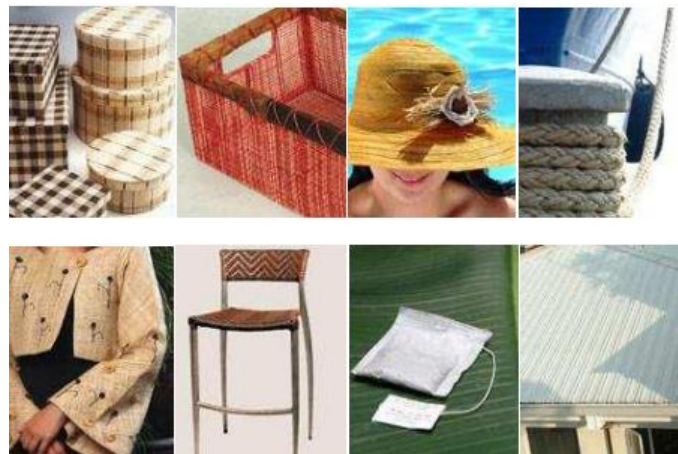


Figura 1-2: Aplicaciones de la fibra de abacá

Fuente. [14]

1.3.2.13 Tejido plano

Son los tejidos más simples formados por filamentos intercalados, en donde las fibras se entrecruzan. Así, la primera fibra correspondiente a la trama pasara por encima de la primera fibra, la segunda por debajo, la tercera por encima y así sucesivamente. Estos tejidos tienen el mayor número de entrelazamientos por unidad de área lo cual puede reducir la resistencia y rigidez de un material compuesto [12].

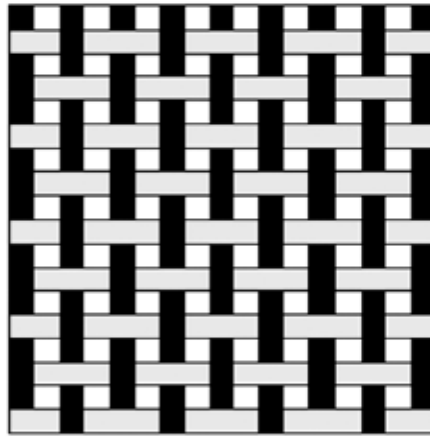


Figura 1-3. Estructura básica de tejido plano

Fuente: [12]

1.3.2.14 Tipo de estratificación

El proceso de estratificación manual o también llamado hand lay-up es la técnica básica para la obtención de materiales compuestos de matriz termo estable. La resina a ser utilizada debe contener en su estructura un monómero reactivo, que formará entrecruzamientos entre las cadenas poliméricas durante el proceso de curado, además de proporcionar la viscosidad adecuada a la resina [15].

1.3.3 Corte por haz de láser

1.3.3.1 Corte Láser

El proceso de corte por láser funciona teniendo un enfoque y un haz láser preciso que se ejecuta mediante el material que se busca cortar, entregando un corte preciso y suave [3].

El láser utilizado esencialmente derrite el material que se pasa por encima, por lo que es más la función del corte. Esto quiere decir que corta con facilidad los materiales como la tela o hasta metales [3].

1.3.3.2 Láser

El láser es tan potente como para cortar materiales, tales como, telas, madera y papel. De igual manera se utiliza el láser de CO₂ para realizar el mecanizado en metales y

otros. Aunque el láser presenta potencias superiores a los 1000W, generalmente se los ocupa en un rango de 25 y 100W para realizar el mecanizado en los elementos [3].

Los punteros láser son una milésima de vatio. Debido a que está en el infrarrojo, generando una longitud de onda que alcanza los 10,6 micrómetros, siendo mucho más larga que la luz visible que se extiende hasta un rango de 450 a 700 nanómetros [3].

1.3.3.3 Potencia

Un aspecto importante de este proceso es que a medida que se aumente la potencia las velocidades de corte son mucho más rápidas permitiendo así mayores profundidades, no obstante esta presenta una desventaja en la que al aumentar la potencia el ancho aumenta, lo que provoca que los bordes se quemen arruinando el acabado y las esquinas aliadas se redondean [16].

1.3.3.4 Haz

El haz en el proceso láser permite distribuir la energía que es expulsada por una sección, lo que da un enfoque en un punto muy pequeño, permitiendo de esta manera reducir el ancho del corte aumentando la velocidad y los espesores de corte [16].

1.3.4 Propiedades del material

1.3.4.1 Propiedades térmicas

Al realizar el corte se debe tomar en cuenta que intervienen las propiedades propias del material como son: la conductividad térmica, la temperatura de fusión y la reflectividad óptica. Por lo que el corte que se realice en los metales es más difícil de realizar con respecto de otros [17].

1.3.4.2 Densidad

Es una propiedad que poseen todos los materiales; sólidos, gaseosos y líquidos; esta propiedad permite determinar la cantidad de material comprimido en cierto espacio, dando lugar a la formación del material y está definida por la Ecuación 1 [4].

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

- $\rho = \text{Densidad } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- $m = \text{Masa } (kg)$
- $v = \text{Volumen } (m^3)$

1.3.4.3 Difusividad térmica

Esta propiedad está presente en un régimen transitorio, la cual indica la velocidad de distribución del calor sobre el material, es la relación entre el calor conducido y el calor almacenado en un volumen del material. Si la difusividad es alta se dice que el calor se distribuye rápidamente, mientras que si el valor es bajo significa que el material ha absorbido en su mayoría el calor y se determina mediante la Ecuación 2 [18].

$$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

- $\rho = \text{Densidad } \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
- $\alpha = \text{Difusividad térmica } (m^2/s)$
- $Cp = \text{Calor específico } \left(\frac{J}{kg^{\circ}C}\right)$
- $k = \text{Conductividad Térmica } \left(\frac{W}{m^{\circ}C}\right)$

1.3.4.4 Temperatura superficial

Es la temperatura en la superficie del material. Su determinación durante el proceso de corte en los materiales compuestos se realiza con la Ecuación 3.

$$T(x, t) - Ti = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t_p}{\alpha}}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Dónde:

- $es = \text{Pulso de energía } \left(\frac{J}{m^2}\right)$
- $\alpha = \text{Difusividad térmica } (m^2/s)$
- $t_p = \text{Tiempo de pulso } (s)$
- $k = \text{Conductividad Térmica } \left(\frac{W}{m^{\circ}C}\right)$ [18].

1.3.4.1 Pulso de energía en la superficie

Al proporcionar energía de manera instantánea (calentamiento) a una superficie de un material por medio de pulsos de energía ($es = constante$) láser, provoca que se genere un incremento de la temperatura de la superficie de forma instantánea, la misma que progresivamente disminuye conforme el calor del rayo láser va penetrando el material. Esto sucede en cortos periodos de tiempo y se lo determina con la siguiente expresión [18]:

$$T(x, t) - T_i = \frac{es}{k \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_n^2}{4\alpha t}\right)\right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Dónde:

- $T(x, t)$: Temperatura final ($^{\circ}\text{C}$),
- T_i : Temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$),
- es : Pulso de energía ($\frac{\text{J}}{\text{m}^2}$),
- t : Tiempo de pulso (s),
- $k = \text{Conductividad Térmica}$ ($\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$)
- $\alpha = \text{Difusividad térmica}$ (m^2/s)
- $x_a = \text{Espesor del material}$ (m).

1.3.5 Parámetros del proceso

1.3.5.1 Velocidad del corte

La velocidad de corte para este proceso depende de gran medida a los espesores que se presente, ya que si el espesor es mayor la velocidad debe disminuir y si es a menor espesor la velocidad aumenta [17].

1.3.5.2 Gas auxiliar

Es de gran importancia el uso de algún tipo de gas auxiliar en este tipo de proceso a medida que cumple con cuatro funciones importantes que son: expulsar el material fundido, proteger el lente de láser de salpicaduras, enfriar el borde cortado y debido a

la reacción exotérmica que produce se genera una fuente de calor adicional dependiendo del gas utilizado [19].

1.3.5.3 Calidad del corte

Es uno de los factores de gran relevancia frente a los diversos procesos, por esto es necesario el estudio detallado de las superficies, a medida que de este factor depende el funcionamiento, rendimiento y comercialización. Para tener una calidad de corte óptima es necesaria la correcta selección de procesos, maquinaria, equipos y herramientas [20].

1.3.5.4 Rugosidad superficial

La calidad superficial presente en los elementos depende de varios factores como son: el material empleado para su fabricación y el proceso que se utilizó para realizar el mecanizado. Ya que por más que se encuentre la superficie totalmente lisa siempre va a presentar irregularidades debido a su proceso de fabricación [20].

Tabla 1-8. Rugosidad permitida para cada proceso

Rugosidad promedio en micrómetros – Ra μm													
Proceso	50	25	12.5	6.3	3.2	1.6	0.80	0.40	0.20	0.10	0.05	0.025	0.012
Arenado	■	■	■										
Aserrado	■	■	■	■	■	■							
Brochada				■	■	■	■						
Bruñido							■	■	■				
Cepillado		■	■	■	■	■							
Cizallado	■	■	■	■									
Corte con soplete	■												
Corte electroquímico		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Corte láser		■	■	■	■	■	■	■	■				
Electroerosión				■	■	■	■	■	■				
Estampado		■	■	■	■								
Esmilado						■	■	■	■	■	■	■	■
Superacabado							■	■	■	■	■	■	■
Taladrado		■	■	■	■	■							
Torneado		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Trefilado				■	■	■	■						
	Aplicación frecuente										Aplicación menos frecuente		

Fuente. [20]

1.3.5.5 Rugosímetro

Es un instrumento el cual permite medir la rugosidad de la superficie de un material con gran precisión, consta de un palpador que se introduce entre los picos, el captador registra el movimiento realizado por el palpador mientras que, el patín que es el apoyo en la superficie, para la monitorización de los datos es que este arrastra a lo largo de la superficie arrojando unos datos electrónicamente. [21]

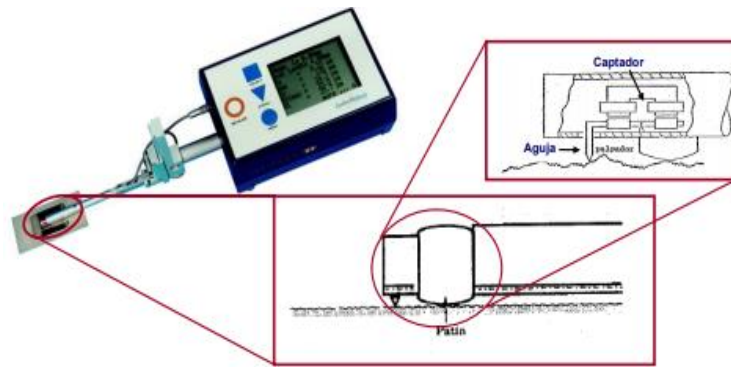


Figura 1-4. Rugosímetro

Fuente. [21]

1.3.5.6 Índice de inflamabilidad

Es el índice de inflamabilidad de la resistencia al fuego que presenta un material, con respecto al tiempo de exposición al que está sometido, para determinar dicho índice está establecida la norma ISO 3795 [22].

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Estudiar los parámetros de corte láser de CO₂ del material compuesto de matriz polimérica reforzado con fibra de Abacá.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Diseñar el modelo experimental de investigación del corte láser de CO₂ del material compuesto.

- Elaborar la probeta del material compuesto con una composición fraccionada del 83% de matriz polimérica y del 17% de material de refuerzo (Fibra de Abacá)
- Evaluar la calidad de la superficie de corte en base a la rugosidad y al efecto térmico láser generado por el proceso.
- Efectuar la prueba de inflamabilidad en el material compuesto en base a la Norma ISO 3795 para determinar la velocidad de combustión y la respuesta del compuesto al fuego.

CAPÍTULO II


METODOLOGÍA

2.1 Materiales

2.1.1 Fabricación del material compuesto

Para la fabricación del material uno de los principales aspectos a tomar son las normas de seguridad en todo proceso, y los distintos porcentajes calculados de los materiales a utilizar para cumplir con lo planteado en el trabajo investigativo.



Tabla 2-1.Equipo de protección personal



NOMBRE	ELEMENTO
Mandil	

<p>Mascarilla</p>	
<p>Guantes</p>	

Fuente. Autor


Tabla 2-2. Equipos y herramientas





<p>NOMBRE</p>	<p>ELEMENTO</p>
<p>Brocha</p>	
<p>Flexómetro</p>	

<p style="text-align: center;">Balanza</p>	
<p style="text-align: center;">Tijeras</p>	

Fuente. Autor

Tabla 2-3. Listado de materiales

NOMBRE	ELEMENTO
<p style="text-align: center;">Fibra de Abacá</p>	

<p>Resina Epoxi</p>	
<p>Resina Poliéster</p>	
<p>Cera</p>	
<p>Acelerante MEK</p>	



Fuente. Autor

2.2 Métodos

2.2.1 Método de diseño de experimentos (DOE)

Este método determina las pruebas necesarias, en el que se obtienen datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionan la evidencia necesaria para responder las interrogantes que se plantearon inicialmente, logrando así, clarificar los aspectos inciertos del proceso, de esta manera se logran mejoras y la resolución de los problemas [23].

2.2.2 Diseño experimental

La metodología del diseño de superficie de respuesta se utilizará a medida que este permite refinar los modelos una vez ya determinados y los factores de mayor relevancia que sirven de base para el estudio efectuado.

En el presente trabajo experimental se utilizó una placa en la que se encuentran 26 cortes en forma rectangular, los cuales están conformadas por un material híbrido el que se encuentra compuesto por (resina epoxi + fibra de abacá) y (resina de poliéster + fibra de abacá), formando un tejido plano en la que las resinas poliméricas constan como matriz y la fibra de abacá como el refuerzo, en la Tabla 2-4 se muestra la potencia, velocidad y el orden de corte de las probetas suministrados por el programa Minitab en el que se utilizó el método de superficie de respuesta para obtener datos más precisos.

Tabla 2-4. Parámetros de corte

Orden de corte	Cód	Potencia	Velocidad	Resina	Orden de corte	Cód	Potencia	Velocidad	Resina
32	6PA	100	12	Poliéster	25	12EA	80	12	Epoxi
6	6PA	100	12	Poliéster	24	11EA	80	12	Epoxi
34	8PA	80	14	Poliéster	19	6EA	100	12	Epoxi
8	8PA	80	14	Poliéster	52	13EA	80	12	Epoxi
12	12PA	80	12	Poliéster	16	3EA	60	14	Epoxi
27	1PA	60	10	Poliéster	50	11EA	80	12	Epoxi
2	2PA	100	10	Poliéster	23	10EA	80	12	Epoxi
11	11PA	80	12	Poliéster	22	9EA	80	12	Epoxi
13	13PA	80	12	Poliéster	17	4EA	100	14	Epoxi
9	9PA	80	12	Poliéster	51	12EA	80	12	Epoxi
7	7PA	80	10	Poliéster	14	1EA	60	10	Epoxi
10	10PA	80	12	Poliéster	41	2EA	100	10	Epoxi
33	7PA	80	10	Poliéster	46	7EA	80	10	Epoxi
30	4PA	100	14	Poliéster	40	1EA	60	10	Epoxi
39	13PA	80	12	Poliéster	44	5EA	60	12	Epoxi
37	11PA	80	12	Poliéster	43	4EA	100	14	Epoxi
31	5PA	60	12	Poliéster	42	3EA	60	14	Epoxi
28	2PA	100	10	Poliéster	49	10EA	80	12	Epoxi
38	12PA	80	12	Poliéster	21	8EA	80	14	Epoxi
35	9PA	80	12	Poliéster	47	8EA	80	14	Epoxi
3	3PA	60	14	Poliéster	48	9EA	80	12	Epoxi
1	1PA	60	10	Poliéster	15	2EA	100	10	Epoxi
36	10PA	80	12	Poliéster	26	13EA	80	12	Epoxi
5	5PA	60	12	Poliéster	18	5EA	60	12	Epoxi
29	3PA	60	14	Poliéster	20	7EA	80	10	Epoxi
4	4PA	100	14	Poliéster	45	6EA	100	12	Epoxi

Fuente. Autor

2.2.3 Metodología del corte láser

- **Proceso:** Corte Láser por CO₂
- **Máquina:** Cortadora Láser



Figura 2-1. Cortadora láser RICOPIA

Fuente: Autor

Tabla 2-5. Especificaciones técnicas de la Máquina Cortadora Láser

Parameter	Index
Laser tube	Hermetic and detached CO2 laser tube
wavelength	10.64 μ m
Laser power adjustment	0~100% (software control)
Cutting speed	6000mm/min
Engraving speed	72000mm/min
Location precision	≤ 0.01 mm
Cooling mode	Specialized laser chiller
Cooling water temperature	10 $^{\circ}$ C ~ 30 $^{\circ}$ C
Working area	Please subject to your actual order
Working power	220V \pm 5% 50HZ/ 60Hz
Surroundings temperature	5 $^{\circ}$ C ~ 35 $^{\circ}$ C
Surroundings relative humidity	$\leq 85\%$

Fuente: [24]

- ✚ **Variables de entrada:** Espesor de la probeta, Potencia de la máquina, Velocidad de corte, Haz láser y la Presión del Gas CO₂.
- ✚ **Variables de salida:** Calidad de corte en base a la rugosidad y efecto térmico producido por el Corte Láser por CO₂.

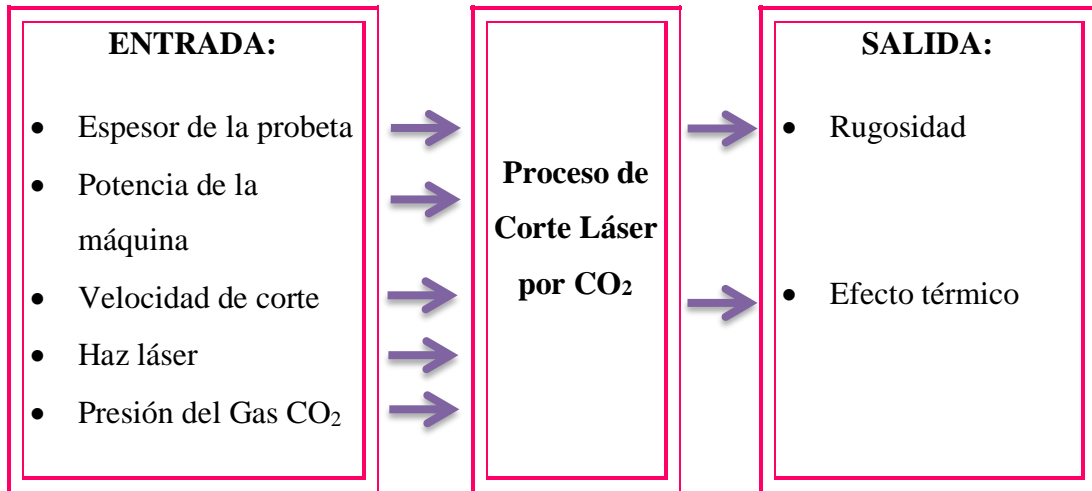


Figura 2-2. Variables del proceso

Fuente. Autor

Al momento de la ejecución del corte se presentan distintos factores los cuales pueden ser controlados, no obstante, al combinarlos nos presenta dos datos importantes para este estudio.

Factores controlables:

Tabla 2-6. Factores controlables

Factores controlables	
Espesor de la Probetas (mm)	P ₁
Potencia de la máquina (W)	P ₂
Velocidad de corte (mm/s)	P ₃

Fuente. Autor

Factores difíciles de controlar:

Tabla 2-7. Factores difíciles de controlar

Factores difíciles de controlar	
Presión del Gas CO ₂	Q ₁
Haz de Láser	Q ₂

Fuente. Autor

Salida:

Tabla 2-8. Salida

Datos de salida	
Rugosidad (μm)	R
Efecto térmico	R'

Fuente. Autor

- **Diagrama**

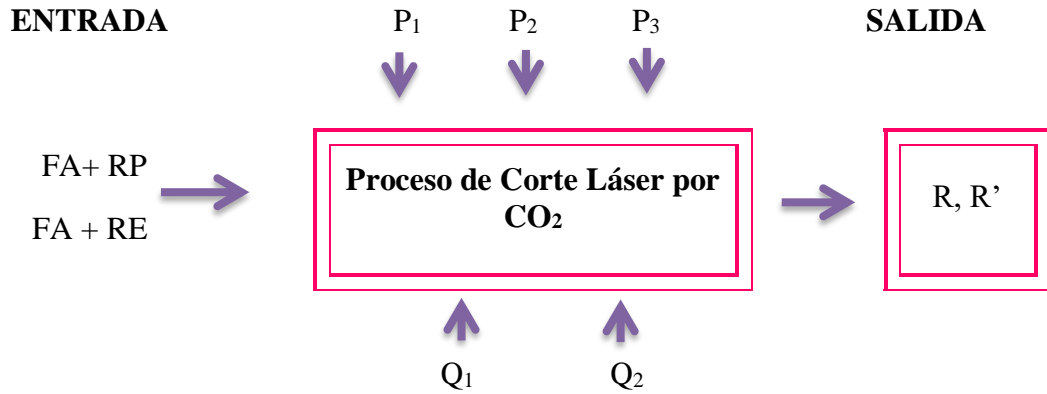


Figura 2-3. Modelo del experimento

Fuente. Autor

2.2.3.1 Formas geométricas de corte

A nivel internacional no se encuentra en vigencia una normativa referente a corte láser por lo que se ha tomado en referencia una investigación previa en la que se realizan cortes en materiales compuestos, con los cuales las trayectorias de corte recto (figura 2-4) permiten determinar la calidad del material a través de su rugosidad y el efecto térmico.

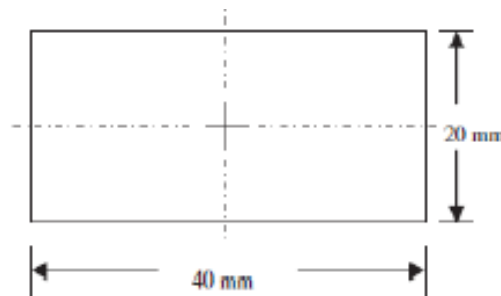


Figura 2-4. Forma geométrica de corte (Rectangular)

Fuente. [1]

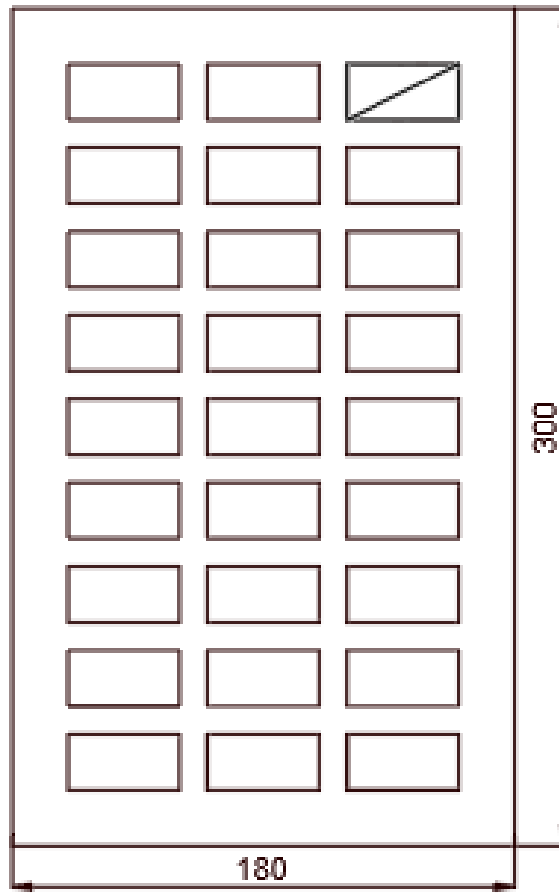


Figura 2-5. Dimensionamiento de la plancha para cada compuesto

Fuente. Autor

2.2.3.2 Espesor de los materiales

El espesor del material fue seleccionado, tomando como referencia la investigación realizada por el Ingeniero Geovanny Benavides, en la que se determinó que este material debe constar de tres capas de tela para el tejido plano teniendo un espesor promedio de 4,88mm.

2.2.4 Procedimiento

2.2.4.1 Composición de los materiales

Compuesto de Resina Poliéster y Fibra de Abacá

Su compuesto está dado por fibra de abacá como material de refuerzo y resina poliéster (RP) como material matriz, la configuración está dada por el 83% de matriz y el 17% de refuerzo con tres capas.

- **Masa de la resina poliéster**

$$V_{Plancha\ base} = 226,8\ cm^3$$

Resina poliéster al 83%

$$V_{Resina\ Poliéster} = V_{Plancha\ base} * \%_{Resina\ Poliéster}$$

$$V_{Resina\ Poliéster} = 226,8\ cm^3 * 83\%$$

$$V_{Resina\ Poliéster} = 188,24\ cm^3$$

$$m_{Resina\ Poliéster} = \rho_{Resina\ Poliéster} * V_{Resina\ Poliéster}$$

$$m_{Resina\ Poliéster} = 1,2\ \frac{g}{cm^3} * 188,24\ cm^3$$

$$m_{Resina\ Poliéster} = 225,88\ g$$

- **Masa de la fibra de Abacá**

Fibra de Abacá al 17%

$$V_{Fibra\ de\ Abacá} = V_{Plancha\ base} * \%_{Fibra\ de\ Abacá}$$

$$V_{Fibra\ de\ Abacá} = 226,8\ cm^3 * 17\%$$

$$V_{Fibra\ de\ Abacá} = 38,56\ cm^3$$

$$m_{Fibra\ de\ Abacá} = \rho_{Fibra\ de\ Abacá} * V_{Fibra\ de\ Abacá}$$

$$m_{Fibra\ de\ Abacá} = 1,3\ \frac{g}{cm^3} * 38,56\ cm^3$$

$$m_{Fibra\ de\ Abacá} = 50,13\ g$$

Compuesto de Resina Epoxi y Fibra de Abacá

Su compuesto está dado por fibra de abacá como material de refuerzo y resina epoxi (RE) como material matriz, la configuración está dada por el 83% de matriz y el 17% de refuerzo con tres capas.

- **Masa de la resina epoxi**

$$V_{Plancha\ base} = 226,8\ cm^3$$

Resina epoxi al 83%

$$V_{Resina\ Epoxi} = V_{Plancha\ base} * \%_{Resina\ Epoxi}$$

$$V_{Resina\ Epoxi} = 226,8\ cm^3 * 83\%$$

$$V_{Resina\ Epoxi} = 188,24\ cm^3$$

$$m_{Resina\ Epoxi} = \rho_{Resina\ Epoxi} * V_{Resina\ Epoxi}$$

$$m_{Resina\ Epoxi} = 1,3\ \frac{g}{cm^3} * 188,24\ cm^3$$

$$m_{Resina\ Epoxi} = 244,71\ g$$

- **Masa de la fibra de Abacá**

Fibra de Abacá al 17%

$$V_{Fibra\ de\ Abacá} = V_{Plancha\ base} * \%_{Fibra\ de\ Abacá}$$

$$V_{Fibra\ de\ Abacá} = 226,8\ cm^3 * 17\%$$

$$V_{Fibra\ de\ Abacá} = 38,56\ cm^3$$

$$m_{Fibra\ de\ Abacá} = \rho_{Fibra\ de\ Abacá} * V_{Fibra\ de\ Abacá}$$

$$m_{Resina\ Epóxica} = 1,3\ \frac{g}{cm^3} * 38,56\ cm^3$$

$$m_{Resina\ Epóxica} = 50,128\ g$$

- **Tabulación de las masas totales de fibras y resinas**

Tabla 2-9. Masas totales de la fibra y resinas

DESCRIPCIÓN	Masas (g)		
	F. Abacá	R. Poliéster	R. Epoxi
Compuesto (Fibra de Abacá + Resina Poliéster)	50,13 g	225,88 g	
Compuesto (Fibra de Abacá + Resina Epoxi)	50,13 g		244,71 g
Total	100,26 g	225,88 g	244,71 g

Fuente: Autor

En la Tabla 2-9 se detalla la masa tanto la resina epoxi como la resina poliéster, al igual que de la fibra de abacá; cabe destacar que para la fabricación de las dos planchas se necesita aproximadamente 100,26 g de fibra de abacá 225,88 g de resina poliéster y 244,71 g de resina epoxi.

2.2.5 Preparación de la fibra de abacá

2.2.5.1 Adquisición de la materia prima

Se obtuvo la fibra directamente de la ciudad de Santo Domingo, de la que se seleccionó la variedad de Tangongón Rojo debido a sus propiedades físicas, siendo seleccionada la calidad 1 de la fibra con la finalidad de obtener los resultados más precisos.



Figura 2-6. Fibra de abacá

Fuente. Autor

2.2.5.2 Tejido plano entre la fibra de algodón y fibra de abacá

El tejido se lo realizó en la parroquia de Salasaca, cantón Pelileo, provincia de Tungurahua en un telar manual.



Figura 2-7. Telar textil

Fuente. Autor



Figura 2-8.Tejido plano entre la fibra de algodón y fibra de abacá

Fuente. Autor

2.2.6 Fabricación y curado de las probetas

En la fabricación de las probetas se utilizaron los materiales que se describen en el literal 2.1.1, así como también se tomó en referencia lo descrito la Tabla 2-9 referente a la composición de las planchas.

2.2.6.1 Estratificación manual

El conformado de las probetas se lo realizó mediante estratificación manual, para lo cual se realizaron las mediciones en la tela según se muestra en la figura 2-6, una vez

realizados los cortes se cuantifico las resinas mediante una balanza digital según lo calculado en el literal 2.2.4.1.



Figura 2-9. Pesaje de las resinas poliméricas

Fuente. Autor

Se enceró el área de trabajo para que al finalizar no exista problemas al momento del desmolde. Ya finalizado este paso se realizó la estratificación en la cual se aplicó una capa de resina como base, para posteriormente aplicar una capa de tela y así sucesivamente, siempre tomando en cuenta la orientación de la fibra ya que esta estuvo dispuesta a 0° y 90°.



Figura 2-10. Estratificación manual

Fuente. Autor

2.2.6.2 Curación

Para la curación del compuesto (RE + FA) y (RP + FA) se ingresaron las probetas al secador por radiación infrarroja en el cual fueron sometidas a 60°C durante dos horas y estuvieron en reposo durante 8 horas más dentro del secador para tener un enfriamiento lento de las mismas.



Figura 2-11. Ingreso de las probetas al secador infrarrojo.

Fuente. Autor



Figura 2-12. Curado de las probetas a una temperatura de 60°C

Fuente. Autor



Figura 2-13. Compuesto desmontado (RP + FA)

Fuente. Autor



Figura 2-14. Compuesto desmontado (RE + FA)

Fuente: Autor

2.2.7 Ensayos

2.2.7.1 Pruebas preliminares del corte láser

Se realizaron ensayos preliminares con diferentes parámetros para la selección de las potencias y velocidades de corte a realizar tomando en cuenta los mejores resultados para ensayos finales.

- **Compuesto (RP + FA)**

A continuación, se muestra la tabulación de los parámetros del ensayo preliminar correspondiente a la probeta de resina poliéster con fibra de abacá con dimensiones de (18*6*0,7) cm

Tabla 2-10. Parámetros en cortes preliminares del compuesto (RP + FA)

COMPUESTO (RP + FA)		
Potencia (W)	Velocidad de corte (mm/s)	Profundidad de corte
60	10	5,2
60	12	5,0
60	14	4,8
80	10	6,0
80	12	5,8
80	14	5,4
100	10	7,0
100	12	7,0
100	14	6,8

Fuente: Autor

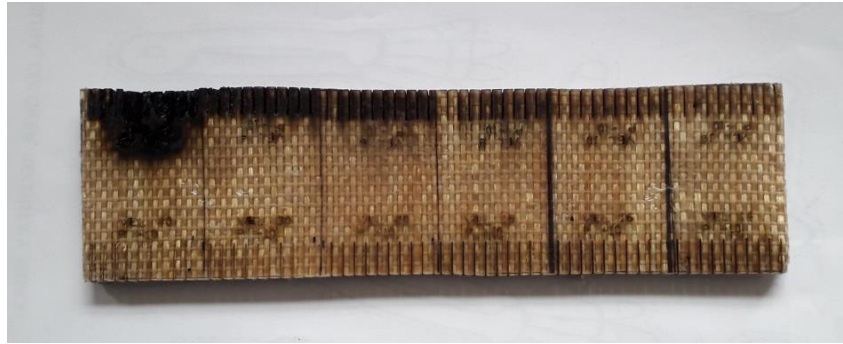


Figura 2-15. Cortes preliminares del compuesto (RP + FA)

Fuente: Autor

- **Compuesto (RE + FA)**

A continuación, se muestra la tabulación de los parámetros del ensayo preliminar correspondiente a la probeta de resina epoxi con fibra de abacá con dimensiones de (17,5*6,5*0,7) cm

Tabla 2-11. Parámetros en cortes preliminares del compuesto (RE + FA)

COMPUESTO (RE + FA)		
Potencia (W)	Velocidad de corte (mm/s)	Profundidad de corte
60	10	5,8
60	12	5,6
60	14	5,4
80	10	6,4
80	12	6,2
80	14	6,0
100	10	7,0
100	12	7,0
100	14	7,0

Fuente: Autor



Figura 2-16. Cortes preliminares del compuesto (RE + FA)

Fuente: Autor

2.2.8 Selección de parámetros de entrada

Una vez realizados los cortes preliminares, se seleccionará los parámetros con respecto a la velocidad y potencia que denotaron mejores resultados visualmente con respecto a los compuestos (RP + FA) y (RE + FA)

- **Compuesto (RP + FA)**

Tabla 2-12. Parámetros seleccionados del compuesto (RP + FA)

COMPUESTO (RP + FA)		
Nivel	Potencia (W)	Velocidad de corte (mm/s)
Bajo	60	10
Medio	80	12
Alto	100	14

Fuente: Autor

- **Compuesto (RE + FA)**

Tabla 2-13. Parámetros seleccionados del compuesto (RE + FA)

COMPUESTO (RE + FA)		
Nivel	Potencia (W)	Velocidad de corte (mm/s)
Bajo	60	10
Medio	80	12
Alto	100	14

Fuente: Autor

2.2.9 Espesor de los materiales

El espesor del material fue seleccionado, tomando como referencia a una investigación previa realizada por el Ingeniero Geovanny Benavides, en la que se determinó que este material debe constar de tres capas de tela para el tejido plano, y una vez realizadas las pruebas preliminares se demostró que el corte supera el espesor de 4,2 mm que presenta el material.

2.2.10 Ensayos de corte láser

Una vez realizadas las pruebas preliminares se determinó las velocidades y potencias necesarias para cortar el material disminuyendo el efecto térmico en las mismas, por lo que se procedió a realizar los cortes en las probetas a analizar.

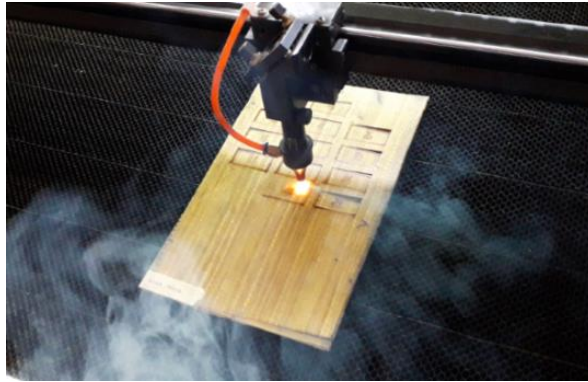


Figura 2-17. Corte láser del material compuesto

Fuente: Autor

- **Codificación para probetas**

La codificación de las probetas del compuesto (RP + FA) y el compuesto (RE + FA) se realizó de la siguiente manera:

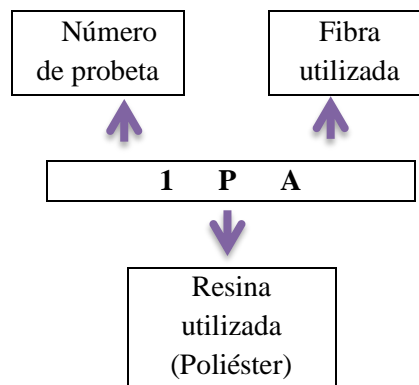


Figura 2-18. Codificación del compuesto (RP + FA)

Fuente: Autor

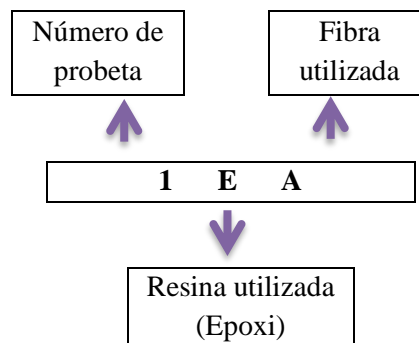


Figura 2-19. Codificación del compuesto (RE + FA)

Fuente: Autor

- **Compuesto (RP + FA)**



Figura 2-20. Cortes de las probetas del compuesto (RP + FA)

Fuente: Autor

A continuación, se muestra la tabulación de los parámetros de entrada con los que se realizaron las combinaciones para los cortes de las probetas.

Tabla 2-14. Parámetros combinados utilizados en el corte láser del compuesto (RP+FA)

Compuesto (RP + FA)				
Código	Potencia (W)	Velocidad del corte (mm/s)	Tiempo de exposición al láser (s)	Número de réplicas rectangulares
			Rectangulares	Rectangulares
1PA	60	10	11,76	2
2PA	100	10	11,89	2
3PA	60	14	8,50	2
4PA	100	14	8,50	2
5PA	60	12	9,89	2
6PA	100	12	9,94	2
7PA	80	10	11,66	2
8PA	80	14	7,88	2
9PA	80	12	9,98	2
10PA	80	12	9,83	2
11PA	80	12	9,96	2
12PA	80	12	9,88	2
13PA	80	12	9,91	2
			TOTAL	26

Fuente: Autor

- **Compuesto (RE + FA)**



Figura 2-21. Cortes de las probetas del compuesto (RE + FA)

Fuente: Autor

A continuación, se muestra la tabulación de los parámetros de entrada, con los que se realizaron las combinaciones para los cortes de las probetas.

Tabla 2-15. Parámetros combinados utilizados en el corte láser del compuesto (RE+FA)

Compuesto (RE + FA)				
Código	Potencia (W)	Velocidad del corte (mm/s)	Tiempo de exposición al láser (s)	Número de réplicas rectangulares
			Rectangulares	Rectangulares
1EA	60	10	11,78	2
2EA	100	10	11,88	2
3EA	60	14	8,53	2
4EA	100	14	8,51	2
5EA	60	12	9,94	2
6EA	100	12	9,86	2
7EA	80	10	11,69	2
8EA	80	14	8,44	2
9EA	80	12	9,74	2
10EA	80	12	9,86	2
11EA	80	12	9,74	2
12EA	80	12	9,92	2
13EA	80	12	9,95	2
TOTAL				26

Fuente: Autor

2.2.11 Rugosímetro

Rugosímetro MITUTOYO SJ 210 con sus partes, se encuentra disponible en el laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.



Figura 2-22. Rugosímetro MITUTOYO SJ 210

Fuente: Autor

Ensamble del rugosímetro, adaptando todas sus partes a su ubicación correspondiente



Figura 2-23. Ensamble del Rugosímetro MITUTOYO SJ 210

Fuente: Autor

2.2.11.1 Calibración del rugosímetro

Montaje del rugosímetro para calibración



Figura 2-24. Montaje del rugosímetro

Fuente: Autor

Verificar que los datos de la galga coincidan, lo que demostrara que el rugosímetro se encuentra calibrado.



Figura 2-25. Calibración correcta

Fuente: Autor

2.2.11.2 Medición de la rugosidad

Mediante una porta probetas se da otorga un soporte al rugosímetro, permitiendo que el palpador tome una correcta posición generando mayor exactitud en los datos.



Figura 2-26. Ubicación de la probeta y el rugosímetro

Fuente: Autor

Medición de la rugosidad de cada una de las probetas con la Norma ISO 1997 especificada en el rugosímetro.



Figura 2-27. Medición de la rugosidad

Fuente: Autor

2.2.12 Efecto térmico láser

Medición de la temperatura superficial del material compuesto, mediante un pirómetro CEM DT-8867H con un rango de medición máximo de 855,3868°C.



Figura 2-28. Medición de la temperatura superficial de la placa

Fuente: Autor

Medición de la masa de las probetas de los compuestos (RP + FA) y (RE + FA)



Figura 2-29. Medición de masas de los compuestos

Fuente: Autor

2.2.13 Hipótesis

La variación de los parámetros del proceso de corte láser con CO₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá influirá en la calidad superficial.

2.2.14 Señalamiento de variables

2.2.14.1 Variable independiente

La variación de los parámetros de Corte Láser por CO₂ para el material compuesto por matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá

2.2.14.2 Variable dependiente

Calidad del corte

2.3 Operacionalización de variables

2.3.1 Variable independiente

La variación de los parámetros de Corte Láser por CO₂ para el material compuesto por matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá

Tabla 2-16.Operacionalización de la variable independiente.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEM	HERRAMIENTA
<p>CORTE LÁSER POR CO₂:</p> <p>El proceso de corte por láser funciona teniendo un enfoque y un haz láser preciso que se ejecuta mediante el material que se busca cortar, entregando un corte preciso y suave</p>	Parámetros de Corte Láser por CO ₂	Potencia de corte en (W)	Compuesto (RP + FA) <ul style="list-style-type: none"> • Bajo (60 W) • Medio (80 W) • Alto (100 W) Compuesto (RE + FA) <ul style="list-style-type: none"> • Bajo (60 W) • Medio (80 W) • Alto (100 W) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos preliminares • Método bibliográfico • Método de superficie de respuesta • Observación directa
		Velocidad de corte en $\left(\frac{mm}{s}\right)$	Compuesto (RP + FA) <ul style="list-style-type: none"> • Bajo (10 mm/s) • Alto (12 mm/s) • Alto (14 mm/s) Compuesto (RE + FA) <ul style="list-style-type: none"> • Bajo (10 mm/s) • Alto (12 mm/s) • Alto (14 mm/s) 	<ul style="list-style-type: none"> • Ensayos preliminares • Método bibliográfico • Método de superficie de respuesta • Observación directa

Fuente: Autor

2.3.2 Variable dependiente

Calidad del Corte para el material compuesto por Matriz Polimérica reforzado con Fibra de Abacá

Tabla 2-17. Operacionalización de la variable dependiente.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEM	HERRAMIENTA
CALIDAD DE CORTE: Es uno de los factores de gran relevancia frente a los diversos procesos, por esto es necesario el estudio detallado de las superficies, de este factor depende el funcionamiento, rendimiento y comercialización.	Evaluación de la calidad superficial	Rugosidad superficial promedio en micrómetros - $Ra \mu m$	Aplicación frecuente: $(6,3 - 1,6) \mu m$ Aplicación exacta: $(6,3 - 1,6) \mu m$	<ul style="list-style-type: none"> • Norma ISO 1302 • Rugosímetro • Observación directa
		Efecto térmico en base a la temperatura crítica del corte ($^{\circ}C$)	<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura superficial ($^{\circ}C$) • Distribución de temperaturas ($^{\circ}C$) 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Pirómetro • Cálculo analítico

Fuente: Autor

2.4 Pruebas de inflamabilidad

2.4.1.1 Composición de los materiales

- **Tabulación de las masas totales de fibras y resinas**

Tabla 2-18. Pesos totales de la fibra y resinas

DESCRIPCIÓN	PESOS (g)		
	F. Abacá	R. Poliéster	R. Epoxi
Compuesto (Fibra de Abacá + Resina Poliéster)	106,75 g	521,23 g	
Compuesto (Fibra de Abacá + Resina Epoxi)	115,65 g		564,67 g
Total	222,4 g	521,23 g	564,67 g

Fuente: Autor

En la Tabla 2-16 se detalla la masa tanto la resina epoxi como la resina poliéster, al igual que la fibra de abacá; cabe destacar que para la fabricación de las dos planchas se necesita aproximadamente 222,4 g de fibra de abacá, 521,23 g de resina poliéster y 564,67 g de resina epoxi.

2.4.1.2 Fabricación de las placas

Para la fabricación de las placas se tomó en consideración las masas ya calculados en el inciso 2.2.13.1, siguiendo el procedimiento ya descrito en el inciso 2.2.6.

2.4.1.3 Cálculo de la tasa de combustión

La tasa de combustión, B, en milímetros por minuto, viene dada por la fórmula:

$$B = \frac{s}{t} * 60 \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde

- **s:** la distancia quemada, en milímetros.
- **t:** el tiempo, en segundos, para quemar la distancia s.

2.4.1.4 Procedimiento

El lugar de trabajo debe contar con una temperatura atmosférica que este entre 10°C y 30°C y una humedad relativa que este entre 15% y 80%.

El quemador se someterá aun precalentamiento de 2 minutos en los cuales la llama alcanzará una altura de 40 ± 2 milímetros, la altura de llama consta en la distancia que existe entre el tubo del quemador y la punta de la llama.

Las muestras se ubicarán en el bastidor en el que se fijará la probeta mediante perforaciones las que se ingresaran en las guías del mismo. Se debe identificar los puntos tanto inicial como final.

El punto inicial para la toma de datos se ubicará a una distancia de 38 milímetros de los cuales se marcará a una distancia de 254 mm para el punto final. La probeta se someterá a la llama durante 15 segundos para posteriormente cortar el flujo de gas.

Se iniciará a cronometrar una vez el pie de llama haya alcanzado la primera marca, y se finalizará cuando el pie de llama alcance la última marca o en el caso de que se llegue a extinguir la llama, para lo cual se medirá la distancia quemada.

2.4.1.5 Resultados

Se iniciará a cronometrar una vez el pie de llama haya alcanzado la primera marca, y se finalizará cuando el pie de llama alcance la última marca o en el caso de que se llegue a extinguir la llama, para lo cual se medirá la distancia quemada.

2.4.1.6 Descripción de actividades

Obtener los materiales y medir los espesores, el espesor de las probetas debe estar entre 3 a 13 mm y en el caso de superar el espesor mayor ese se debe reducir mediante un proceso mecánico, la llama se aplica al lado que no mira el ocupante.

Realizar un mínimo de 5 probetas de cada material y verificar las condiciones establecidas por la Norma ISO 3795 para la realización de las pruebas de inflamabilidad.

Tabla 2-19. Tipos de materiales utilizados para el ensayo de inflamabilidad



Fuente: Autor

- Comprobar que la probeta tenga un acondicionamiento de un mínimo de 24 horas hasta un máximo de 7 días a una temperatura de 23 ± 2 grados con una humedad del $50\% \pm 5\%$, mantener las probetas en estas condiciones hasta realizar las pruebas y señalar los puntos de edición de la probeta y su designación.



Figura 2-30. Probeta de RE + FA

Fuente: Autor

- Colocar la probeta en el porta probetas de manera que la parte expuesta quede hacia abajo.



Figura 2-31. Probeta de RE + FA

Fuente: Autor

- Verificar que la altura de llama alcance los 38 mm, la llama debe arder por un mínimo de 1 minuto para estabilizarla y proceder a la prueba.



Figura 2-32. Altura de llama

Fuente: Autor

- Introduzca el porta probetas en la máquina



Figura 2-33. Insertar la probeta en la cámara

Fuente: Autor

- Se iniciará a cronometrar una vez el pie de llama haya alcanzado la primera marca, y se finalizará cuando el pie de llama alcance la última marca o en el caso de que se llegue a extinguir la llama, para lo cual se medirá la distancia quemada.



Figura 2-34. Esperar que llegue el pie de llama a la primera marca

Fuente: Autor

- Retirar la probeta una vez ya realizada la prueba



Figura 2-35. Probeta ya ensayada

Fuente: Autor

- Esperar que el porta muestra y la cámara de combustión se encuentre a una temperatura máxima de 30°C para continuar con las siguientes pruebas.

2.4.1.7 Plan de recolección de datos.

Los datos obtenidos una vez realizado el ensayo fueron analizados y procesados mediante tablas, fichas y fotografías. Las mismas que se utilizaron para la posterior tabulación de los datos, los cuales sirvieron para el posterior cálculo del índice de inflamabilidad.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Recolección de datos

A continuación, se presentan los resultados obtenidos mediante los distintos estudios que fueron realizados a los dos compuestos, siendo estos la toma de temperaturas mediante un pirómetro y rugosidad mediante el rugosímetro MITUTOYO SJ-210, de igual manera se realizaron los cálculos de la densidad, temperaturas superficiales y la distribución de la temperatura a diferentes espesores.

3.1.2 Compuesto de resina poliéster con fibra de abacá (RP+FA)

3.1.2.1 Temperaturas medidas con el pirómetro

Se realizaron las distintas mediciones de temperatura en la superficie de las probetas en el momento en el que se ejecutaba el corte con láser por CO₂ mediante el uso de un pirómetro, para determinar así las temperaturas a las que se encuentra sometidas, tomando en cuenta cada una de las combinaciones de los parámetros anteriormente propuestos.

Tabla 3-1. Medición de temperaturas con pirómetro del compuesto (RP+FA)

Compuesto (RP + FA)					
Probetas Rectangulares					
Réplica					
Código	Potencia (W)	Velocidad del corte (mm/s)	Mediciones de temperatura superficial		Temperatura superficial promedio (°C)
			1ra	2da	
1PA	60	10	447,90	401,70	424,80
2PA	100	10	625,00	695,80	660,40
3PA	60	14	364,40	422,60	393,50
4PA	100	14	545,30	625,00	585,15
5PA	60	12	453,60	397,20	425,40

6PA	100	12	508,00	797,60	652,80
7PA	80	10	633,40	613,20	623,30
8PA	80	14	423,30	473,30	448,30
9PA	80	12	500,30	571,50	535,90
10PA	80	12	516,80	493,10	504,95
11PA	80	12	522,40	501,40	511,90
12PA	80	12	476,30	570,30	523,30
13PA	80	12	520,50	604,80	562,65

Fuente: Autor

3.1.2.2 Mediciones de la rugosidad

A continuación, se realizó la ficha en un formato normalizado en el cual se tabulo los resultados de la rugosidad presente en las superficies resultantes del corte.

Tabla 3-2. Resultados de la rugosidad superficial, compuesto (RP + FA)

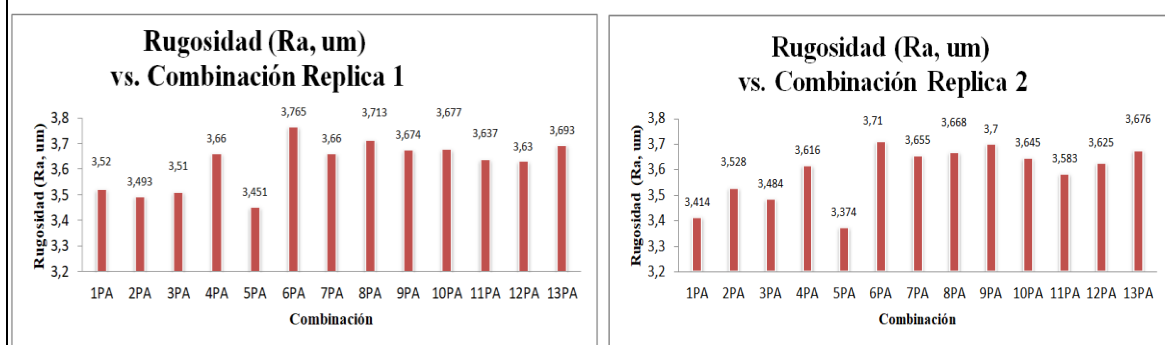
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DEL COMPUESTO (RP + FA)			
DATOS INFORMATIVOS:			
Realizado por:	Riera Riera Marilyn Johaira	Supervisado por:	Ing. Cristian Pérez Mg.
Fecha:	miércoles, 9 de enero de 2019	Lugar:	Laboratorio de materiales
ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL			
Matriz:	Resina Poliéster		
Fracción Volumétrica:	83%		
Refuerzo:	Fibra de Abacá		
Fracción Volumétrica:	17%		
Configuración de las fibras:	Tejido Plano		
Número de capas:	3		
Dimensiones:	(40*20*4,2) mm		
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE RUGOSIDAD			
Material:	Compuesto (RP + FA)		
Temperatura Ambiente:	23°C		
Geometría:	1		
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN			
Acabado Superficial:	Rugosímetro MITUTOYO SJ-210		
Norma Seleccionada:	ISO-1997		

RESULTADO DE RUGOSIDAD (μm)														
CÓDIGO		1PA	2PA	3PA	4PA	5PA	6PA	7PA	8PA	9PA	10PA	11PA	12PA	13PA
Réplica a	Med. 1	3,696	3,639	3,465	3,745	3,391	3,728	3,613	3,61	3,712	3,724	3,562	3,557	3,74
	Med. 2	3,343	3,346	3,554	3,574	3,511	3,802	3,707	3,816	3,636	3,63	3,711	3,703	3,645
Promedio 1		3,52	3,493	3,51	3,66	3,451	3,765	3,66	3,713	3,674	3,677	3,637	3,63	3,693
Desv. Estándar1		0,25	0,207	0,063	0,121	0,085	0,052	0,066	0,146	0,054	0,066	0,105	0,103	0,067
Réplica a	Med. 1	3,345	3,482	3,409	3,715	3,308	3,67	3,615	3,726	3,762	3,592	3,642	3,529	3,635
	Med. 2	3,483	3,574	3,558	3,517	3,44	3,75	3,695	3,61	3,638	3,698	3,523	3,72	3,716
Promedio 1		3,414	3,528	3,484	3,616	3,374	3,71	3,655	3,668	3,7	3,645	3,583	3,625	3,676
Desv. Estándar1		0,098	0,065	0,105	0,14	0,093	0,057	0,057	0,082	0,088	0,075	0,084	0,135	0,057

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN



RUGOSIDAD



Observaciones:

Para la primera réplica se registra la rugosidad mínima de $3,451 \mu\text{m}$ en la probeta 5PR; la misma que fue cortada con una potencia de 60 W y una velocidad de corte de 12 mm/s.

Para la segunda réplica se registra la rugosidad mínima de $3,374 \mu\text{m}$ en la probeta 5PR; la misma que fue cortada con una potencia de 60 W y una velocidad de corte de 12 mm/s.

ANEXO VI: Informe técnico de las mediciones de la rugosidad superficial de las probetas de matriz poliéster, otorgado por la Centro de Transferencia y Tecnología (CTT).

Fuente: Autor

3.1.2.3 Densidad

- Determinación de la masa

Tabla 3-3. Medición de la masa promedio

Compuesto (RP + FA)			
Medición de masa (g)			
Código	Probetas rectangulares		Promedio
	Réplica 1	Réplica 2	
1PA	2,90	2,80	2,85
2PA	2,70	2,90	2,80
3PA	2,60	2,90	2,75
4PA	2,70	2,80	2,75
5PA	2,60	2,90	2,75
6PA	2,60	2,70	2,65
7PA	2,50	2,60	2,55
8PA	2,50	2,80	2,65
9PA	2,70	2,80	2,75
10PA	2,70	2,90	2,80
11PA	2,70	2,70	2,70
12PA	2,80	2,70	2,75
13PA	2,80	2,70	2,75
Promedio Total (g)			2,731
Promedio Total (kg)			0,002731

Fuente: Autor

- Densidad

$$v = e * l * a$$

$$v = (4,2 * 10^{-3} * 4 * 10^{-2} * 2 * 10^{-2})m^3$$

$$v = 3,36 * 10^{-6}m^3$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{2,73^{-3} kg}{3,36 * 10^{-6} m^3}$$

$$\rho = 812,79 \frac{kg}{m^3}$$

- Tiempo de pulso láser

Los pulsos que se requieren para efectuar un corte rectangular de 40x20mm son 600 [1]. Este dato es fundamental para la determinación del tiempo de pulso láser a diferentes velocidades de corte de un material compuesto, el cual se presenta en la tabla 3.4. A modo de comprobación de lo descrito anteriormente se tiene que en el presente trabajo experimental se corta una probeta de material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de abacá de 40x20x4,2mm con una velocidad de corte de 10 mm/s y un diámetro de rayo láser de 0,2 mm, para lo cual se efectúan los siguientes cálculos:

$$\mathbf{Pulsos} = \frac{\mathbf{Perímetro\ de\ la\ probeta}}{\mathbf{Diámetro\ del\ rayo\ láser}} \quad \mathbf{Ecuación\ 5}$$

$$Pulsos = \frac{120\ mm}{0,2\ mm}$$

$$Pulsos = 600$$

$$\mathbf{Tiempo\ total\ de\ corte} = \frac{\mathbf{Perímetro\ de\ la\ probeta}}{\mathbf{Velocidad\ de\ corte}} \quad \mathbf{Ecuación\ 6}$$

$$Tiempo\ total\ de\ corte = \frac{120\ mm}{10\ \frac{mm}{s}}$$

$$Tiempo\ total\ de\ corte = 12\ s$$

Con el tiempo total de corte y los pulsos necesarios que se requieren para cortar una probeta rectangular de 40x20mm se puede determinar el tiempo de pulso, tal como sigue:

$$\mathbf{T_p} = \frac{\mathbf{T_c}}{\left(\frac{\mathbf{L}}{\mathbf{haz}}\right)} \quad \mathbf{Ecuación\ 7}$$

$$T_p = \frac{12}{\left(\frac{120}{0,2}\right)}$$

$$T_p = 0,02\ ms$$

Partiendo del ejemplo anteriormente planteado se calculó el tiempo de pulso necesario para las velocidades propuestas, obteniendo los mismos resultados en los dos compuestos.

Tabla 3-4. Cálculo de los tiempos de pulso láser

Probetas Rectangulares						
Vel. Corte (mm/s)	Longitud de corte (mm)	Tiempo total de corte (s)	Diámetro haz láser (mm)	Pulsos	Tiempo de pulsos (s)	Tiempos de pulso (ms)
10	120	12,00	0,2	600	0,02	20,0
12	120	10,00	0,2	600	0,02	17,0
14	120	8,57	0,2	600	0,01	14,0

Fuente: Autor

3.1.2.4 Temperatura superficial

Tabla 3-5. Propiedades y datos generales necesarios para el cálculo del compuesto (RP + FA)

PROPIEDADES TÉRMICAS			
PROPIEDAD	F.A.	R.P.	Compuesto (RP + FA)
ρ (kg/m ³)	1300	1200	812,798
K (W/m°C)	-	0,4	0,4
Cp (J/kg°C)	-	1350	1350
DATOS INICIALES			
FACTOR			VALOR
Símbolo	Descripción	Unidad	
A	Área Exposición	m ²	1,63E-05
X	Distancia superficial	m	0
Ti	Temperatura Inicial	°C	23
π	Pi	-	3,141592654
Re	Radio de exposición	mm	2,3
Re	Radio de exposición	m	0,0023
Φ h	Diámetro del haz láser	mm	0,2
Dr	Distancia de corte rectangular	mm	120

Fuente: Autor

Tabla 3-6. Cálculo de las temperaturas superficiales en el compuesto (RP + FA)

Compuesto (RP + FA)								
Probetas Rectangulares								
Código	P=Potencia (W)	Vc=Vel. Corte (mm/s)	tc=Tiempo total de corte (s)	tp=Tiempo de pulso (s)	e= Energía transferida (J)	es=Pulso de energía ($\frac{J}{m^2}$)	α =Difusividad térmica ($\frac{m^2}{s}$)	T(x,t)=Temperatura superficial (°C)
			$tc = \frac{dr}{vc}$		$e = P * tp$	$es = \frac{e}{A}$	$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp}$	$T(x, t) - Ti = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}}$
1PA	60	10	12	0,020	1,20	7,35E+04	3,65E-07	442,47
2PA	100	10	12	0,020	2,00	1,22E+05	3,65E-07	737,45
3PA	60	14	8,571	0,014	0,84	5,14E+04	3,65E-07	370,2
4PA	100	14	8,571	0,014	1,40	8,57E+04	3,65E-07	616,99
5PA	60	12	10	0,017	1,02	6,24E+04	3,65E-07	407,94
6PA	100	12	10	0,017	1,70	1,04E+05	3,65E-07	679,89
7PA	80	10	12	0,020	1,60	9,79E+04	3,65E-07	589,96
8PA	80	14	8,571	0,014	1,12	6,86E+04	3,65E-07	493,6
9PA	80	12	10	0,017	1,36	8,32E+04	3,65E-07	543,92
10PA	80	12	10	0,017	1,36	8,32E+04	3,65E-07	543,92
11PA	80	12	10	0,017	1,36	8,32E+04	3,65E-07	543,92
12PA	80	12	10	0,017	1,36	8,32E+04	3,65E-07	543,92
13PA	80	12	10	0,017	1,36	8,32E+04	3,65E-07	543,92

Fuente: Autor

3.1.2.5 Tabulación y selección de temperaturas superficiales

Una vez ya realizados los cálculos para las temperaturas superficiales del compuesto de resina poliéster con fibra de abacá tal como se muestra en la Tabla 3-6 se procedió a realizar la comparación con las temperaturas obtenidas a partir de la medición con el pirómetro.

Tabla 3-7. Comparación de las temperaturas medidas con el pirómetro y las calculadas en el compuesto de (RP + FA)

Compuesto (RP + FA)			
Probetas Rectangulares			
Tabulación y Selección de Temperaturas Superficiales (°C)			
Código	Cálculo Analítico	Pirómetro	
		Réplica 1	Réplica 2
1PA	442,47	447,90	401,70
2PA	737,45	625,00	695,80
3PA	370,2	364,40	422,60
4PA	616,99	545,30	625,00
5PA	407,94	413,60	397,20
6PA	679,89	598,00	737,60
7PA	589,96	633,40	613,20
8PA	493,6	454,80	473,30
9PA	543,92	523,30	561,20
10PA	543,92	516,80	547,10
11PA	543,92	522,40	501,40
12PA	543,92	476,30	570,30
13PA	543,92	520,50	583,80

Fuente: Autor

3.1.2.6 Temperaturas a distintos espesores

Tabla 3-8. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en la placa de (RP + FA)

Espesor de la placa		
Designación	Dimensión (mm)	Dimensión (m)
x_1	0	0
x_2	2,1	0,0021
x_3	4,2	0,0042

Fuente: Autor

Tabla 3-9. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en el compuesto de (RP + FA), réplica 1

Compuesto (RP + FA)									
Probetas Rectangulares									
Replica 1									
Cód	P=Potencia (W)	Vc=Vel. Corte (mm/s)	tc=Tiempo total de corte (s)	Temperatura a distintos espesores °C					
				$\frac{T(x,t) - T_i}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4\alpha t}\right)\right)$	Valor medido	$\frac{T(x,t) - T_i}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4\alpha t}\right)\right)$	$\frac{T(x,t) - T_i}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4\alpha t}\right)\right)$	$\frac{T(x,t) - T_i}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4\alpha t}\right)\right)$	$\frac{T(x,t) - T_i}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4\alpha t}\right)\right)$
			$tc = \frac{dr}{Vc}$	x_1	x_2	x_3			
1PA	60	10	12	442,26	447,9	343,73	348,12	161,38	163,44
2PA	100	10	12	737,1	625	572,89	485,76	268,97	228,06
3PA	60	14	8,571	370,02	364,4	260,00	256,05	90,21	88,84
4PA	100	14	8,571	616,7	545,3	433,34	383,17	150,35	132,94
5PA	60	12	10	407,74	413,6	301,33	305,66	121,62	123,37
6PA	100	12	10	679,57	598	502,21	441,93	202,70	178,37
7PA	80	10	12	589,68	633,4	458,31	492,29	215,18	231,13
8PA	80	14	8,571	493,36	454,8	346,67	319,58	120,28	110,88
9PA	80	12	10	543,66	523,3	401,77	386,73	162,16	156,09
10PA	80	12	10	543,66	516,8	401,77	381,92	162,16	154,15
11PA	80	12	10	543,66	522,4	401,77	386,06	162,16	155,82
12PA	80	12	10	543,66	476,3	401,77	351,99	162,16	142,07
13PA	80	12	10	543,66	520,5	401,77	384,66	162,16	155,25

Fuente: Autor

Tabla 3-10. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en el compuesto de (RP + FA), réplica 2

Compuesto (RP + FA)									
Probetas Rectangulares									
Replica 2									
Cód	P=Potencia (W)	Vc=Vel. Corte (mm/s)	tc=Tiempo total de corte (s)	Temperatura a distintos espesores °C					
				$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	Valor medido	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	
				$tc = \frac{dr}{Vc}$	x_1	x_2	x_3		
1PA	60	10	12	442,26	401,7	343,73	312,21	161,38	146,58
2PA	100	10	12	737,1	695,8	572,89	540,79	268,97	253,90
3PA	60	14	8,571	370,02	422,6	260,00	296,95	90,21	103,03
4PA	100	14	8,571	616,7	625	433,34	439,17	150,35	152,37
5PA	60	12	10	407,74	397,2	301,33	293,54	121,62	118,47
6PA	100	12	10	679,57	737,6	502,21	545,10	202,70	220,01
7PA	80	10	12	589,68	613,2	458,31	476,59	215,18	223,76
8PA	80	14	8,571	493,36	473,3	346,67	332,58	120,28	115,39
9PA	80	12	10	543,66	561,2	401,77	414,74	162,16	167,39
10PA	80	12	10	543,66	547,1	401,77	404,32	162,16	163,18
11PA	80	12	10	543,66	501,4	401,77	370,54	162,16	149,55
12PA	80	12	10	543,66	570,3	401,77	421,46	162,16	170,10
13PA	60	10	12	543,66	401,7	401,77	312,21	162,16	146,58

Fuente: Autor

3.1.3 Compuesto de resina epoxi con fibra de abacá (RE+FA)

3.1.3.1 Temperaturas medidas con el pirómetro

Se realizaron las distintas mediciones en la superficie de las probetas en el momento en el que se ejecutaba el corte con láser por CO₂ mediante el uso de un pirómetro, para determinar así las temperaturas a las que se encuentra sometidas, tomando en cuenta cada una de las combinaciones de los parámetros anteriormente propuestos.

Tabla 3-11. Medición de temperaturas con pirómetro del compuesto (RE+FA)



Compuesto (RE+ FA)					
Probetas Rectangulares					
Réplica					
Código	Potencia (W)	Velocidad del corte (mm/s)	Mediciones de temperatura superficial		Temperatura superficial promedio (°C)
			1ra	2da	
1EA	60	10	331,10	324,70	327,90
2EA	100	10	869,20	813,00	841,10
3EA	60	14	434,00	453,90	443,95
4EA	100	14	735,50	697,20	716,35
5EA	60	12	423,60	418,10	420,85
6EA	100	12	768,20	795,10	781,65
7EA	80	10	679,10	691,50	685,30
8EA	80	14	562,90	545,40	554,15
9EA	80	12	653,90	642,60	648,25
10EA	80	12	644,60	632,70	638,65
11EA	80	12	647,60	618,20	632,90
12EA	80	12	641,00	607,00	624,00
13EA	80	12	645,90	675,60	660,75

Fuente: Autor

3.1.3.2 Mediciones de la rugosidad

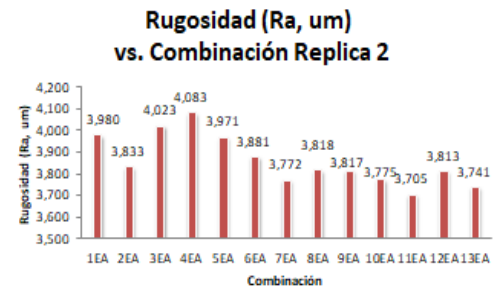
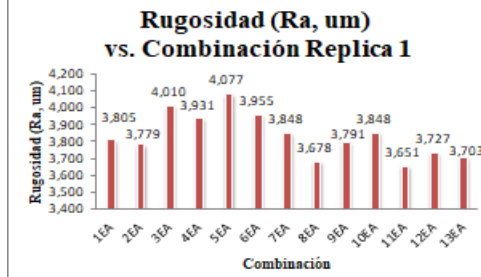
A continuación, se realizó la ficha en un formato normalizado en el cual se tabuló los resultados de la rugosidad presente en las superficies resultantes del corte.

Tabla 3-12. Resultados de la rugosidad superficial, compuesto (RE + FA)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 														
RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA RUGOSIDAD SUPERFICIAL DEL COMPUESTO (RE + FA)														
DATOS INFORMATIVOS:														
Realizado por:	Riera Riera Marilyn Johaira						Supervisado por:	Ing. Cristian Pérez Mg.						
Fecha:	miércoles, 9 de enero de 2019						Lugar:	Laboratorio de materiales						
ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL														
Matriz:							Resina Epoxi							
Fracción Volumétrica:							83%							
Refuerzo:							Fibra de Abacá							
Fracción Volumétrica:							17%							
Configuración de las fibras:							Tejido Plano							
Número de capas:							3							
Dimensiones:							40*20*4,2							
PARÁMETROS DEL ENSAYO DE RUGOSIDAD														
Material:							Compuesto (RE + FA)							
Temperatura Ambiente:							23°C							
Geometría:							1							
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN														
Acabado Superficial:							Rugosímetro MITUTOYO SJ-210							
Norma Seleccionada:							ISO-1997							
RESULTADO DE RUGOSIDAD (μm)														
CÓDIGO	1EA	2EA	3EA	4EA	5EA	6EA	7EA	8EA	9EA	10EA	11EA	12EA	13EA	
Réplica	Med.1	3,886	3,841	4,07	4,104	4,074	3,893	3,808	3,708	3,849	3,791	3,697	3,658	3,754
	Med.2	3,723	3,717	3,949	3,757	4,079	4,017	3,887	3,647	3,732	3,905	3,604	3,796	3,652
Promedio 1		3,805	3,779	4,010	3,931	4,077	3,955	3,848	3,678	3,791	3,848	3,651	3,727	3,703
Desv. Estándar1		0,115	0,088	0,086	0,245	0,004	0,088	0,056	0,043	0,083	0,081	0,066	0,098	0,072
Réplica	Med.1	4,103	3,769	3,946	4,037	4,028	3,816	3,725	3,688	3,756	3,726	3,762	3,856	3,793
	Med.2	3,856	3,897	4,099	4,128	3,913	3,945	3,818	3,947	3,878	3,824	3,647	3,769	3,688
Promedio 1		3,980	3,833	4,023	4,083	3,971	3,881	3,772	3,818	3,817	3,775	3,705	3,813	3,741
Desv. Estándar1		0,175	0,091	0,108	0,064	0,081	0,091	0,066	0,183	0,086	0,069	0,081	0,062	0,074
FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN														



RUGOSIDAD



Observaciones:

Para la primera réplica se registra la rugosidad mínima de 3,651 μm en la probeta 11ER; la misma que fue cortada con una potencia de 80 W y una velocidad de corte de 12 mm/s.

Para la segunda réplica se registra la rugosidad mínima de 3,705 μm en la probeta 11ER; la misma que fue cortada con una potencia de 80 W y una velocidad de corte de 12 mm/s.

ANEXO VII: Informe técnico de las mediciones de la rugosidad superficial de las probetas de matriz poliéster, otorgado por la Centro de Transferencia y Tecnología (CTT).

Fuente: Autor

3.1.3.3 Densidad

- Determinación de la masa

Tabla 3-13. Medición de la masa promedio

Compuesto (RE + FA)			
Medición de masa (g)			
Código	Probetas rectangulares		Promedio
	Réplica 1	Réplica 2	
1EA	2,80	3,00	2,90
2EA	3,00	2,70	2,85
3EA	3,10	2,80	2,95
4EA	3,00	2,80	2,90
5EA	3,00	2,90	2,95
6EA	2,90	2,90	2,90
7EA	3,00	2,90	2,95

8EA	3,00	3,10	3,05
9EA	2,90	2,80	2,85
10EA	2,80	2,90	2,85
11EA	2,90	3,00	2,95
12EA	3,10	3,00	3,05
13EA	3,00	3,00	3,00
Promedio Total (g)			2,935
Promedio Total (kg)			0,002935

Fuente: Autor

- Densidad

$$v = e * l * a$$

$$v = (4,2 * 10^{-3} * 4 * 10^{-2} * 2 * 10^{-2})m^3$$

$$v = 3,36 * 10^{-6}m^3$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$\rho = \frac{2,73^{-3} kg}{3,36 * 10^{-6} m^3}$$

$$\rho = 812,79 \frac{kg}{m^3}$$

- Tiempo de pulso láser

Para la determinación del tiempo del pulso se optó por la toma de la primera velocidad de corte correspondiente a 10 mm/s, con un tiempo de corte de 12 s, la probeta presenta una longitud de 120 mm, un diámetro de haz de luz de 0,2 mm y una zona afectada térmicamente que se encuentra entre los 2-3 mm.

El cálculo del tiempo de pulso se lo realizó mediante la Ecuación 7 tal como se muestra a continuación, en este caso se la realizo tomando como ejemplo la primera velocidad de corte de 10mm/s.

$$T_p = \frac{T_c}{\left(\frac{L}{\text{haz}}\right)}$$

$$T_p = \frac{12}{\left(\frac{120}{0,2}\right)}$$

$$T_p = 0,02 \text{ ms}$$

Partiendo del ejemplo anteriormente planteado se calculó el tiempo de pulso necesario para las velocidades propuestas, obteniendo los mismos resultados en los dos compuestos.

Tabla 3-14. Cálculo de los tiempos de pulso láser

Probetas Rectangulares						
Vel. Corte (mm/s)	Longitud de corte (mm)	Tiempo total de corte (s)	Diámetro haz láser (mm)	Pulsos	Tiempo de pulsos (s)	Tiempos de pulso (ms)
10	120	12,00	0,2	600	0,02	20,0
12	120	10,00	0,2	600	0,02	17,0
14	120	8,57	0,2	600	0,01	14,0

Fuente. Autor

3.1.3.4 Temperatura superficial

Tabla 3-15. Propiedades y datos generales necesarios para el cálculo del compuesto (RE + FA)

PROPIEDADES TÉRMICAS			
PROPIEDAD	F.A.	R.E.	Compuesto (RE + FA)
ρ (kg/m ³)	1300	1200	873,512
K (W/m°C)	-	0,34	0,34
Cp (J/kg°C)	-	2000	2000
DATOS INICIALES			
FACTOR			VALOR
Símbolo	Descripción	Unidad	
A	Área Exposición	m ²	1,61E-05
x	Distancia superficial	m	0
Ti	Temperatura Inicial	°C	22
π	Pi	-	3,142592654
re	Radio de exposición	mm	2,3
re	Radio de exposición	m	0,0023
ϕ h	Diámetro del haz láser	mm	0,2
dr	Distancia de corte rectangular	mm	120

Fuente: Autor

Tabla 3-16. Cálculo de las temperaturas superficiales en el compuesto (RE + FA)

Compuesto (RE + FA)								
Probetas Rectangulares								
Código	P=Potencia (W)	Vc=Vel. Corte ($\frac{mm}{s}$)	tc=Tiempo de pulso (s)	tp=Tiempo de pulso (s)	e= Energía transferida (J)	es=Pulso de energía ($\frac{J}{m^2}$)	α =Difusividad térmica ($\frac{m^2}{s}$)	T(x,t)=Temperatura superficial (°C)
			$tc = \frac{dr}{vc}$		$e = P * tp$	$es = \frac{e}{A}$	$\alpha = \frac{k}{\rho * Cp}$	$T(x, t) - Ti = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}}$
1EA	60	10	12	0,020	1,20	74563,116	1,95E-07	386,09
2EA	100	10	12	0,020	2,00	124271,859	3,65E-07	880,67
3EA	60	14	8,571	0,014	0,84	52194,181	3,65E-07	442,09
4EA	100	14	8,571	0,014	1,40	86990,302	3,65E-07	736,82
5EA	60	12	10	0,017	1,02	63378,648	3,65E-07	487,16
6EA	100	12	10	0,017	1,70	105631,081	3,65E-07	811,94
7EA	80	10	12	0,020	1,60	99417,488	3,65E-07	704,54
8EA	80	14	8,571	0,014	1,12	69592,241	3,65E-07	589,46
9EA	80	12	10	0,017	1,36	84504,864	3,65E-07	649,55
10EA	80	12	10	0,017	1,36	84504,864	3,65E-07	649,55
11EA	80	12	10	0,017	1,36	84504,864	3,65E-07	649,55
12EA	80	12	10	0,017	1,36	84504,864	3,65E-07	649,55
13EA	80	12	10	0,017	1,36	84504,864	3,65E-07	649,55

Fuente: Autor

3.1.3.5 Tabulación y selección de temperaturas superficiales

Una vez ya realizados los cálculos para las temperaturas superficiales del compuesto de resina epoxi con fibra de abacá tal como se muestra en la Tabla 3-16 se procedió a realizar la comparación con las temperaturas obtenidas a partir de la medición con el pirómetro.

Tabla 3-17. Comparación de las temperaturas medidas con el pirómetro y las calculadas en el compuesto de (RE + FA)

Compuesto (RE + FA)			
Probetas Rectangulares			
Tabulación y Selección de Temperaturas Superficiales (°C)			
Código	Cálculo Analítico	Pirómetro	
		Réplica 1	Réplica 2
1EA	386,09	331,10	324,70
2EA	880,67	869,20	813,00
3EA	442,09	434,00	453,90
4EA	736,82	735,50	697,20
5EA	487,16	423,60	418,10
6EA	811,94	768,20	795,10
7EA	704,54	679,10	691,50
8EA	589,46	562,90	545,40
9EA	649,55	653,90	642,60
10EA	649,55	644,60	632,70
11EA	649,55	647,60	618,20
12EA	649,55	641,00	607,00
13EA	649,55	645,90	675,60

Fuente: Autor

3.1.3.6 Temperaturas a distintos espesores

Tabla 3-18. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en la placa de (RE + FA)

Espesor de la placa		
Designación	Dimensión (mm)	Dimensión (m)
x_1	0	0
x_2	2,1	0,0021
x_3	4,2	0,0042

Fuente: Autor

Tabla 3-19. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en el compuesto de (RE + FA), réplica 1

Compuesto (RE + FA)									
Probetas Rectangulares									
Replica 1									
Cód	P=Potencia (W)	Vc=Vel. Corte (mm/s)	tc=Tiempo total de corte (s)	Temperatura a distintos espesores °C					
				$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	Valor medido	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	
				$tc = \frac{dr}{Vc}$	x_1	x_2	x_3		
1EA	60	10	12	385,9	331,1	240,69	206,51	58,40	50,10
2EA	100	10	12	880,25	869,2	684,15	675,56	321,21	317,17
3EA	60	14	8,571	441,88	434	310,50	304,96	107,73	105,81
4EA	100	14	8,571	736,47	735,5	517,50	516,82	179,54	179,31
5EA	60	12	10	486,93	423,6	359,85	313,05	145,24	126,35
6EA	100	12	10	811,55	768,2	599,75	567,71	242,06	229,13
7EA	80	10	12	704,2	679,1	547,32	527,81	256,96	247,81
8EA	80	14	8,571	589,18	562,9	414,00	395,54	143,64	137,23
9EA	80	12	10	649,24	653,9	479,80	483,24	193,65	195,04
10EA	80	12	10	649,24	644,6	479,80	476,37	193,65	192,27
11EA	80	12	10	649,24	647,6	479,80	478,59	193,65	193,16
12EA	80	12	10	649,24	641	479,80	473,71	193,65	191,19
13EA	80	12	10	649,24	645,9	479,80	477,33	193,65	192,65

Fuente: Autor



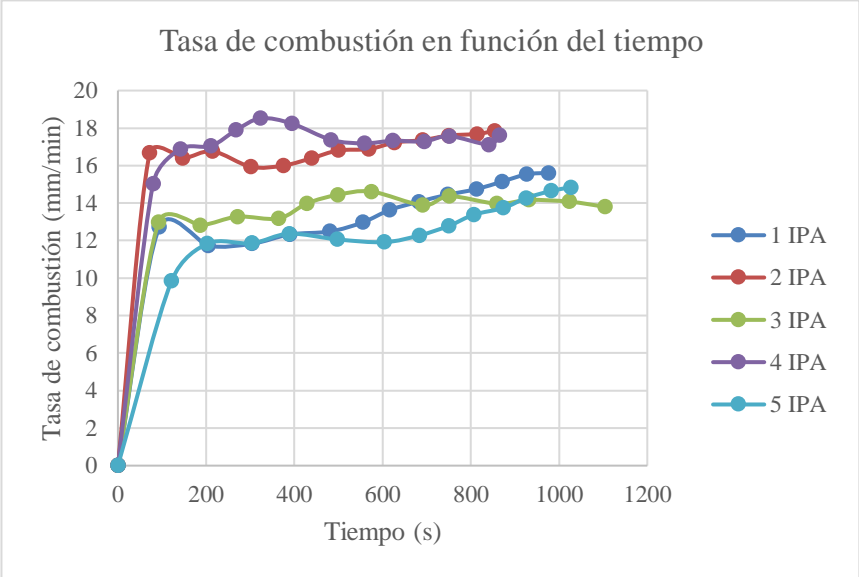
Tabla 3-20. Espesor para el cálculo de la distribución de temperaturas en el compuesto de (RE + FA), réplica 2

Compuesto (RE + FA)									
Probetas Rectangulares									
Replica 2									
Cód	P=Potencia (W)	Vc=Vel. Corte (mm/s)	tc=Tiempo total de corte (s)	Temperatura a distintos espesores °C					
				$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	Valor medido	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	$T(x,t) - T_i = \frac{es}{k * \sqrt{\frac{\pi t}{\alpha}}} \exp\left(-\left(\frac{x_1^2}{4at}\right)\right)$	
				$tc = \frac{dr}{Vc}$	x_1	x_2	x_3		
1EA	60	10	12	385,9	324,7	240,69	202,52	58,40	49,14
2EA	100	10	12	880,25	813	684,15	631,88	321,21	296,67
3EA	60	14	8,571	441,88	453,9	310,50	318,94	107,73	110,66
4EA	100	14	8,571	736,47	697,2	517,50	489,90	179,54	169,97
5EA	60	12	10	486,93	418,1	359,85	308,98	145,24	124,71
6EA	100	12	10	811,55	795,1	599,75	587,59	242,06	237,16
7EA	80	10	12	704,2	691,5	547,32	537,45	256,96	252,33
8EA	80	14	8,571	589,18	545,4	414,00	383,24	143,64	132,96
9EA	80	12	10	649,24	642,6	479,80	474,89	193,65	191,67
10EA	80	12	10	649,24	632,7	479,80	467,57	193,65	188,72
11EA	80	12	10	649,24	618,2	479,80	456,86	193,65	184,39
12EA	80	12	10	649,24	607	479,80	448,58	193,65	181,05
13EA	80	12	10	649,24	675,6	479,80	499,28	193,65	201,51

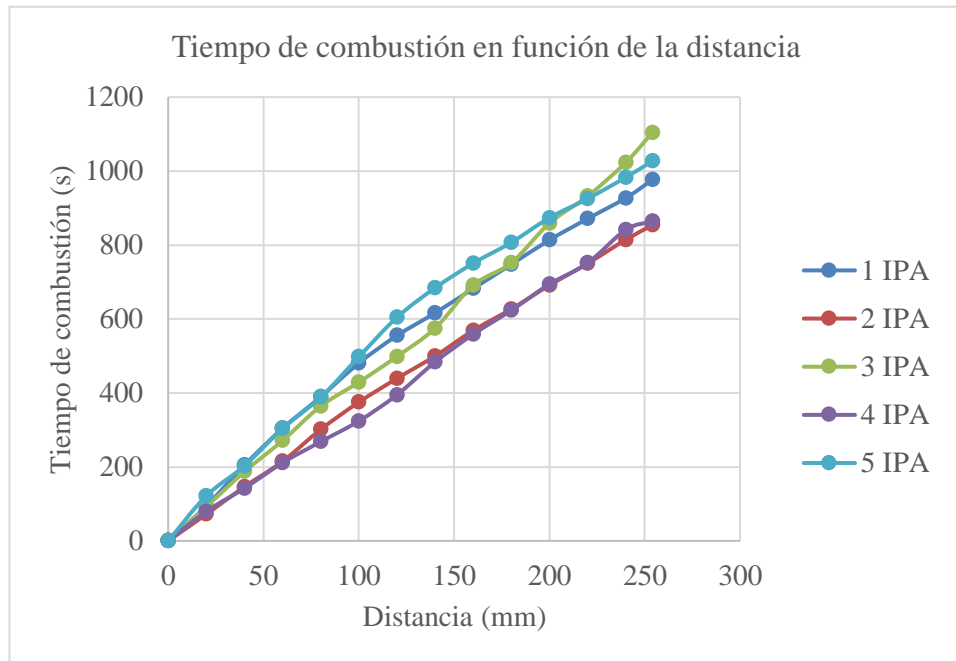
Fuente: Autor

3.1.4 Pruebas de inflamabilidad

Tabla 3-21. Pruebas de inflamabilidad del compuesto (RP + FA)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica	Campus Huachi	
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	5
RESULTADOS			
Resultado general según la Norma ISO 3795			
N° Probeta	Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)
Probeta 1	254	976,20	15,61
Probeta 2	254	853,80	17,85
Probeta 3	254	1104,00	13,80
Probeta 4	254	864,60	17,63
Probeta 5	254	1027,20	14,84
Total			79,73
Promedio			15,95
GRÁFICAS DEL ENSAYO			
<p style="text-align: center;">Tasa de combustión en función del tiempo</p> 			
<p>La gráfica anterior presenta una comparación de las tasas de combustión de las probetas de matriz poliéster reforzado con cascarilla de arroz, en donde se puede apreciar que la mayor tasa de combustión se genera en la probeta 2IPA (17,85 mm/min) en un tiempo corto de 853,80s (14,23 min). Mientras que la tasa de combustión más baja se genera en la probeta</p>			

3IPA (13,8 mm/min) con un tiempo de 1104,00 s (18,40 min), siendo este el tiempo de combustión más largo de las probetas ensayadas del grupo de muestras de matriz poliéster. También se observa que en cada una de las curvas de las probetas ensayadas se presenta un efecto de estabilidad de la tasa de combustión, lo que quiere decir que la propagación de la llama tiende a permanecer cuasi-estable (cubre la misma área superficial) conforme se desplaza por la probeta



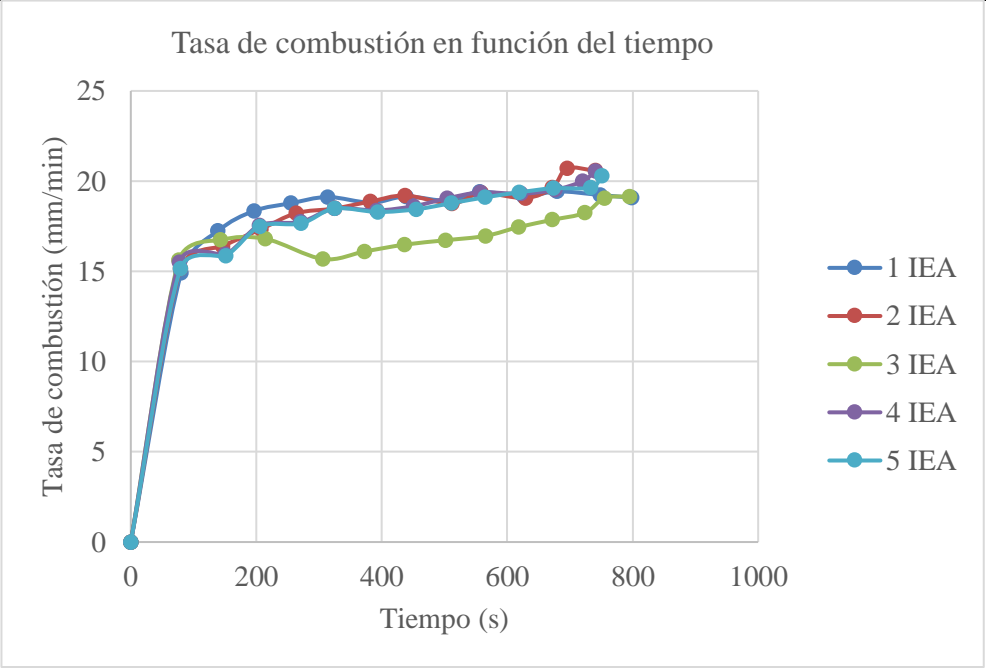


La gráfica anterior representa una comparación del tiempo de combustión de las probetas de matriz poliéster reforzado con fibra de abacá, en donde se puede apreciar que la probeta que más tiempo requiere para consumirse por completo por medio de la llama es la probeta 2IPA (17,85 mm/min) en un tiempo corto de 853,80s (14,23 min). Mientras que el tiempo de combustión más rápida se produce en la probeta 3IPA (13,8 mm/min) con un tiempo de 1104,00 s (18,40 min). La causa que provoca que una probeta sea consumida por el fuego de manera rápida o lenta depende mucho de la cantidad de cascarilla de arroz que se encuentre concentrado o acumulado en una unidad de volumen, esto quiere decir que en la elaboración de las probetas se generó ciertos espacios con mayor cantidad de refuerzo y en otros espacios con menor cantidad de refuerzo, debido a que la cascarilla de arroz es un refuerzo de fibra dispersa el cual no se puede controlar su cantidad y dirección.

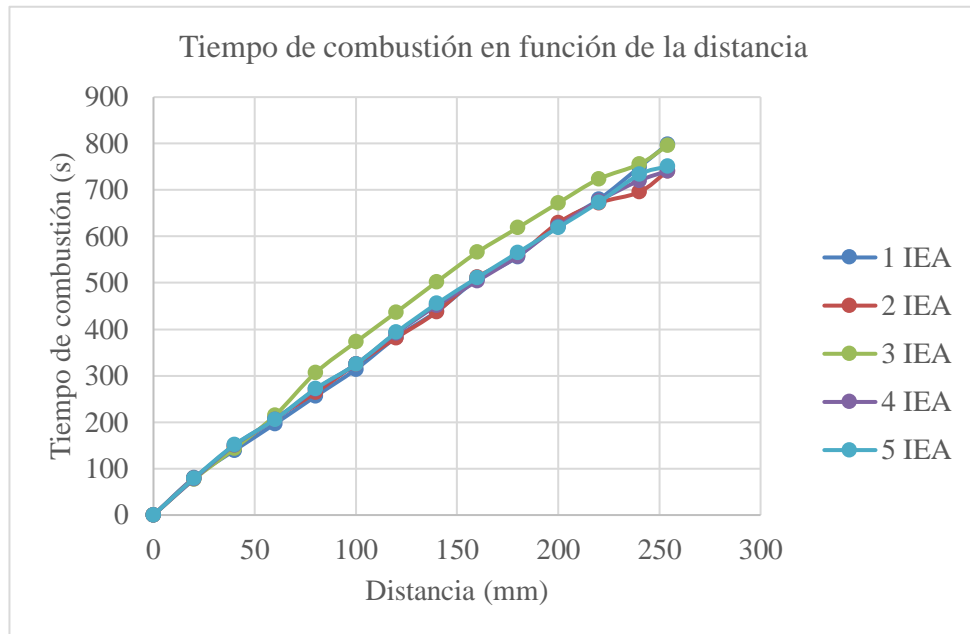
Anexo VIII: Informe técnico de los ensayos de inflamabilidad de las probetas de matriz poliéster, otorgado por la Centro de Transferencia y Tecnología (CTT)

Fuente: Autor

Tabla 3-22. Pruebas de inflamabilidad del compuesto (RE + FA)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica	Campus Huachi	
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Cristian Pérez Mg.
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	5
RESULTADOS			
Resultado general según la Norma ISO 3795			
N° Probeta	Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)
Probeta 1	254	798,60	19,08
Probeta 2	254	740,40	20,58
Probeta 3	254	795,60	19,16
Probeta 4	254	741,00	20,57
Probeta 5	254	751,20	20,29
Total			99,68
Promedio			19,94
GRAFICAS DEL ENSAYO			
<p style="text-align: center;">Tasa de combustión en función del tiempo</p> 			
<p>La gráfica anterior presenta una comparación de las tasas de combustión de las probetas de matriz epoxi reforzado con fibra de abacá, en donde se puede apreciar que la mayor tasa de combustión se genera en la probeta 2PA (20,58 mm/min) en un tiempo corto de 740,40s (12,34 min). Mientras que la tasa de combustión más baja se genera en la probeta 1EA</p>			

(19,08 mm/min) con un tiempo de 798,60 s (13,31 min), siendo este el tiempo de combustión más alta de las probetas ensayadas del grupo de muestras de matriz epoxi. También se observa que en cada una de las curvas de las probetas ensayadas se presenta un efecto de elevación progresiva de la tasa de combustión, lo que quiere decir que la propagación de la llama tiende a incrementarse (cubre mayor área superficial) conforme se desplaza por la probeta.



La gráfica anterior representa una comparación del tiempo de combustión de las probetas de matriz epoxi reforzado con fibra de abacá, en donde se puede apreciar que la probeta que más tiempo requiere para consumirse por completo por medio de la llama es la probeta 1EA (19,08 mm/min) con un tiempo de 798,60 s (13,31 min). Mientras que el tiempo de combustión más rápida se efectúa en la probeta 2PA (20,58 mm/min) en un tiempo corto de 740,40s (12,34 min).

Anexo IX: Informe técnico de los ensayos de inflamabilidad de las probetas de matriz epóxica, otorgado por la Centro de Transferencia y Tecnología (CTT).

Fuente: Autor

3.2 Verificación de hipótesis

3.2.1 Análisis de datos de rugosidad

3.2.1.1 Verificación de supuestos

Al pretender aplicar la metodología de superficie de respuesta (MSR) y sabiendo que la misma basa su estudio en el ANOVA; previo a su ejecución, es necesario verificar que las mediciones de la rugosidad cumplan con los supuestos paramétricos; estos supuestos son la normalidad de los datos, varianzas iguales en los tratamientos e independencia de los datos.

3.2.1.1.1 Supuesto de normalidad

El supuesto de normalidad, se verifico empleando la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, en el que contrastamos las significancias para probar la siguiente hipótesis:

H_0 : Las mediciones de rugosidad se distribuyen normalmente.

H_1 : Las mediciones de rugosidad no se distribuyen normalmente.

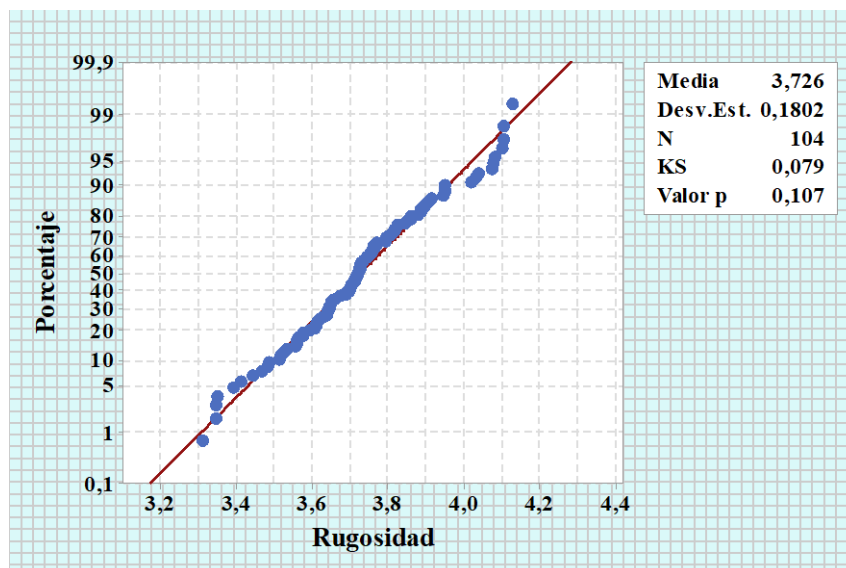


Figura 3-1. Gráfica de probabilidad normal de la rugosidad.

Fuente: Autor

En la Figura 3-1 se visualiza el estadístico de prueba y la significancia calculada, esta última, superando a la significancia predefinida, estos valores son 0,107 y 0,05; respectivamente. En base a los datos de la rugosidad, no se rechaza la hipótesis nula, probando que las mediciones de rugosidad se distribuyen normalmente.

3.2.1.1.2 Supuesto de varianzas iguales

Para verificar el supuesto de varianzas iguales, se emplea la prueba de Levene, en el que contrastamos la significancia calculada con la significancia predefinida para probar la siguiente hipótesis:

H_0 : Los tratamientos de las mediciones de rugosidad tienen varianzas iguales.

H_1 : Los tratamientos de las mediciones de rugosidad no tienen varianzas iguales.

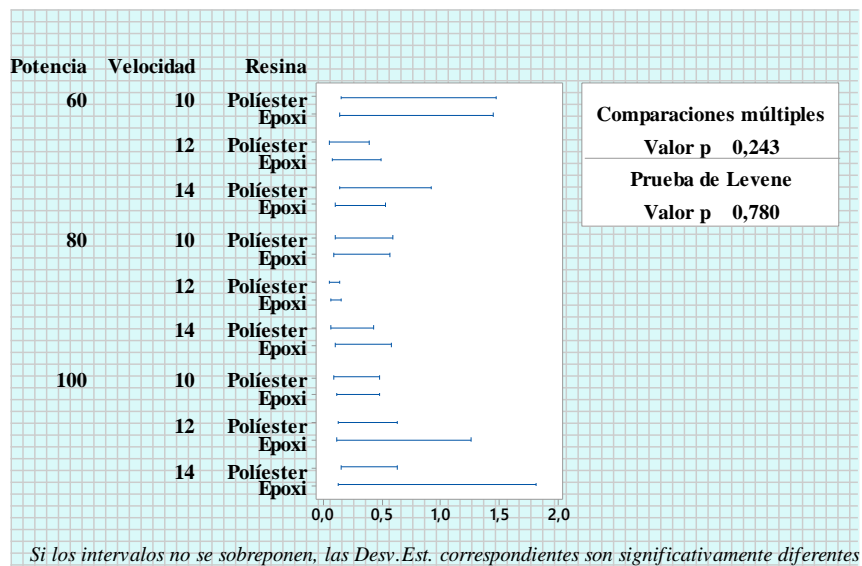


Figura 3-2. Gráfica de igualdad de varianza en los tratamientos de la rugosidad.

Fuente: Autor

En la Figura 3-2 se visualiza el estadístico de prueba y la significancia calculada, esta última, superando a la significancia predefinida, estos valores son 0,780 y 0,05; respectivamente. En base a los datos de la rugosidad, no se rechaza la hipótesis nula, probando que los tratamientos de las mediciones de rugosidad tienen varianzas iguales.

3.2.1.1.3 Verificación del supuesto de independencia en las mediciones

La verificación del supuesto en las mediciones se proyecta a la verificación en los residuos, por lo que la manera más factible de corroborar independencia es realizar un análisis de la información en la gráfica del orden de observación versus los residuos de la rugosidad.

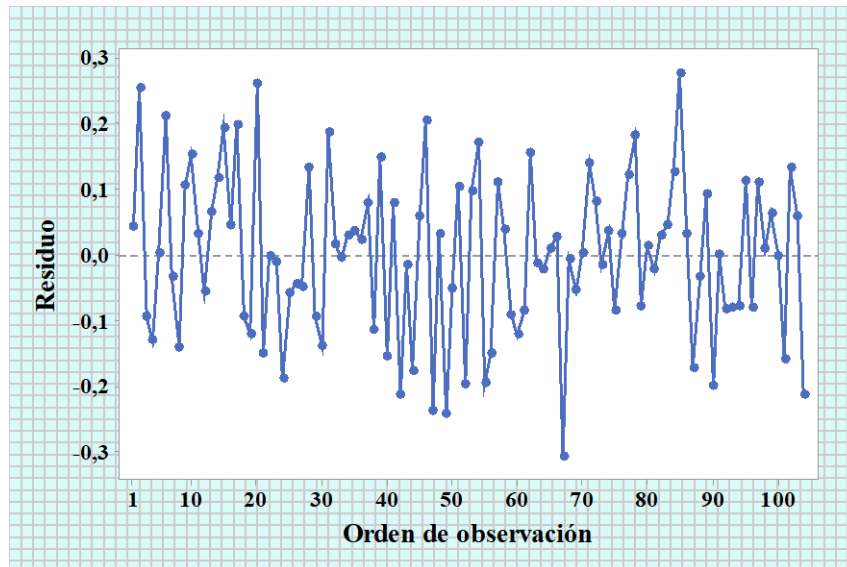


Figura 3-3. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la rugosidad.

Fuente: Autor

En la Figura 3-3 se visualiza que no existe ninguna tendencia o patrón definido, por lo que se afirma que existe independencia en los residuos de las mediciones de la rugosidad.

3.2.1.2 Aplicación de la metodología de superficie de respuesta

Tras haber verificado que las mediciones de la rugosidad cumplen con los supuestos, se ejecuta un primer análisis en el que se involucran los términos de un modelo cuadrático completo, del cual tras la aplicación del ANOVA se dirige el análisis al diagrama que se detalla en la Figura 3-4, en este diagrama de Pareto, se visualizan los términos que tienen efectos que no influyen significativamente en la rugosidad, para su posterior exclusión.

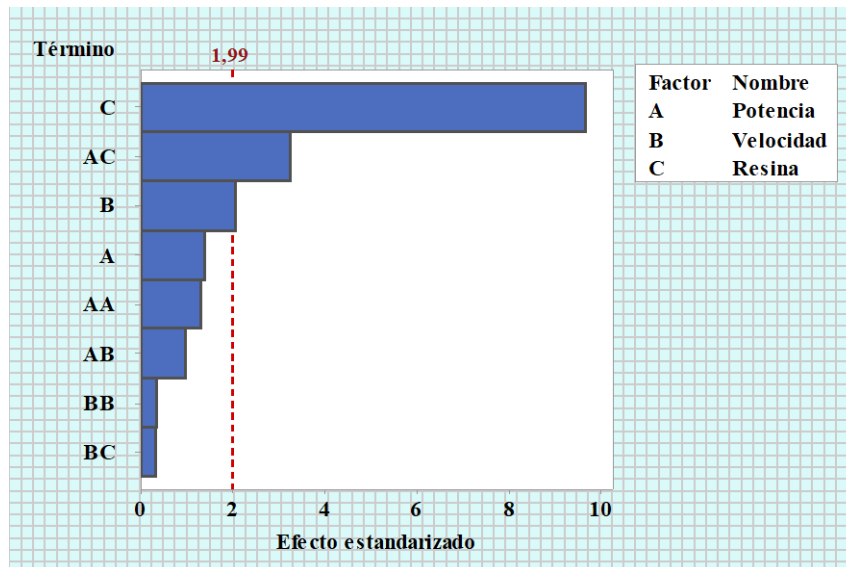


Figura 3-4. Diagrama de Pareto de los efectos para la rugosidad.

Fuente: Autor

Luego de depurar el modelo podemos efectuar un nuevo análisis de varianza de los términos que se consideran estadísticamente significativos, este análisis se describe en la Tabla 3-23, el modelo final representa el 52.96% de la variabilidad de la rugosidad y este se asemeja a un modelo de primer orden ya que no cuenta con términos cuadráticos.

Del ANOVA se puede destacar que al menos dos tratamientos de la rugosidad tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es 0,000, lo cual difiere claramente, siendo más baja que la significancia predefinida de 0,05.

Tabla 3-23. ANOVA para la rugosidad.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrado medio	F_0	Valor- p
Modelo	1,7710	4	0,4427	27,87	0,000
Potencia	0,0683	1	0,0317	2,00	0,161
Velocidad	1,5024	1	0,0683	4,30	0,041
Resina	0,1685	1	1,5024	94,57	0,000
Potencia * Resina	0,7846	1	0,1685	10,61	0,002
Falta de ajuste	0,7882	13	0,0604	6,58	0,000
Error puro	3,3438	86	0,0092		
Total	0,0683	103			

Fuente: Autor

La falta de ajuste es estadísticamente significativa por lo que se puede confirmar que hay términos de mayor grado que no se están analizando o factores que no se incluyen en el modelo.

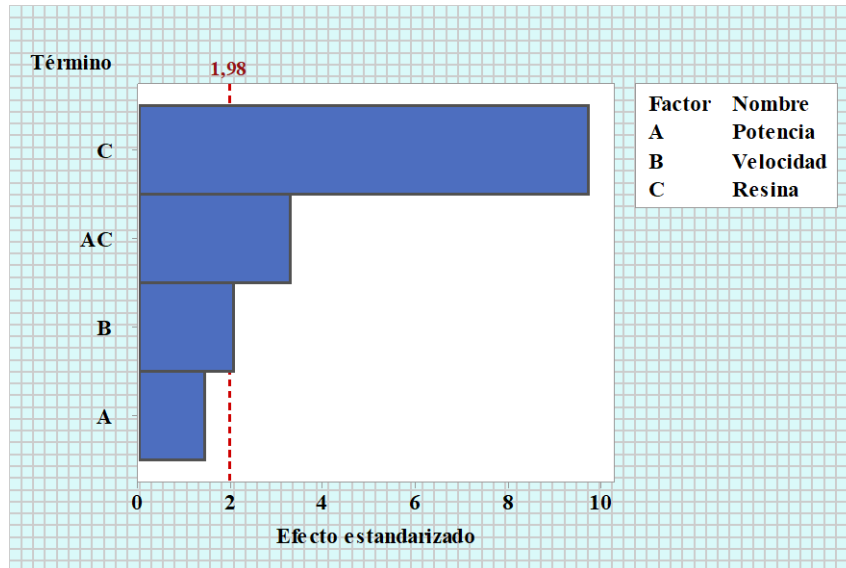


Figura 3-5. Diagrama de Pareto de los efectos considerados significativos para la rugosidad.

Fuente: Autor

El diagrama de Pareto de los efectos que se consideran en el modelo se trata en la Figura 3-5. Para ratificar el efecto significativo de los factores que se incluyen en el análisis final y de qué manera los mismos afectan a la rugosidad, se detalla la gráfica de probabilidad normal de los efectos en la Figura 3-6, donde se especifica que los efectos de la interacción de la potencia con la resina y la velocidad, influyen positivamente en la rugosidad, logrando que esta aumente a medida que se sube el nivel de estos factores; además se asegura que los efectos de la resina, influyen negativamente en la rugosidad, logrando que esta disminuya a medida que se aumenta el nivel de dicho factor.

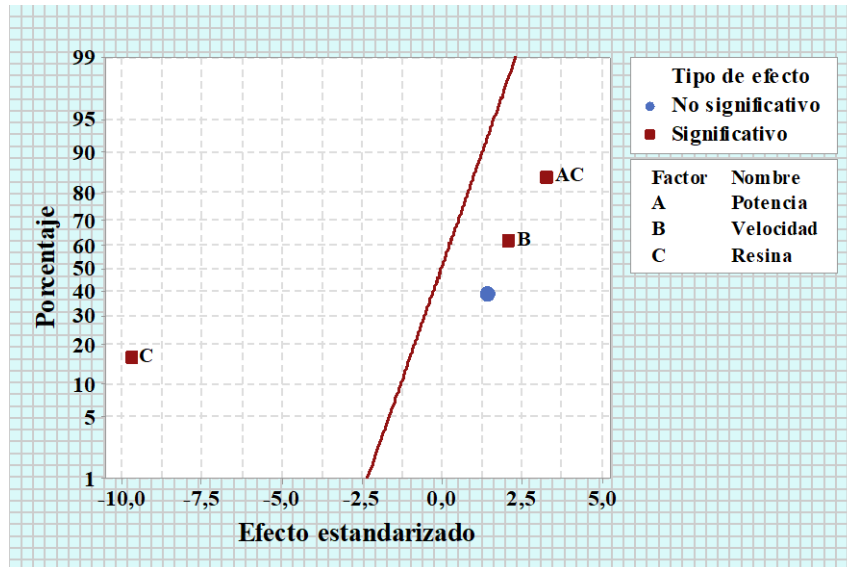


Figura 3-6. Gráfica de probabilidad normal de los efectos de la rugosidad.

Fuente: Autor

Para tener un análisis más específico se visualiza la gráfica de efectos principales y de interacciones, en la Figura 3-6 y la Figura 3-7, respectivamente; la primera indica que la resina tiene los efectos más grandes sobre la rugosidad, gráficamente se los contrasta tomando en cuenta la pendiente de sus líneas, dado que una pendiente más pronunciada denota un efecto grande de dicho factor.

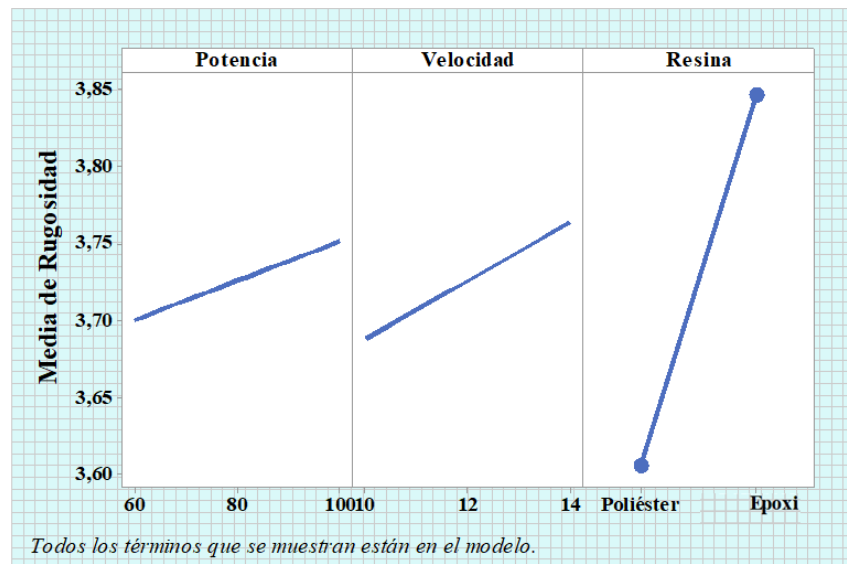


Figura 3-7. Gráfica de efectos principales para la rugosidad.

Fuente: Autor

Posterior a los efectos principales, se tratan los efectos de la interacción de los factores, en la Figura 3-8 se disponen todas las interacciones; sin embargo, de manera específica una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa.

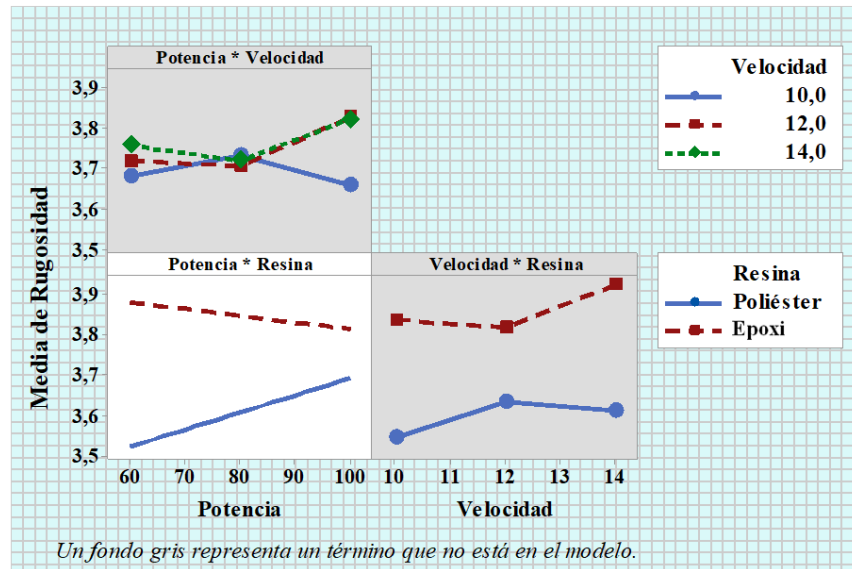


Figura 3-8. Gráfica de interacción para la rugosidad.

Fuente: Autor

Se visualiza en la Figura 3-8 que los efectos de las interacciones entre la potencia con la resina influyen significativamente en la rugosidad.

De acuerdo al modelo final analizado en el ANOVA, se obtienen dos ecuaciones de regresión debido al factor categórico, cada ecuación genera una superficie que se dispone en la Figura 3-9 y en la Figura 3-10.

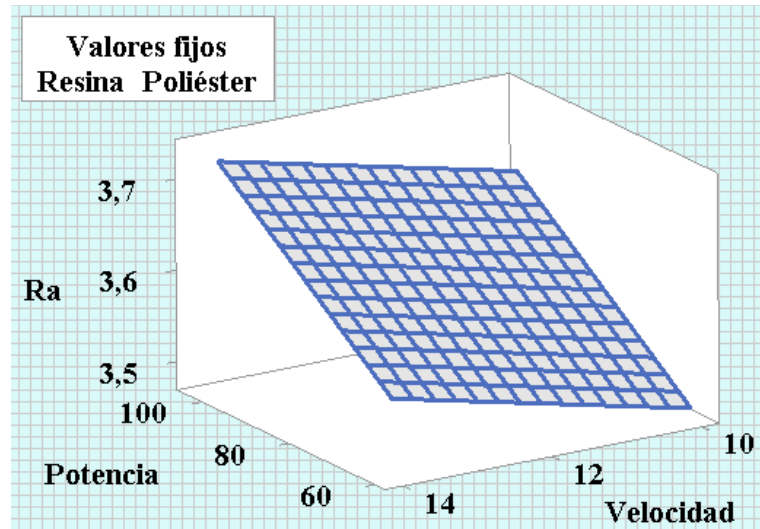


Figura 3-9. Gráfica de superficie para la rugosidad vs la potencia y la velocidad; con resina poliéster.

Fuente: Autor

En la primera gráfica se presenta la rugosidad para los diferentes niveles de la potencia y la velocidad, respecto a una matriz de resina poliéster; esto se visualiza en la Figura 3-9. Se puede definir de manera específica que, para este tipo de resina, el punto en que se obtiene el valor más bajo de rugosidad es al emplear baja potencia y velocidad.

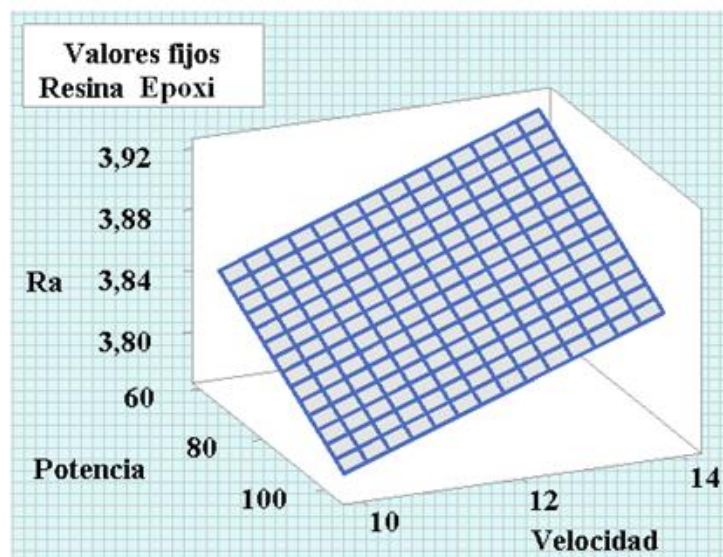


Figura 3-10. Gráfica de superficie para la rugosidad vs la potencia y la velocidad; con resina epoxi.

Fuente: Autor

En la segunda gráfica se presenta la rugosidad para los diferentes niveles de potencia y velocidad, respecto a una matriz de resina epoxi; esto se visualiza en la Figura 3-10. Se puede definir de manera específica que, para este tipo de resina, el punto en que se obtiene el valor más bajo de rugosidad es al emplear una potencia alta y una baja velocidad.

3.2.1.3 Optimización de la rugosidad

Teniendo claro que el objetivo es minimizar la rugosidad, se emplea la función de deseabilidad para optimizar los parámetros del proceso de corte láser. Los parámetros considerados como óptimos se detallan en la Figura 3-11, con el que se define el punto óptimo en el que el valor de la rugosidad es el mínimo logrado.

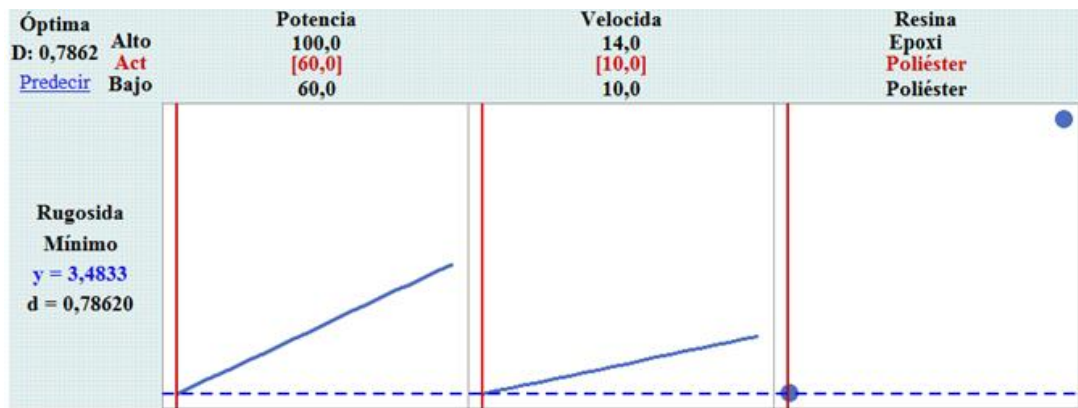


Figura 3-11. Gráfica de optimización para la rugosidad.

Fuente: Autor

El nivel óptimo de cada factor, el cual reduce la rugosidad en lo mínimo permisible, se detalla en la Tabla 3-24, este punto es calculado mediante las respuestas predichas por el modelo.

Tabla 3-24. Valores predichos para el punto óptimo de la rugosidad

Factores	
Potencia	60 W
Velocidad	10 mm/s
Resina	Poliéster
Respuesta	
Rugosidad	3,4833 μm

Fuente: Autor

3.2.1.4 Verificación de hipótesis respecto a la rugosidad

Para verificar la hipótesis “La variación de los parámetros del proceso de corte láser con CO₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá influirá en la calidad superficial”, es necesario examinar las significancias calculadas en la tabla del ANOVA de la rugosidad, la verificación de la hipótesis se describe en la Tabla 3-25.

Tabla 3-25. Verificación de hipótesis.

Hipótesis:	<p>H₀: La variación de los parámetros del proceso de corte láser con CO₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá influirá en la rugosidad.</p> <p>H₁: La variación de los parámetros del proceso de corte láser con CO₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá no influirá en la rugosidad.</p>
Valor-p 0,000	Se rechaza la hipótesis nula, en base a la información recolectada, por lo que se puede afirmar que los parámetros del proceso de corte láser con CO ₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá influyen en la rugosidad.

Fuente: Autor

Luego de contrastar las significancias de la rugosidad se llega a la conclusión de que existe una marcada influencia de los parámetros del proceso de corte láser con CO₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá, lo que significa que influyen en la calidad superficial del mismo.

3.2.2 Análisis de datos de temperatura

3.2.2.1 Verificación de supuestos

Al pretender aplicar la metodología de superficie de respuesta (MSR) y sabiendo que la misma basa su estudio en el ANOVA; previo a su ejecución, es necesario verificar que las mediciones de la temperatura cumplan con los supuestos paramétricos; estos supuestos son la normalidad de los datos, varianzas iguales en los tratamientos e independencia de los datos.

3.2.2.1.1 Supuesto de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad, se emplea la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, en el que contrastamos las significancias para probar la siguiente hipótesis:

H_0 : Las mediciones de temperatura se distribuyen normalmente.

H_1 : Las mediciones de temperatura no se distribuyen normalmente.

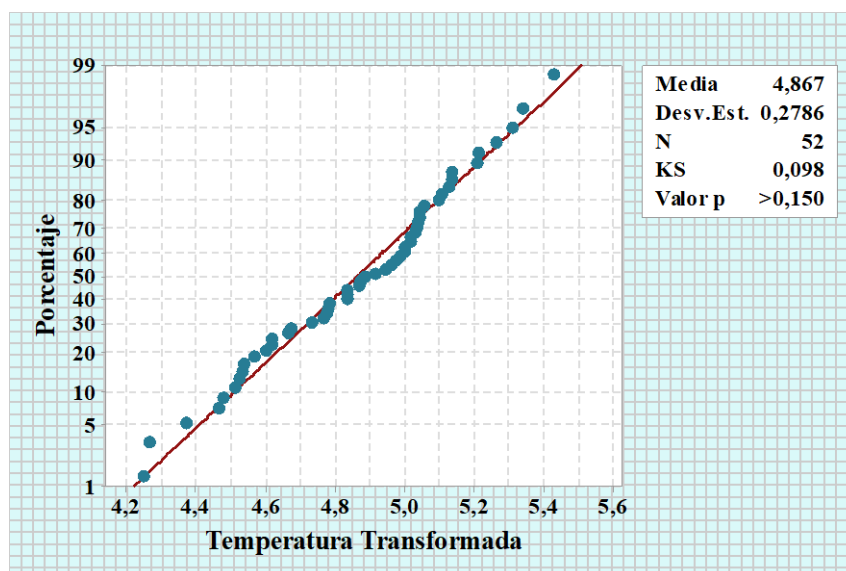


Figura 3-12. Gráfica de probabilidad normal de la temperatura

Fuente: Autor

En la Figura 3-12 se visualiza el estadístico de prueba y la significancia calculada, esta última, superando a la significancia predefinida, estos valores son más de 0,150 y 0,05; respectivamente. Se verificó el supuesto en los datos transformados, debido al

incumplimiento del supuesto de varianzas iguales. En base a los datos transformados de la temperatura, no se rechaza la hipótesis nula, probando que las mediciones de rugosidad se distribuyen normalmente.

3.2.2.1.2 Supuesto de varianzas iguales

Para verificar el supuesto de varianzas iguales, se emplea la prueba de Levene, en el que contrastamos la significancia calculada con la significancia predefinida para probar la siguiente hipótesis:

H_0 : Los tratamientos de las mediciones de rugosidad tienen varianzas iguales.

H_1 : Los tratamientos de las mediciones de rugosidad no tienen varianzas iguales.

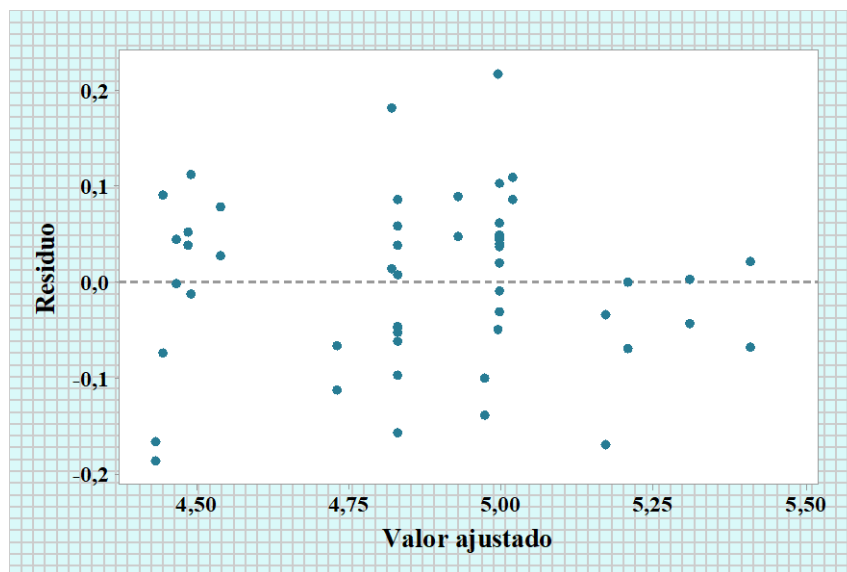


Figura 3-13. Gráfica de igualdad de varianza en los tratamientos de la rugosidad.

Fuente: Autor

Inicialmente las mediciones originales de temperatura, no cumple con el supuesto de varianzas iguales, por lo que se requiere aplicar la transformación necesaria, empleando un parámetro de transformación de 0,25.

En la Figura 3-13 se visualiza la gráfica de valores ajustados versus los residuos de los datos transformados de temperatura. En base a la información brindada por la gráfica, los residuos no aumentan conforme aumenta el valor del ajuste, por lo que no se rechaza la hipótesis nula, probando que los tratamientos de las mediciones de temperatura tienen varianzas iguales.

3.2.2.1.3 Verificación del supuesto de independencia en las mediciones

La verificación del supuesto en las mediciones se proyecta a la verificación en los residuos, por lo que la manera más factible de corroborar independencia es realizar un análisis de la información en la gráfica del orden de observación versus los residuos de la temperatura.

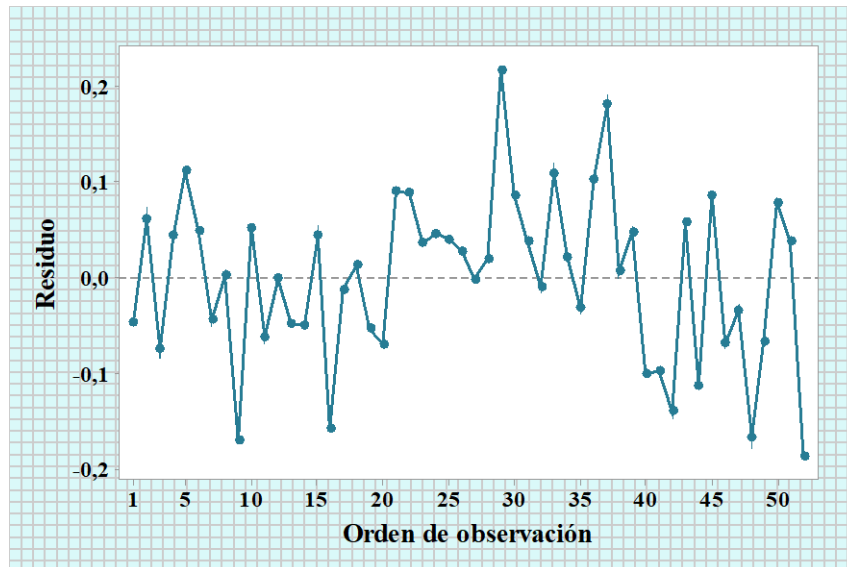


Figura 3-14. Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la temperatura.

Fuente: Autor

En la Figura 3-14 se visualiza que no existe ninguna tendencia o patrón definido, por lo que se afirma que existe independencia en los residuos de las mediciones de la temperatura.

3.2.2.2 Aplicación de la metodología de superficie de respuesta

Tras haber verificado que las mediciones de la temperatura cumplen con los supuestos, se ejecuta un primer análisis en el que se involucran los términos de un modelo cuadrático completo, del cual tras la aplicación del ANOVA se dirige el análisis al diagrama que se detalla en la Figura 3-15, en este diagrama de Pareto, se visualizan los términos que tienen efectos que no influyen significativamente en la temperatura, para su posterior exclusión.

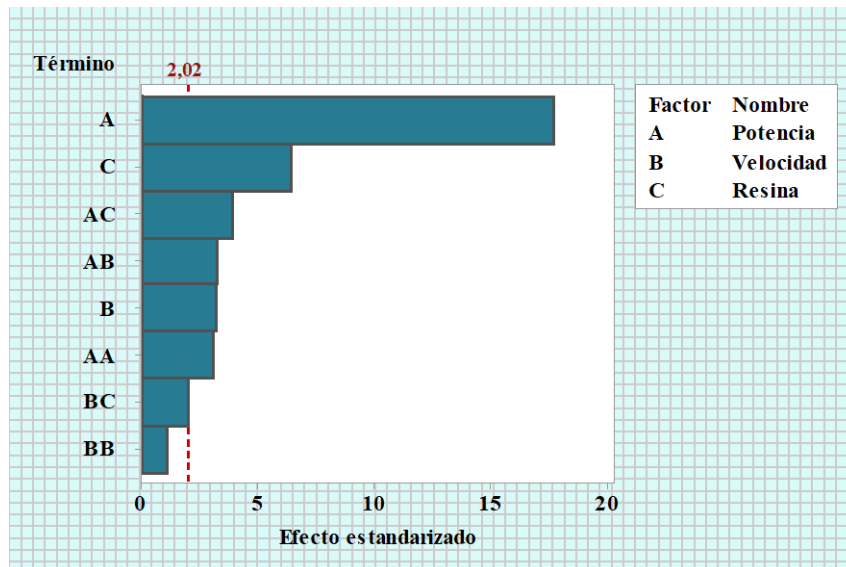


Figura 3-15. Diagrama de Pareto de los efectos para la temperatura.

Fuente: Autor

Luego de depurar el modelo podemos efectuar un nuevo análisis de varianza de los términos que se consideran estadísticamente significativos, este análisis se describe en la Tabla 3-26, el modelo final representa el 90,28% de la variabilidad de la temperatura y se asemeja a un modelo de segundo orden ya que cuenta con el término cuadrático de la potencia.

Del ANOVA se puede destacar que al menos dos tratamientos de la temperatura tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es 0,000, lo cual difiere claramente, siendo más baja que la significancia predefinida de 0,05.

Tabla 3-26. ANOVA para la temperatura

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrado medio	F_0	Valor- p
Modelo	3,5746	7	0,5107	58,41	0,000
Potencia	2,7417	1	2,7417	313,62	0,000
Velocidad	0,0902	1	0,0902	10,32	0,002
Resina	0,3582	1	0,3582	40,97	0,000
Potencia * Potencia	0,1263	1	0,1263	14,45	0,000
Potencia * Velocidad	0,0934	1	0,0934	10,68	0,002
Potencia * Resina	0,1307	1	0,1307	14,95	0,000
Velocidad * Resina	0,0341	1	0,0341	3,90	0,054
Falta de ajuste	0,2293	10	0,0229	5,02	0,000
Error puro	0,1554	34	0,0046		
Total	3,9592	51			

Fuente: Autor

La falta de ajuste es estadísticamente significativa por lo que se puede confirmar que hay términos de mayor grado que no se están analizando o factores que no se incluyen en el modelo. Se aclara que se considera a criterio del investigador significativo el efecto de la interacción entre velocidad con la resina.

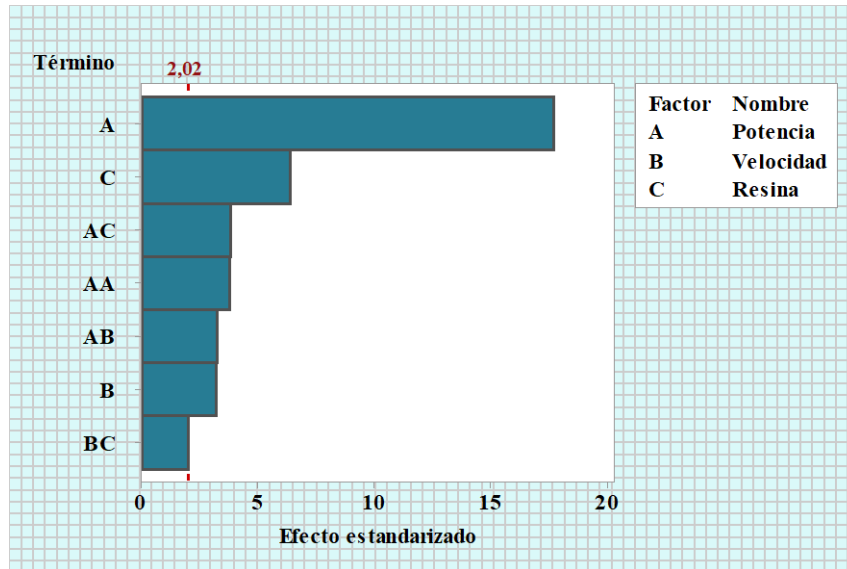


Figura 3-16. Diagrama de Pareto de los efectos considerados significativos para la temperatura.

Fuente: Autor

El diagrama de Pareto de los efectos que se consideran en el modelo se trata en la Figura 3-16. Para ratificar el efecto significativo de los factores que se incluyen en el análisis final y de qué manera los mismos afectan a la rugosidad, se detalla la gráfica de probabilidad normal de los efectos en la Figura 3-17, donde se especifica que los efectos de la potencia, de la resina, de la interacción entre la potencia con la resina y la interacción de la velocidad con la resina, influyen positivamente en la temperatura, logrando que esta aumente a medida que se sube el nivel de estos factores; además se asegura que los efectos del cuadrático de la potencia, de la interacción entre la potencia con la velocidad y de la velocidad, influyen negativamente en la rugosidad, logrando que esta disminuya a medida que se aumenta el nivel de dicho factor.

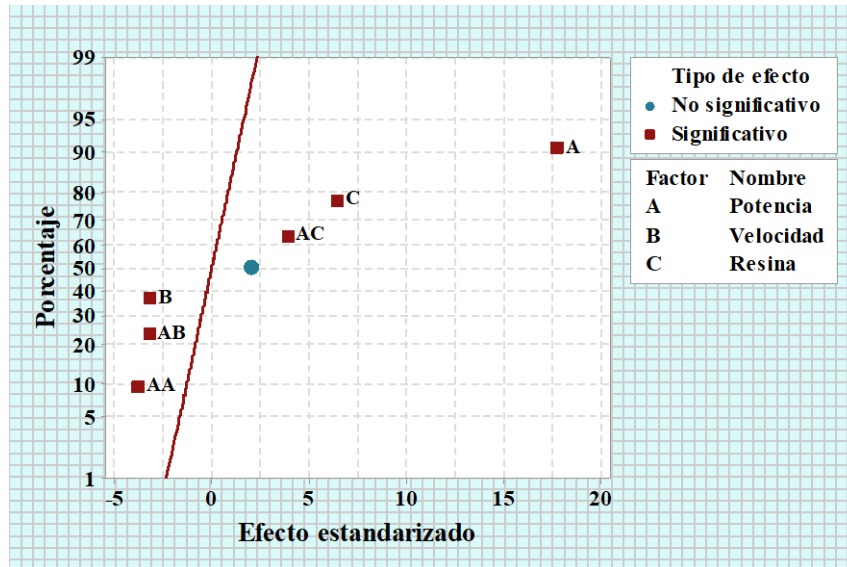


Figura 3-17. Gráfica de probabilidad normal de los efectos de la temperatura.

Fuente: Autor

Para tener un análisis más específico se visualiza la gráfica de efectos principales y de interacciones, en la Figura 3-17 y la Figura 3-18, respectivamente; la primera indica que la resina tiene los efectos más grandes sobre la temperatura, gráficamente se los contrasta tomando en cuenta la pendiente de sus líneas, dado que una pendiente más pronunciada denota un efecto grande de dicho factor.

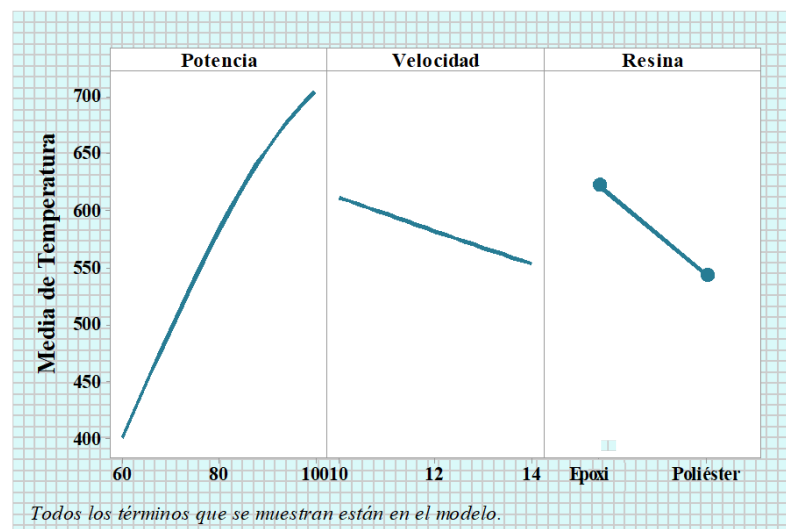


Figura 3-18. Gráfica de efectos principales para la temperatura.

Fuente: Autor

Posterior a los efectos principales, se tratan los efectos de la interacción de los factores, en la Figura 3-19 se disponen todas las interacciones; sin embargo, de manera específica una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa.

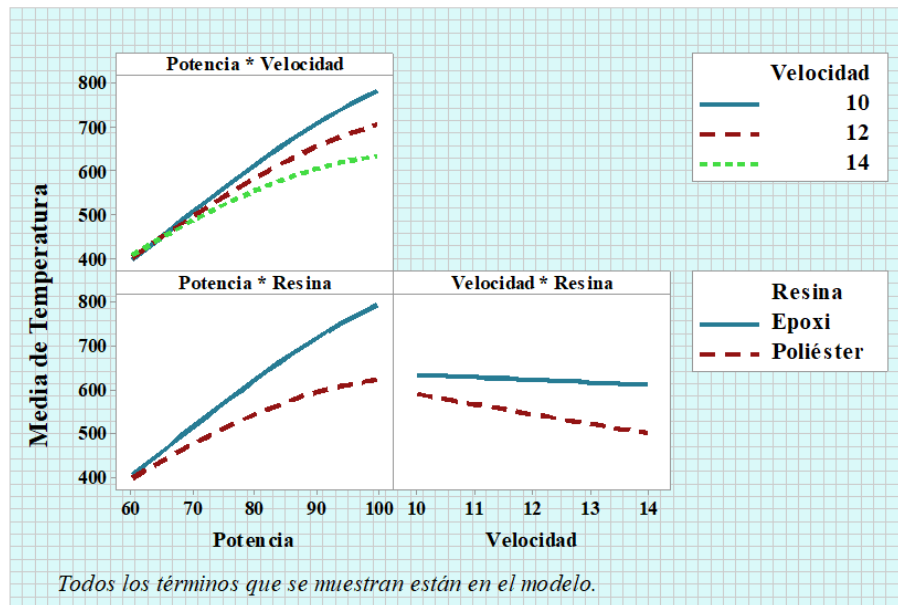


Figura 3-19. Gráfica de interacción para la temperatura.

Fuente: Autor

Se visualiza en la Figura 3-19 que los efectos de las interacciones entre la potencia con la velocidad, de la potencia con la resina y de la velocidad con la resina; influyen significativamente en la temperatura.

De acuerdo al modelo final analizado en el ANOVA, se obtienen dos ecuaciones de regresión debido al factor categórico, cada ecuación genera una superficie que se dispone en la Figura 3-20 y en la Figura 3-21.

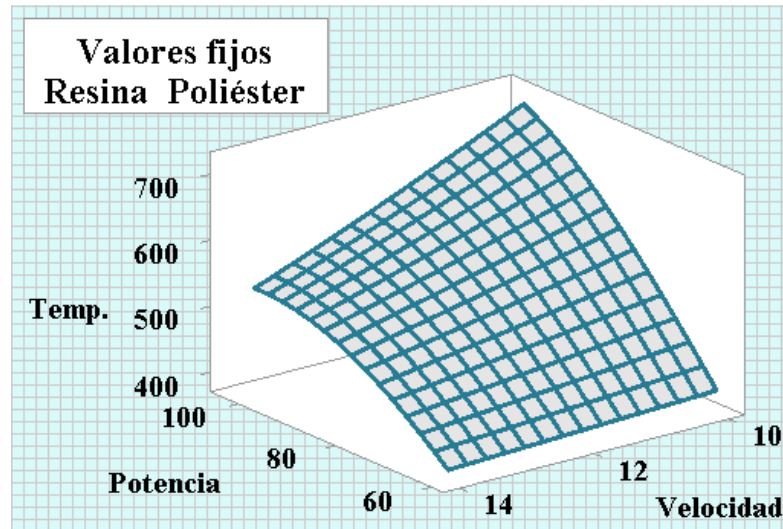


Figura 3-20. Gráfica de superficie para la temperatura vs la potencia y la velocidad; con resina poliéster.

Fuente: Autor

En la primera gráfica se presenta la temperatura para los diferentes niveles de la potencia y la velocidad, respecto a una matriz de resina poliéster; esto se visualiza en la Figura 3-20. Se puede definir de manera específica que, para este tipo de resina, el punto en que se obtiene el valor más bajo de temperatura es al emplear una potencia baja y una alta velocidad.

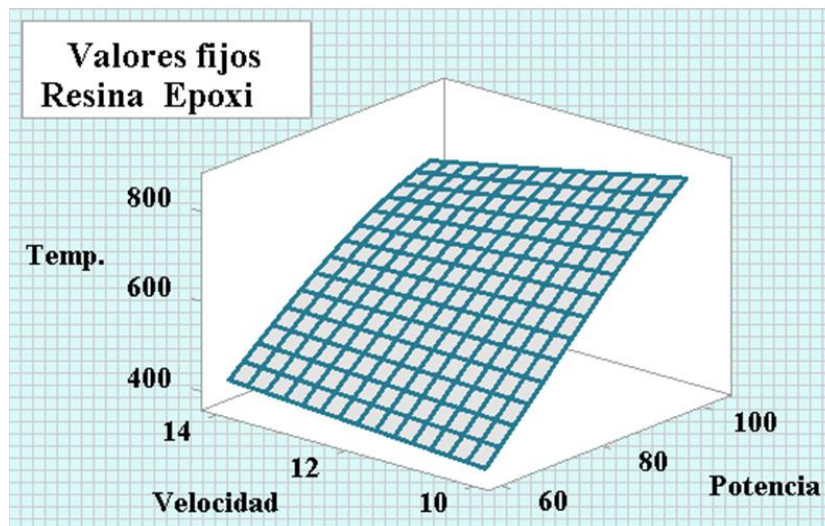


Figura 3-21. Gráfica de superficie para la temperatura vs la potencia y la velocidad; con resina epoxi.

Fuente: Autor

En la segunda gráfica se presenta la temperatura para los diferentes niveles de la potencia y la velocidad, respecto a una matriz de resina epoxi; esto se visualiza en la Figura 3-21. Se puede definir de manera específica que, para este tipo de resina, el punto en que se obtiene el valor más bajo de temperatura es al emplear baja potencia y velocidad.

3.2.2.3 Optimización de la rugosidad

Teniendo claro que el objetivo es minimizar la temperatura, se emplea la función de deseabilidad para optimizar los parámetros del proceso de corte láser. Los parámetros considerados como óptimos se detallan en la Figura 3-22, con el que se define el punto óptimo en el que el valor de la temperatura es el mínimo logrado.

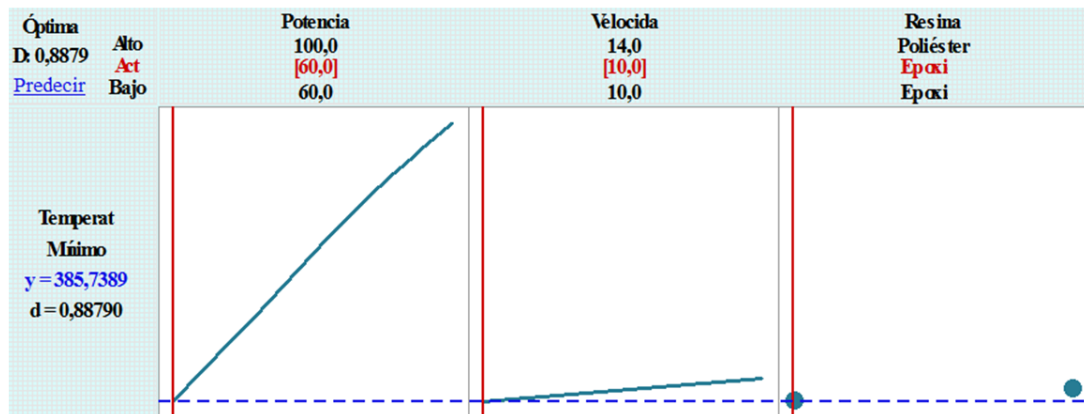


Figura 3-22. Gráfica de optimización para la temperatura.

Fuente: Autor

El nivel óptimo de cada factor, el cual aumenta la temperatura en lo mínimo permisible, se detallan en la Tabla 3-27, este punto es calculado mediante las respuestas predichas por el modelo.

Tabla 3-27. Valores predichos para el punto óptimo de la temperatura.

Factores	
Potencia	60 W
Velocidad	10 mm/s
Resina	Epoxi
Respuesta	
Temperatura	385,739°C

Fuente: Autor

3.2.2.4 Verificación de hipótesis respecto al efecto térmico

Para verificar la hipótesis “La variación de los parámetros del proceso de corte láser con CO₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá influirá en la temperatura”, es necesario examinar las significancias calculadas en la tabla del ANOVA de la rugosidad, la verificación de la hipótesis se describe en la Tabla 3-28.

Tabla 3-28. Verificación de hipótesis.

Hipótesis:	<p>H₀: La variación de los parámetros del proceso de corte láser con CO₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá influirá en la temperatura.</p> <p>H₁: La variación de los parámetros del proceso de corte láser con CO₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá no influirá en la temperatura.</p>
Valor-<i>p</i> 0,000	Se rechaza la hipótesis nula, en base a la información recolectada, por lo que se puede afirmar que los parámetros del proceso de corte láser con CO ₂ para el compuesto de matriz polimérica reforzado con Fibra de Abacá influyen en la temperatura.

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se diseñó el modelo experimental de regresión lineal del corte láser de CO₂ del material compuesto; basado en el análisis de varianza de la rugosidad y del efecto térmico; este modelo de regresión explica hasta el 90,28% de variabilidad de las regresiones.
- Se determinó que los porcentajes considerados en la fabricación del material compuesto tanto para la resina como para la fibra fueron los correctos, ya que, una vez terminado el análisis las probetas ensayadas cumplían con los rangos establecidos en las normas: ISO 1302, NTE INEN 1323 y NTE INEN 1668.
- Se generó la matriz de diseño del experimento, para cada parámetro de corte con sus distintos niveles, con las combinaciones necesarias para obtener el modelo de regresión partiendo del Diseño Central Compuesto, este diseño genera un total de 26 combinaciones.
- Se evaluó la calidad de la superficie y el efecto térmico mediante la metodología de superficie de respuesta, involucrando los parámetros de entrada tales como, la potencia, la velocidad y la resina.
- Mediante el análisis de la varianza de la rugosidad y del efecto térmico, los parámetros que más influyen son la resina y la potencia, respectivamente cada una con significancias menores a la predefinida de 0,05.
- Combinando una potencia de 60W con una velocidad de 10 mm/s y una matriz de resina poliéster, se logra reducir la rugosidad superficial del material obteniendo un valor de 3,4833 μm .

- Utilizando los parámetros de corte: una potencia de 60W con una velocidad de $10 \frac{mm}{s}$ y una matriz de resina epoxi, se logra obtener una temperatura superficial mínima de 385,739°C.
- Mediante los resultados de la rugosidad promedio (Ra) del compuesto de matriz poliéster y del compuesto de matriz epoxi, al ser manufacturados por corte láser, se determinó que se encuentran dentro del rango aceptable [6,3 – 1,6] μm que establece la norma ISO 1302, es decir que ambos materiales compuestos presentan un buen acabado superficial.
- De acuerdo a lo señalado en la norma NTE INEN 1668, se indica que los materiales compuestos: (resina poliéster combinado con fibra de abacá) y (resina epoxi combinado con fibra de abacá) tienen un índice de combustión de 15,9 y 19,9 mm/min respectivamente; el material cumple con lo establecido en la norma, ya que, el índice máximo permitido es de 100 mm/min.
- De acuerdo a lo señalado en la norma NTE INEN 1323, se indica que los materiales compuestos: (resina poliéster combinado con fibra de abacá) y (resina epoxi combinado con fibra de abacá) tienen un índice de combustión de 15,9 y 19,9 mm/min respectivamente; el material cumple con lo establecido en la norma, ya que, el índice máximo permitido es de 250 mm/min.
- Después de determinar el índice de combustión de los materiales compuestos, se determinó que estos si cumplen con lo requerido por las normas, ya que, estos no sobrepasan el índice de combustión máximo de 100 mm/min establecido en la norma NTE INEN 1668 y los 250 mm/min establecido en la norma NTE INEN 1323.

4.2 Recomendaciones

- Al momento de realizar los cortes láser con CO₂ se sugiere que la puerta de la mesa de trabajo se encuentre cerrada a medida que los gases generados resultarían tóxicos debido a la composición del material.
- Se sugiere que al momento de realizar los cortes no tener contacto visual con láser generado, ya que este provocaría molestias y daño visual.
- Se recomienda una vez finalizada la prueba de inflamabilidad que la probeta permanezca dentro de la cámara para tener un enfriamiento paulatino del mismo.
- Comprobar que la temperatura dentro de la cámara de combustión sea inferior a los 30 grados para continuar con las pruebas posteriores.
- Se recomienda que el pirómetro tenga un soporte fijo lo cual ayudará a tener una medición más exacta de la temperatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



- [1] R. Rojas, ESTUDIO DE CORTE LÁSER POR CO2 EN MATERIALES COMPUESTOS: FIBRA DE VIDRIO (FV) + RESINA POLIÉSTER, FIBRA DE VIDRIO (FV)+FIBRA NATURAL (FN) + RESINA POLIÉSTER, Ambato, 2018.
- [2] G. Benavides, CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL MATERIAL HIBRIDO UTILIZANDO MATRIZ EPÓXICA REFORZADA CON TEJIDO DE FIBRA VEGETAL DE ALGODÓN Y FIBRA NATURAL DE ABACÁ, Ambato, 2017.
- [3] P. Badoniya, «CO2 LASER CUTTING OF DIFFERENT MATERIALS,» *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, pp. 2103 - 2015, 06 Junio 2018.
- [4] W. Smith F y J. Hashemi, Fundamentos de la ingeniería de materiales., Cuarta ed., México: McGraw-Hill, 2006.
- [5] W. Callister, Ciencia e Ingeniería de Materiales, México: REVERTÉ, 2009.
- [6] D. Askeland, F. Pradeep y W. Wright, CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES, Sexta ed., México D.F.: Edamsa Impresiones, 2011.
- [7] S. Espin, INGENIERÍA DE MATERIALES I, Ambato.
- [8] M. Mancía., «Las plantas de fibra,» 2006. [En línea]. Available: [http://www.beisa.dk/Publications/BEISABook pdfer/Capitulo 23.pdf](http://www.beisa.dk/Publications/BEISABook%20pdfer/Capitulo%2023.pdf). [Último acceso: 14 Diciembre 2018].
- [9] M. M. y L. D. A. Mohanty, Natural fibers, biopolimers and biocomposites, Estados Unidos: Taylor & Francis Group, 2009.
- [10] J. Páez, Obtención de compuestos de polipropileno reforzado con fibras de abacá mediante moldeo por compresión, Quito, 2007.
- [11] C. Baillie, Green Composites. Polymer Composites and the Environment, Estados: Woodhead Publishing Limited, 2004.
- [12] V. Guerrero, J. Dávila, S. Galeas, P. Pontón, N. Rosas, V. Sotomayor y C. Valdivieso, NUEVOS MATERIALES; APLICACIONES ESTRUCTURALES E INDUSTRIALES, Quito: Imprefepp, 2011.
- [13] L. Chamba , J. Mora , D. Terán , J. Guaipacha y B. Sambonino, ANALISIS DEL MERCADO INTERNACIONAL DE LA FIBRA DE ABACÁ, SU OFERTA

EXPORTABLE HACIA REINO UNIDO Y SU APORTE EN EL CAMBIO DE LA MATRIZ PRODUCTIVA, Colombia, 2017.

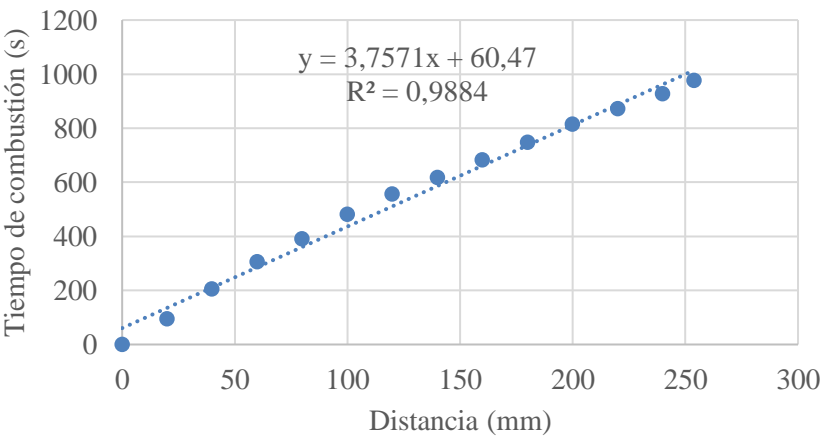
- [14] H. Villacis, Obtención de materiales compuestos híbridos de matriz poliéster reforzada con fibra de vidrio y abacá mediante estratificación, Quito, Pichincha, 2011.
- [15] K. Sanjay, Composites manufacturing, Materials, Product, and Process Engineering, Estados Unidos: CRC Press, 2002.
- [16] W. Steen y J. Mazumber, Laser Material Processing, Londres: Springer, 2010.
- [17] J. Ion, Laser processing of engineering materials, Copyright, 2005.
- [18] A. J. G. Yunus A. Cengel, Transferencia de Calor y Masa, Cuarta ed., México: McGRAW-HILL, 2011.
- [19] E. Kannatey, Principles of laser materials processing, Canada: Copyright, 2009.
- [20] Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), Especificación geométrica de productos (GPS): Indicación de la calidad superficial en la documentación técnica de productos ISO 1302, Madrid, 2002.
- [21] Universidad del País Vasco, «Metrología Dimensional: Metrología del Acabado Superficial,» Bilbao.
- [22] Reglamento no 118 de la Comisión Económica para Europa (CEPE) de las Naciones Unidas, Prescripciones técnicas uniformes relativas al comportamiento frente al fuego de los materiales utilizados en la fabricación del interior de determinadas categorías de vehículos de motor., 2005.
- [23] H. Gutiérrez y R. Vara, Análisis y diseño de experimentos, Tercera ed., México: McGRAW-HILL, 2012.
- [24] RICOMA, «Hardware for Laser Engraving And Cutting Machine,» de *Customer Manual*, pp. 14-16.
- [25] J. Paredes, C. Pérez y C. Castro , Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplicado a la industria automotriz, Ambato, 2017.
- [26] J. Paredes , C. Pérez y C. Castro, «Análisis de las propiedades mecánicas del compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de vidrio 375 y cabuya aplliicado a la industria automotriizz,» *ENFFOQUE*, vol. 8, nº 3, p. 15, 2017.

ANEXOS



Anexo I: Fichas de reporte de las pruebas de inflamabilidad epoxi

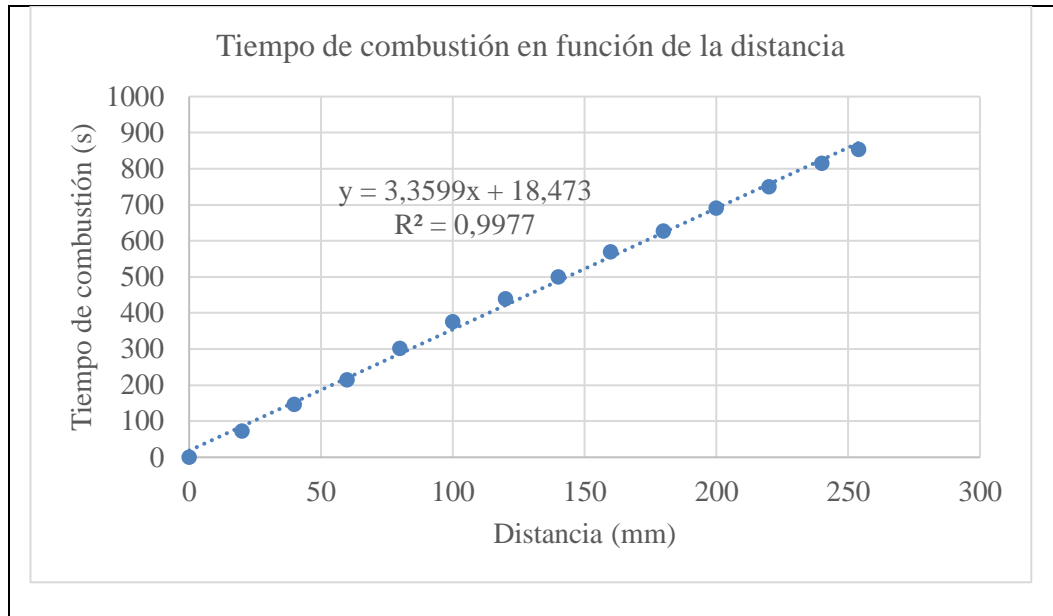
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica		Campus Huachi
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	1 - 5
RESULTADOS			
Probeta 1			
Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)	
0	0	0	
20	94,20	12,74	
40	204,6	11,73	
60	304,20	11,83	
80	389,40	12,33	
100	480,60	12,48	
120	555,00	12,97	
140	616,20	13,63	
160	682,20	14,07	
180	747,60	14,45	
200	813,60	14,75	
220	871,20	15,15	
240	927,00	15,53	
254	976,20	15,61	



Tiempo de combustión en función de la distancia

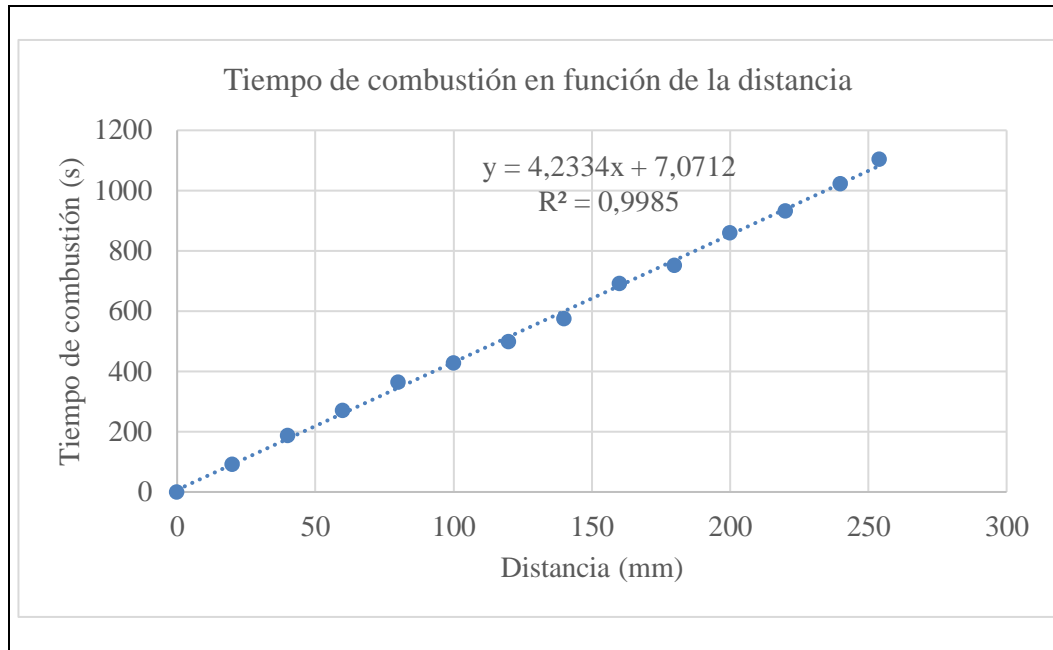




$y = 3,7571x + 60,47$
 $R^2 = 0,9884$

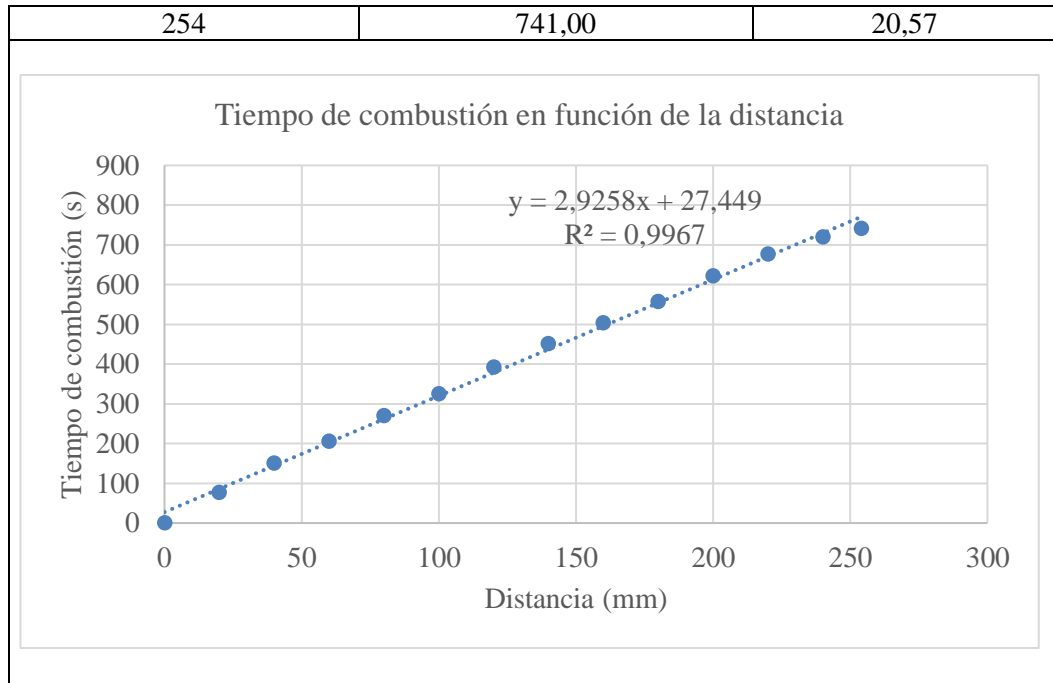
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica	Campus Huachi	
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	2 - 5
RESULTADOS			
Probeta 2			
Distancia (mm)	Tiempo (s)		B (mm/min)
0	0		0
20	72,00		16,67
40	146,40		16,39
60	214,80		16,76
80	301,20		15,94
100	375,00		16,00
120	439,20		16,39
140	499,80		16,81
160	568,80		16,88
180	627,00		17,22
200	691,20		17,36
220	750,00		17,60
240	814,20		17,69
254	853,80		17,85




	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA		
INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		
DATOS INFORMATIVOS:		
Fecha:	18/12/2018	Ciudad: Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica	Campus Huachi
Máquina:	Banco de pruebas UTA	
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por: Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO		
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma: Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de Abacá	
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas: 3 - 5
RESULTADOS		
Probeta 3		
Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)
0	0	0
20	92,40	12,99
40	187,20	12,82
60	271,20	13,27
80	364,20	13,18
100	429,00	13,99
120	498,60	14,44
140	574,80	14,61
160	691,20	13,89
180	751,80	14,37
200	859,20	13,97
220	931,80	14,17
240	1023,00	14,08
254	1104,00	13,80

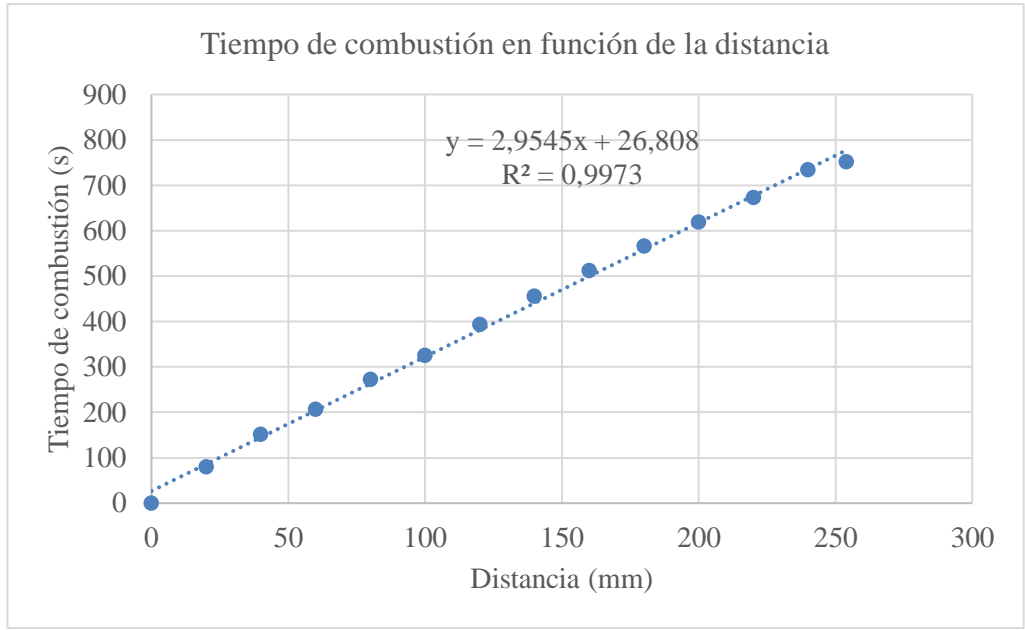


	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO	
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA	
	INGENIERÍA MECÁNICA	
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		
DATOS INFORMATIVOS:		
Fecha:	18/12/2018	Ciudad: Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica Campus Huachi	
Máquina:	Banco de pruebas UTA	
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por: Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO		
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma: Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de Abacá	
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas: 4 - 5
RESULTADOS		
Probeta 4		
Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)
0	0	0
20	77,40	15,50
40	150,60	15,94
60	205,20	17,54
80	270,60	17,74
100	324,60	18,48
120	391,80	18,38
140	451,20	18,62
160	504,00	19,05
180	557,40	19,38
200	621,60	19,31
220	676,20	19,52
240	720,00	20,00





	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA		
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica		Campus Huachi
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	5 - 5
RESULTADOS			
Probeta 5			
Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)	
0	0	0	
20	79,20	15,15	
40	151,20	15,87	
60	205,80	17,49	
80	271,80	17,66	
100	324,60	18,48	
120	393,60	18,29	
140	455,40	18,45	
160	511,20	18,78	
180	565,20	19,11	
200	619,20	19,38	
220	673,20	19,61	

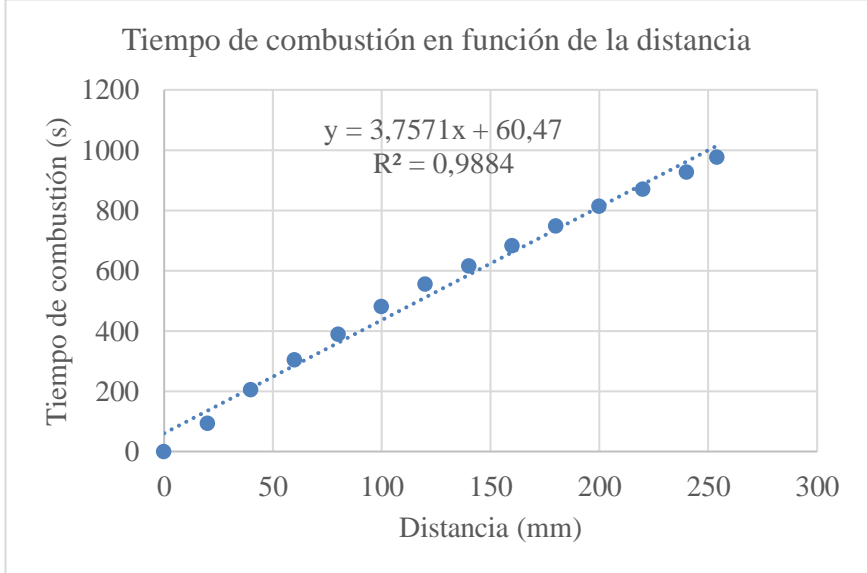
240	733,20	19,64
254	751,20	20,29



Anexo II: Fichas de reporte de las pruebas de inflamabilidad poliéster

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA 			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica	Campus Huachi	
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	1 - 5
RESULTADOS			
Probeta 1			
Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)	
0	0	0	
20	94,20	12,74	
40	204,6	11,73	
60	304,20	11,83	
80	389,40	12,33	
100	480,60	12,48	
120	555,00	12,97	
140	616,20	13,63	
160	682,20	14,07	
180	747,60	14,45	
200	813,60	14,75	
220	871,20	15,15	
240	927,00	15,53	
254	976,20	15,61	

Tiempo de combustión en función de la distancia



$y = 3,7571x + 60,47$
 $R^2 = 0,9884$



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica		Campus Huachi
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

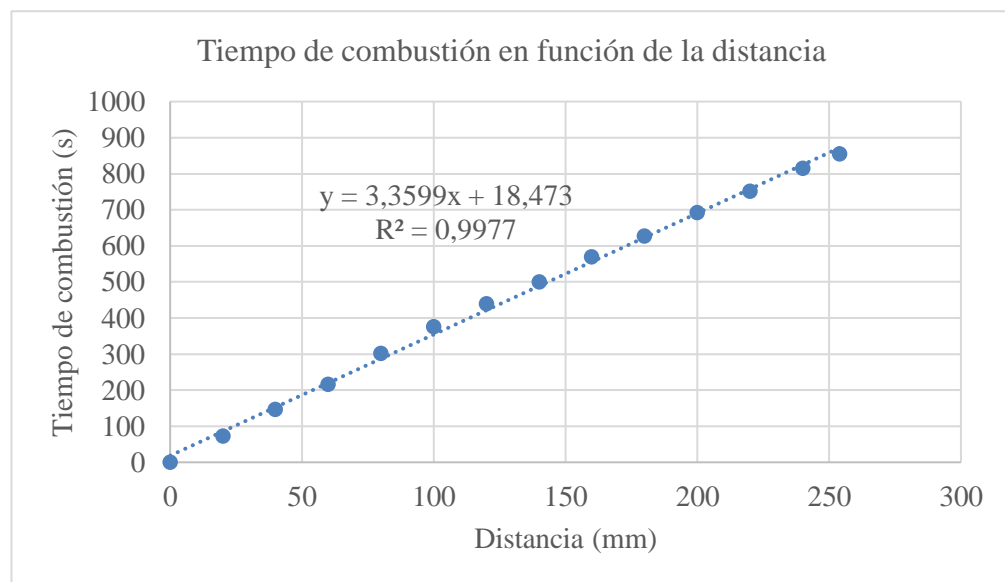
PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	2 - 5

RESULTADOS

Probeta 2

Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)
0	0	0
20	72,00	16,67
40	146,40	16,39
60	214,80	16,76
80	301,20	15,94
100	375,00	16,00
120	439,20	16,39
140	499,80	16,81
160	568,80	16,88
180	627,00	17,22
200	691,20	17,36
220	750,00	17,60
240	814,20	17,69
254	853,80	17,85





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica	Campus:	Huachi
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE ENSAYO

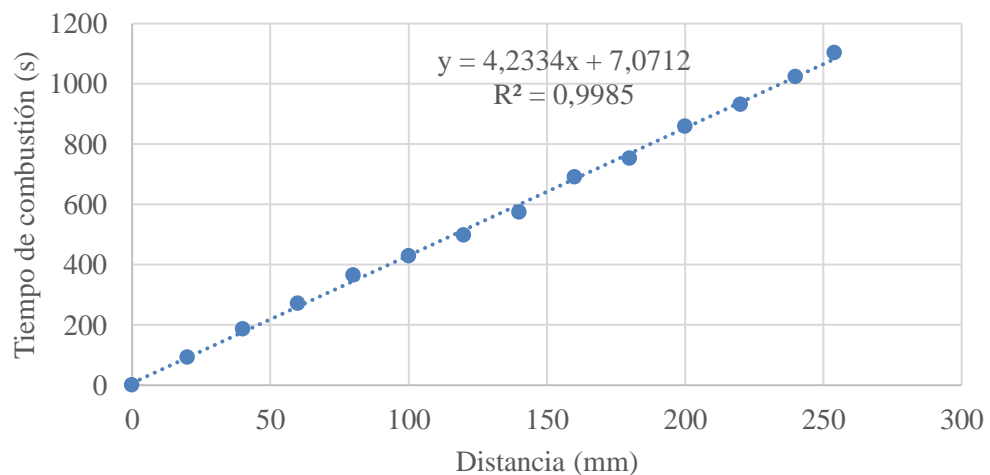
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	3 - 5

RESULTADOS

Probeta 3

Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)
0	0	0
20	92,40	12,99
40	187,20	12,82
60	271,20	13,27
80	364,20	13,18
100	429,00	13,99
120	498,60	14,44
140	574,80	14,61
160	691,20	13,89
180	751,80	14,37
200	859,20	13,97
220	931,80	14,17
240	1023,00	14,08
254	1104,00	13,80

Tiempo de combustión en función de la distancia





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica		Campus Huachi
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE ENSAYO

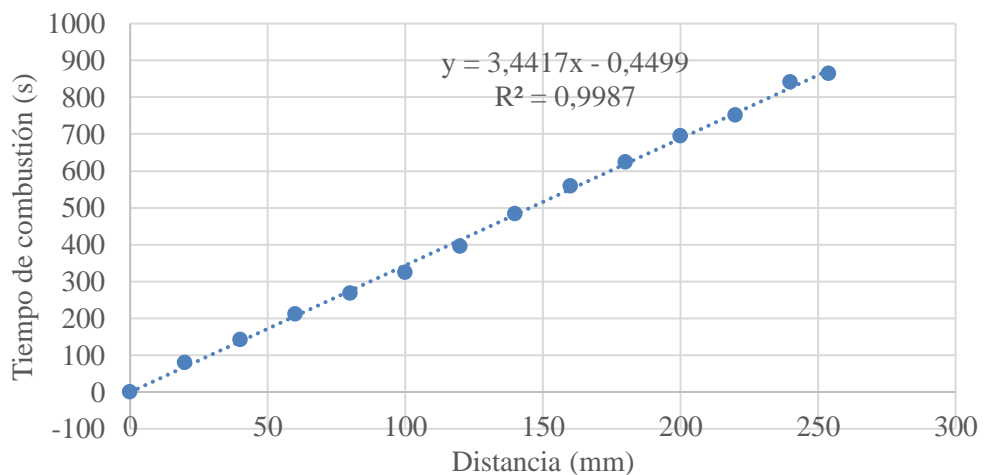
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	4 - 5

RESULTADOS

Probeta 4

Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)
0	0	0
20	79,80	15,04
40	142,20	16,88
60	211,20	17,05
80	268,20	17,90
100	324,00	18,52
120	394,80	18,24
140	483,60	17,37
160	558,60	17,19
180	623,40	17,32
200	694,20	17,29
220	751,20	17,57
240	841,20	17,12
254	864,60	17,63

Tiempo de combustión en función de la distancia





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	18/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	UTA-Laboratorio de Ingeniería Mecánica	Campus Huachi	
Máquina:	Banco de pruebas UTA		
Realizado por:	Marilyn Riera	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE ENSAYO

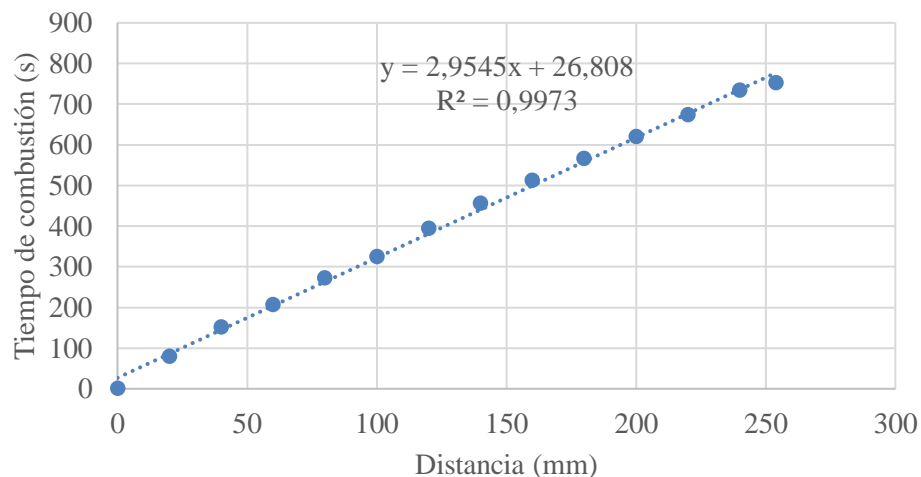
Tipo de ensayo:	Inflamabilidad	Norma:	Norma ISO 3795
Tipo de material:	Compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de Abacá		
Dimensiones (mm):	356x70x4,2	N° Probetas:	5 - 5

RESULTADOS

Probeta 5

Distancia (mm)	Tiempo (s)	B (mm/min)
0	0	0
20	121,80	9,85
40	202,80	11,83
60	303,60	11,86
80	388,20	12,36
100	497,40	12,06
120	604,20	11,92
140	684,00	12,28
160	750,60	12,79
180	807,00	13,38
200	873,60	13,74
220	925,20	14,27
240	982,80	14,65
254	1027,20	14,84

Tiempo de combustión en función de la distancia



INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
3795

Second edition
1989-10-15

**Vehículos de carretera y tractores y maquinaria para la agricultura y silvicultura
Determinación de los comportamientos de combustión de los materiales interiores**

Vehículos y tractores de carretera y equipos agrícolas y forestales: determinación de las características de la
combustión de materiales interiores



Reference number
ISO 3795 : 1989 (E)

Prefacio

ISO (la Organización Internacional de Normalización) es una federación mundial de organismos nacionales de normalización (organismos miembros de ISO). El trabajo de preparación de estándares internacionales normalmente se lleva a cabo a través de comités técnicos de ISO. Cada organismo miembro interesado en un tema para el cual se ha establecido un comité técnico tiene derecho a estar representado en ese comité. Las organizaciones internacionales, gubernamentales y no gubernamentales, en colaboración con ISO, también participan en el trabajo. ISO colabora estrechamente con la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) en todos los asuntos de normalización electrotécnica.

Los proyectos de normas internacionales adoptados por los comités técnicos se distribuyen a los organismos miembros para su aprobación antes de ser aceptados como normas internacionales por el Consejo ISO. Se aprueban de acuerdo con los procedimientos de la ISO que requieren al menos el 75% de aprobación por parte de los organismos miembros que votan.

La Norma Internacional ISO 3795 fue preparada conjuntamente por los Comités Técnicos ISO / TC 22, Vehículos de carretera e ISO / TC 23, Tractores y maquinaria para la agricultura y silvicultura.

Esta segunda edición cancela y reemplaza la primera edición (ISO 3795: 19761, cuyo alcance se ha ampliado para incluir tractores y maquinaria para la agricultura y silvicultura.

© ISO 1989

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Organization for Standardization

Case postale 56 • CH-1211 Genève 20 • Switzerland

Printed in Switzerland

Introducción

La evaluación del comportamiento de combustión de los materiales interiores se basa en la suposición de que es poco probable que ocurra un incendio en el compartimento de pasajeros cuando la velocidad de combustión del material interior bajo la acción de una llama pequeña es cero o muy pequeña.

En el marco de las reglamentaciones internacionales para la seguridad de los vehículos de motor preparadas por los grupos competentes de la Comisión Económica para Europa (ECEDJNO), se solicitó a ISO que desarrollara un método para determinar el comportamiento de combustión de los materiales interiores de los vehículos de motor. Se recopiló y evaluó amplia información sobre los métodos de prueba existentes. En vista de los estándares de seguridad que ya son obligatorios, las consideraciones se basaron principalmente en el procedimiento de prueba definido en US-FMVSS 302.

Se prestó considerable atención al problema de la ventilación de la cámara de combustión. Se llevaron a cabo dos series de pruebas comparativas para investigar diferentes variaciones de diseño.

Luego de extensas discusiones, se decidió describirlo en esta Norma Internacional, para incorporar la cámara de combustión, además, se decidió requerir la presencia de cables de soporte como parte del equipamiento estándar para evitar interpretaciones subjetivas del comportamiento de la muestra por parte del personal de prueba.

Vehículos de carretera y tractores y maquinaria para agricultura y silvicultura - Determinación del comportamiento de combustión de materiales interiores

1 Alcance

Esta norma internacional especifica un método para determinar la velocidad de combustión horizontal de los materiales utilizados en el compartimiento de los ocupantes de los vehículos de carretera (por ejemplo, automóviles, camiones, vagones, autocares) y de tractores y maquinaria para la agricultura y la silvicultura, después de exposición a una llama pequeña.

Este método permite probar materiales y partes del equipamiento interior del vehículo individualmente o en combinación hasta un grosor de 13 mm. Se usa para juzgar la uniformidad de los lotes de producción de tales materiales con respecto a su comportamiento de combustión.

Debido a las muchas diferencias entre la situación del mundo real (aplicación y orientación dentro del interior del vehículo, condiciones de uso, fuente de ignición, etc.) y las condiciones exactas de prueba especificadas en esta Norma Internacional, este método no puede considerarse adecuado para la evaluación

de todas las verdaderas características de combustión en el vehículo.

2 Referencia normativa

La siguiente norma contiene disposiciones que, mediante la referencia en este texto, constituyen disposiciones de esta Norma Internacional. En el momento de la publicación, la edición indicada era válida. Todas las normas están sujetas a revisión y se alienta a las partes de los acuerdos basados en esta norma internacional a investigar la posibilidad de aplicar la edición más reciente de la norma que se indica a continuación. Los miembros de IEC e ISO mantienen registros de las Normas Internacionales actualmente vigentes.

ISO 2763-1: 1989, *Tolerancias generales - Parte I: Tolerancias para dimensiones lineales y angulares sin indicaciones de tolerancia individual.*

3 Definiciones

A los fines de esta Norma Internacional, se aplican las siguientes definiciones.

3.1 tasa de combustión: cociente de la distancia quemada medida de acuerdo con esta Norma

Internacional y el tiempo necesario para quemar esta distancia. Se expresa en milímetros por minuto.

3.2 material compuesto: El material está compuesto por varias capas de materiales similares o diferentes íntimamente unidos en sus superficies mediante cementación, unión, revestimiento, soldadura, etc.

Cuando diferentes materiales se conectan de forma intermitente (por ejemplo, cosido, soldadura de alta frecuencia, remachado), entonces para permitir la preparación de muestras individuales de acuerdo con la cláusula 6, dichos materiales no se considerarán materiales compuestos.

3.3 lado expuesto: lado que mira hacia el compartimiento del ocupante cuando el material está montado en el vehículo.

4 Principio

Una muestra se sostiene horizontalmente en un soporte en forma de U y se expone a la acción de una llama definida de baja energía durante 15 s en una cámara de combustión, actuando la llama en el extremo libre de la muestra. La

prueba determina si y cuando la llama se extingue o el tiempo en que la llama pasa una distancia medida.

5 Equipos

5.1 Cámara de combustión (ver figura 11, preferiblemente de acero inoxidable y con las dimensiones indicadas en la figura 2. La parte frontal de la cámara contiene una ventana de observación resistente a las llamas, que puede cubrir el frente y que puede construirse como un panel de acceso.

La parte inferior de la cámara tiene orificios de ventilación, y la parte superior tiene una ranura de ventilación alrededor. La cámara de combustión se coloca en cuatro pies, 10 mm de alto.

La cámara puede tener un orificio en un extremo para la introducción de la porta muestras que contiene la muestra; en el extremo opuesto, se proporciona un orificio para la línea de gas. El material fundido se recoge en una bandeja (ver figura 3) que, en el fondo de la cámara, se coloca entre los orificios de ventilación sin cubrir ningún área de orificio de ventilación.

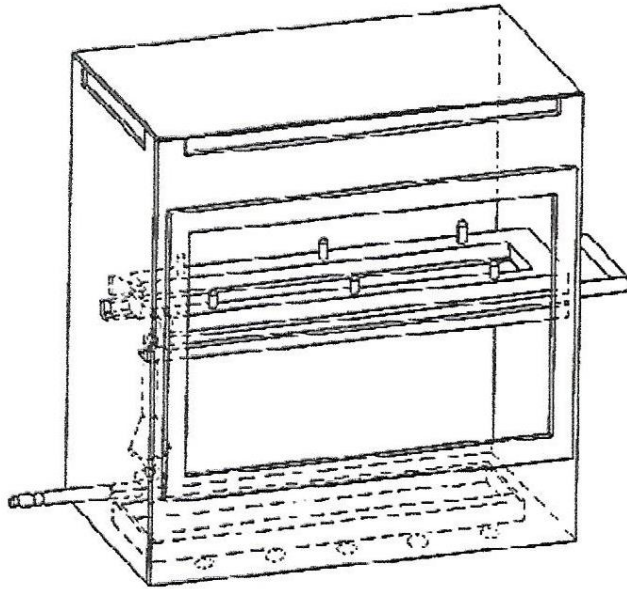


Figura 1. Ejemplo de cámara de combustión con soporte de muestra y bandeja de goteo

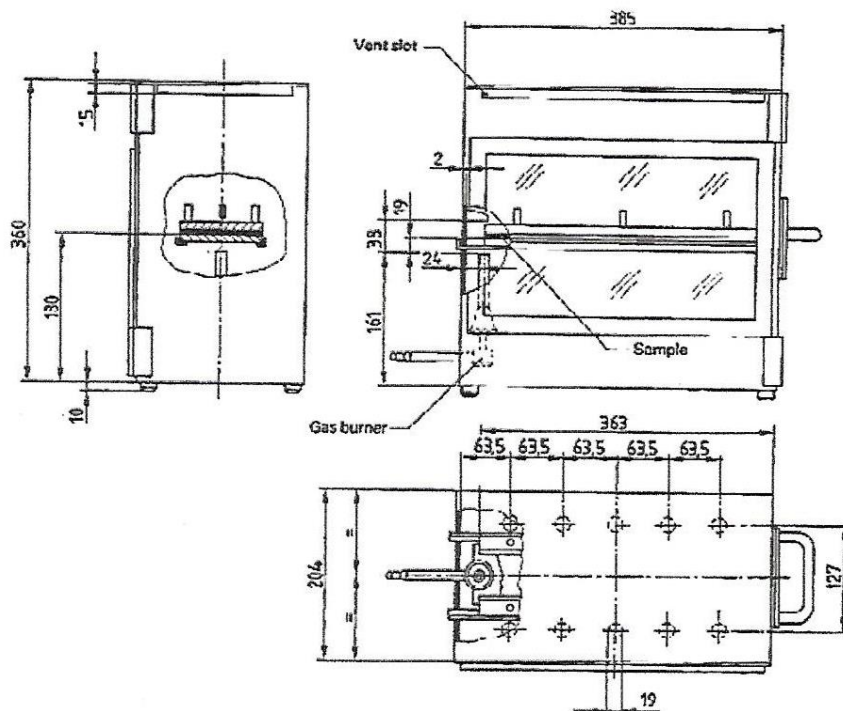


Figura 2. Ejemplo de cámara de combustión

Dimensiones en milímetros
Tolerancias según ISO 2768-1

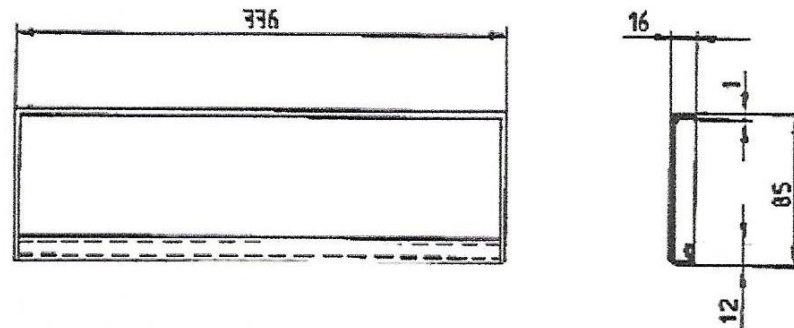


Figura 3. Bandeja de goteo típica

5.2 Soporte de muestra, que consta de dos placas de metal en forma de U o marcos de material resistente a la corrosión. Las dimensiones se dan en la figura 4.

La placa inferior está equipada con pasadores, el superior con los orificios correspondientes para garantizar la consistente sujeción de la muestra. Los pasadores también sirven como puntos de medición al comienzo y al final de la distancia del borde frontal del porta muestras desde el extremo de la cámara debe ser de 22 mm; la distancia de los lados longitudinales del soporte de muestras desde los lados de la cámara debe

ser de 50 mm (todas las dimensiones internas). (Ver figuras 1 y 2.)

5.3 Quemador de gas. La pequeña fuente de ignición es provista por un mechero Bunsen que tiene un diámetro interno de 9.5 mm. Está ubicado en el gabinete de prueba de modo que el centro de su boquilla esté a 19 mm por debajo del centro del borde inferior del extremo abierto de la muestra (consulte la figura 2).

5.4 Gas de prueba. El gas suministrado al quemador tendrá un poder calorífico de aproximadamente 38 MJ / m³ (por ejemplo, gas natural).

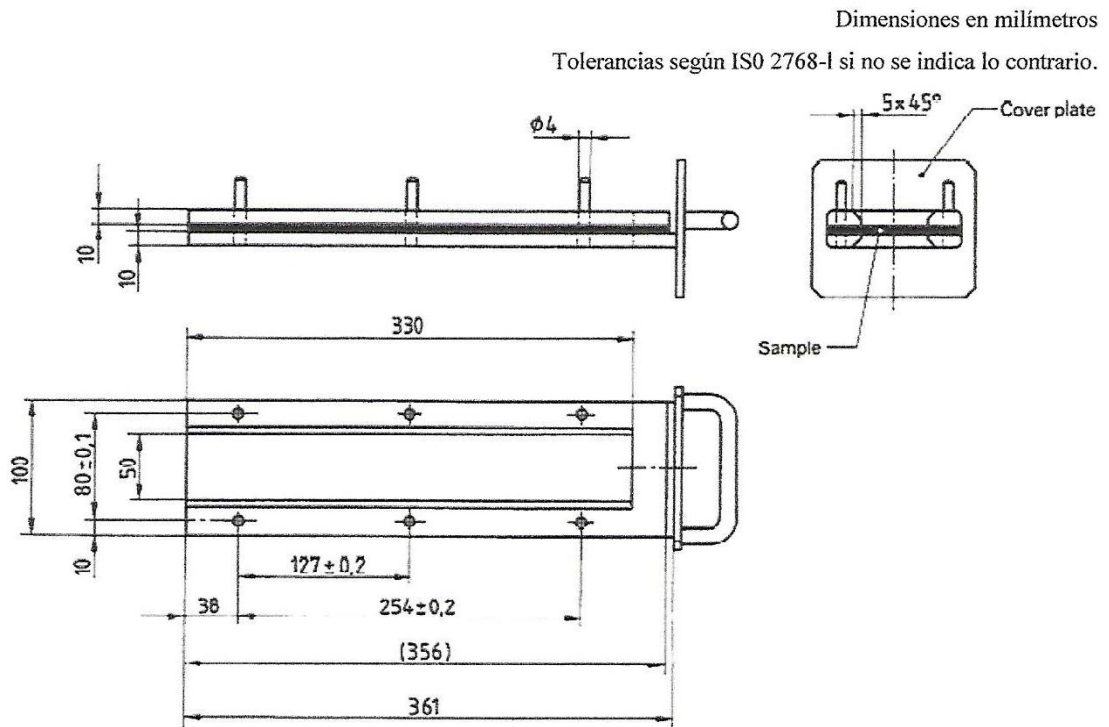


Figura 4. Ejemplo de portamuestras

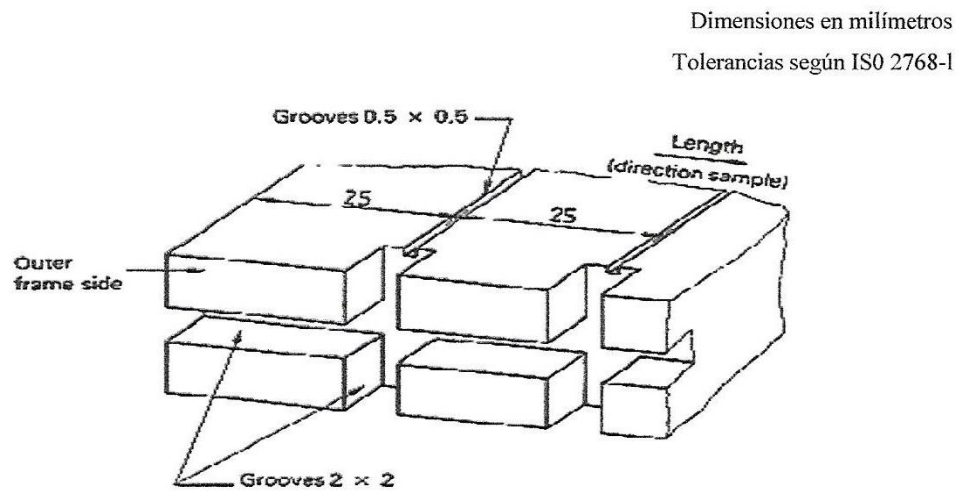


Figura 5. Ejemplo de sección de diseño de bastidor en U inferior para instalación de soporte de cables

5.5 Peine metálico, de al menos 110 mm de longitud, con siete a ocho dientes redondeados lisos por 25 mm.

5.6 Cronógrafo, con precisión de 0,5 s.

5.7 Armario de humos. La cámara de combustión puede colocarse en un conjunto de armario de humos siempre que el volumen interno sea al menos 20 veces, pero no más de 110 veces, mayor que el volumen de la cámara de combustión y siempre que no haya dimensiones de altura, ancho o longitud únicas. El armario de los humos es mayor de 2.5 veces cualesquiera de las otras dos dimensiones.

Antes de la prueba, la velocidad vertical del aire a través de la campana extractora se medirá 100 mm delante y detrás de la posición final donde se ubicará la cámara de combustión. Deberá estar entre 0.1 m / s y 0.3 m / s para evitar posibles molestias, por productos de combustión, al operador.

Es posible utilizar una campana extractora de humos con ventilación natural y una velocidad de aire adecuada.

6 Muestras

6.1 Forma y dimensiones

La forma y dimensiones de las muestras se muestran en la figura 6. El espesor de la muestra corresponde al espesor del producto a analizar. No debe ser más de 13 mm. Al tomar los permisos de muestra, la muestra debe tener una sección constante en toda su longitud.

Dimensiones en milímetros

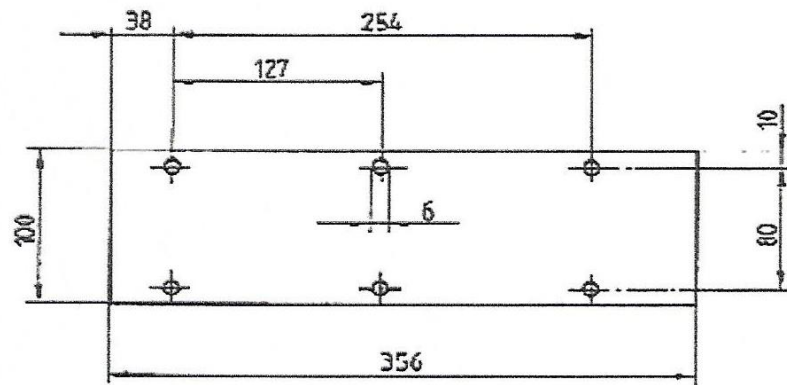


Figure 6 - Muestra

Cuando la forma y dimensiones de un producto no permitan tomar una muestra del tamaño dado, se mantendrán las siguientes dimensiones mínimas:

a) Para muestras que tengan un ancho de 3 mm a 60 mm, la longitud será de 356 mm. En este caso, el material se prueba en el ancho del producto.

b) Para muestras que tengan un ancho de 60 mm a 100 mm, la longitud deberá ser de al menos 138 mm. En este caso, la distancia de combustión potencial corresponde a la longitud de la muestra, comenzando la medición en el primer punto de medición.

c) Las muestras que tienen un ancho de menos de 60 mm y más cortas de 356 mm, y muestras que tienen un ancho de 60 mm a 100 mm y más cortas de 138 mm, no se pueden analizar de acuerdo con este método; tampoco pueden las muestras tener un ancho inferior a 3 mm.

6.2 Muestreo

Se tomarán al menos cinco muestras del material bajo prueba. En materiales que tienen diferentes tasas de combustión en diferentes direcciones del material (las pruebas preliminares lo mostrarán), las cinco (o más) muestras deben tomarse y colocarse en el aparato de prueba de modo que se mida la tasa de combustión más alta.

Cuando el material se suministre en anchuras, se cortará una longitud de al menos 500 mm cubriendo todo el ancho. A partir de esto, las muestras se tomarán de modo que estén al

menos a 100 mm del borde del material y equidistantes entre sí.

Las muestras se tomarán de la misma manera de los productos terminados, cuando la forma del producto lo permita. Cuando el espesor del producto es de 13 mm o más, se reducirá a 13 mm mediante un proceso mecánico aplicado al lado que no mira al compartimento del ocupante.

Los materiales compuestos (véase la construcción uniforme.3.2) deben probarse como si estuvieran en el interior. En el caso de materiales hechos de capas superpuestas de diferente composición que no son materiales compuestos, todas las capas de material incluidas a una profundidad de 13 mm de la superficie mirando hacia el compartimento de los ocupantes se probarán individualmente.

6.3 Condicionamiento

Las muestras deben acondicionarse durante al menos 24 h pero no más de 7 días a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa del $50\% \pm 5\%$ y deben mantenerse bajo estas condiciones hasta inmediatamente antes de la prueba.

7 Procedimiento

7.1 Coloque las muestras con las superficies cubiertas por la siesta o con mechones sobre una superficie plana y peine dos veces contra la siesta usando el peine (5.5).

7.2 Coloque la muestra en el porta muestras (5.2) de modo que el lado expuesto quede hacia abajo de la llama.

7.3 Ajuste la llama del gas a una altura de 38 mm utilizando la marca en la cámara, cerrándose la entrada de aire del quemador (5.3). Antes de comenzar la primera prueba, la llama debe arder al menos durante 1 minuto para estabilización.

7.4 Empuje el porta muestras (5.2) en la cámara de combustión (5.1) para que el extremo de la muestra quede expuesto a la llama, y después de 15 s corte el flujo de gas.

7.5 La medición del tiempo de combustión comienza en el momento en que el pie de la llama pasa el primer punto de medición. Observe la propagación de la llama en el lado que se quema más rápido que el otro (lado superior o inferior).

7.6 La medición del tiempo de combustión se completa cuando la llama llega al último punto de medición o cuando la llama se extingue antes de llegar al último punto de medición. Si la llama no llega al último punto de medición, mida la distancia quemada hasta el punto donde la llama se extinguió. La distancia quemada es la parte descompuesta de la muestra, que se destruye en su superficie o en el interior por combustión.

7.7 En la medida en que la muestra no se encienda o no continúe ardiendo después de que el quemador se haya extinguido, o cuando la llama se extinga antes de alcanzar el primer punto de medición, para que no se mida el tiempo de combustión, tenga en cuenta en el informe de prueba que la velocidad de combustión es de 0 mm / min.

7.8 Al ejecutar una serie de pruebas o repetir las pruebas, asegúrese de que la cámara de combustión y el porta muestras tengan una temperatura máxima de 30 °C antes de comenzar la siguiente prueba.

8 Cálculo

La tasa de combustión, B, en milímetros por minuto, viene dada por la formula

$$B = \frac{s}{t} \times 60$$

Donde

s la distancia quemada, en milímetros;

t el tiempo, en segundos, para quemar la distancia s.

9 Informe de prueba

El informe de prueba incluirá los siguientes datos:

- tipo, marcado y color de la muestra de prueba;
- si la muestra era un material compuesto o un material único
- dimensiones de la muestra que incluyen el valor máximo y mínimo de espesor
- La preparación de la muestra, incluido el método para reducir el espesor (si el espesor es mayor de 13 mm) de acuerdo con 6.2;
- posición de la muestra en el producto (longitudinal, transversal)
- número de muestras analizadas;
- resultados de la prueba:
 - distancia quemada, en milímetros, y tiempo de quemado, en segundos;
 - otras observaciones (auto extingible, etc.);

- h) todos los valores individuales calculados de velocidad de combustión, en milímetros por minuto;
- i) condiciones especiales de prueba (uso de humos, uso de ventilador, etc.);
- j) cualquier condición diferente a las especificadas en esta norma internacional;
- k) fecha de la prueba

Anexo IV: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1668 “VEHÍCULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS INTRARREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTERPROVINCIAL”.



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA

NTE INEN 1323:2009
Primera revisión

VEHICULOS AUTOMOTORES. CARROCERIAS DE BUSES. REQUISITOS.

Primera Edición

ROAD VEHICLES. BUS BODIES. REQUIREMENTS

First Edition

DESCRIPTORES: Ingeniería automotriz, sistemas para vehículos automotores, carrocerías y componentes, buses, requisitos
MC 01.01-401
CDU: 629.11.011.6
CIIU: 3843
ICS: 43.020.60

Anexo V. Norma NTE INEN 1668 “Vehículos De Transporte Público De Pasajeros Intrarregional Interprovincial E Interprovincial”



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 1668
Primera revisión

**VEHICULOS DE TRANSPORTE PÚBLICO DE PASAJEROS
INTRAREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL**

INTRAREGIONAL, INTERPROVINCIAL E INTRAPROVINCIAL PUBLIC TRANSPORT VEHICLES

Correspondencia:

DESCRIPTORES: Bus interprovincial, bus intraprovincial, minibús, transporte de pasajeros, carrocerías metálicas
ICS: 43.020

30 Páginas

Anexo VI. Informe técnico de las mediciones de las rugosidades (Ra) de las probetas del material compuesto de matriz poliéster reforzado con fibra de abacá.



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA

MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN MUESTRAS DE
MATERIALES COMPUESTOS

FEBRERO DE 2019
AMBATO – ECUADOR

INFORME TÉCNICO Lb1-0004-2019

Objetivo

Establecer y mantener un método para evaluar la rugosidad superficial de un objeto o pieza producto.

Alcance

Aplicable a medición de rugosidad en superficies planas de valores R_z entre $0,03 \mu m$ y $20 \mu m$.

Proceso de medida bajo normas: ISO 4287-1997, ISO 3274 y ISO 5436-1

ANTECEDENTES:

Con fecha 09 de enero de 2019, la Srta. Marilyn Riera, domiciliado en la ciudad de Salcedo – Cotopaxi, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para medir la calidad superficial de dos materiales compuestos.

Se reciben 26 muestras o probetas, bajo el nombre de: **(Resina poliéster combinado con abacá)** de aspecto compuesto del 83% de matriz y 17% de refuerzo. Por anverso: color ocre claro y brillante, superficie lisa y forma regular; por reverso: color ocre oscuro, superficie lisa. Las muestras tienen dimensiones promedias de: 40 mm de largo, 20 mm de ancho y espesor de 4,2 mm.

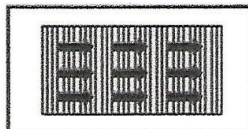
PROCESO GENERAL:

Alineación del objeto o pieza producto. Se procede antes de cada medición a alinear el objeto o pieza producto con el eje de desplazamiento del palpador.

Selección de los Parámetros a medir. Se selecciona los parámetros a medir en función de la información o documentación suministrada por el usuario o de las necesidades manifestadas por el mismo.

Antes de efectuar las respectivas mediciones de la rugosidad en las probetas se calibra el equipo de medición con la galga de calibración que debe estar cerca de $2,94 \mu m$ (R_a).

Las mediciones se realizan perpendicularmente a las líneas de mecanizado, como se indica en la figura adjunta.



Se efectuaron las mediciones de rugosidades superficiales de las probetas con las réplicas solicitadas por el usuario y los respectivos datos fueron registrados y tabulados.

CONDICIONES DE ENSAYO

- Temperatura: 20 °C
- Ángulo de la pendiente del cono: 60°
- Fuerza de medición estática: 0,75 mN
- Radio de la punta: 2µm

Se selecciona el palpador en función de la medición a realizar y siguiendo los lineamientos del manual de fabricante del Rugosímetro.

Un criterio práctico aproximado de selección de palpadores podría ser el siguiente:

Ra	Palpadores de radio ap
$R_a \leq 0,4 \mu m$	2 µm o 2,4 µm
$0,4 \mu m \leq R_a \leq 6 \mu m$	5 µm
$R_a \geq 6 \mu m$	10 µm

Calibración

Con la medición se puede verificar un error de 0.003 µm con lo cual se asegura la fiabilidad de los resultados.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

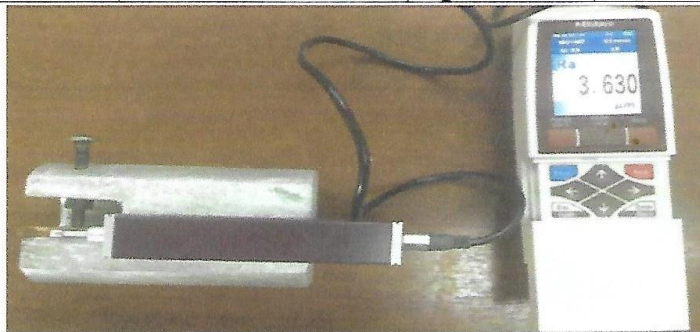
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

Centro de Transferencia y Tecnología
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS
DATOS INFORMATIVOS:

Fecha:	06/02/2019	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales de la FICM		Campus Huachi
Equipo:	Rugosímetro digital MITUTOYO SurfTest SJ-210		
Realizado por:	Egdo. Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
Tipo de material:	Material compuesto (Resina poliéster combinado abacá)		Orden: 14

PARÁMETROS DE ENSAYO

Tipo de Medición:	Medición de rugosidad (Ra)	Norma:	ISO 4287-1997
Dimensiones (mm):	40x20x4,2	Nº de probetas:	26


Resultados de la medición de rugosidad (um)

CÓDIGO	Réplica		Promedio 1	Desv. Estándar1	Réplica		Promedio 1	Desv. Estándar1
	Med. 1	Med. 2			Med. 1	Med. 2		
1PA	3,696	3,343	3,520	0,25	3,345	3,483	3,414	0,098
2PA	3,639	3,346	3,493	0,207	3,482	3,574	3,528	0,065
3PA	3,465	3,554	3,510	0,063	3,409	3,558	3,484	0,105
4PA	3,745	3,574	3,660	0,121	3,715	3,517	3,616	0,14
5PA	3,391	3,511	3,451	0,085	3,308	3,44	3,374	0,093
6PA	3,728	3,802	3,765	0,052	3,67	3,75	3,710	0,057
7PA	3,613	3,707	3,660	0,066	3,615	3,695	3,655	0,057
8PA	3,61	3,816	3,713	0,146	3,726	3,61	3,668	0,082
9PA	3,712	3,636	3,674	0,054	3,762	3,638	3,700	0,088
10PA	3,724	3,63	3,677	0,066	3,592	3,698	3,645	0,075
11PA	3,562	3,711	3,637	0,105	3,642	3,523	3,583	0,084
12PA	3,557	3,703	3,630	0,103	3,529	3,72	3,625	0,135
13PA	3,74	3,645	3,693	0,067	3,635	3,716	3,676	0,057



CTT - FICM

CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA - UTA




.....
Egdo. Gustavo Pomaquero
TÉCNICO LABORATORISTA



.....
Ing. Sebastian Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO



.....
Ing. Jorge Cevallos
COORDINADOR DE CTT


Anexo VII. Informe técnico de las mediciones de las rugosidades (Ra) de las probetas del material compuesto de matriz epoxi reforzado con fibra de abacá.



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA

MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL EN MUESTRAS DE
MATERIALES COMPUESTOS

FEBRERO DE 2019
AMBATO – ECUADOR

INFORME TÉCNICO **Lb1-0003-2019**

Objetivo

Establecer y mantener un método para evaluar la rugosidad superficial de un objeto o pieza producto.

Alcance

Aplicable a medición de rugosidad en superficies planas de valores Rz entre 0,03 μm y 20 μm .

Proceso de medida bajo normas: ISO 4287-1997, ISO 3274 y ISO 5436-1

ANTECEDENTES:

Con fecha 09 de enero de 2019, la Srta. Marilyn Riera, domiciliado en la ciudad de Salcedo – Cotopaxi, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para medir la calidad superficial de dos materiales compuestos.

Se reciben 26 muestras o probetas, bajo el nombre de: **(Resina epóxica combinado con abacá)** de aspecto compuesto del 83% de matriz y 17% de refuerzo. Por anverso: color ocre claro y brillante, superficie lisa y forma regular; por reverso: color ocre oscuro, superficie lisa. Las muestras tienen dimensiones promedias de: **40 mm** de largo, **20 mm** de ancho y espesor de **4,2 mm**.

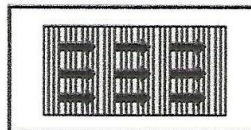
PROCESO GENERAL:

Alineación del objeto o pieza producto. Se procede antes de cada medición alinear el objeto o pieza producto con el eje de desplazamiento del palpador.

Selección de los Parámetros a medir. Se selecciona los parámetros a medir en función de la información o documentación suministrada por el usuario o de las necesidades manifestadas por el mismo.

Antes de efectuar las respectivas mediciones de la rugosidad en las probetas se calibra el equipo de medición con la galga de calibración que debe estar cerca de 2,94 μm (Ra).

Las mediciones se realizan perpendicularmente a las líneas de mecanizado, como se indica en la figura adjunta.



Se efectuaron las mediciones de rugosidades superficiales de las probetas con las réplicas solicitadas por el usuario y los respectivos datos fueron registrados y tabulados.

CONDICIONES DE ENSAYO

- Temperatura: 20 °C
- Ángulo de la pendiente del cono: 60°
- Fuerza de medición estática: 0,75 mN
- Radio de la punta: 2um

Se selecciona el palpador en función de la medición a realizar y siguiendo los lineamientos del manual de fabricante del Rugosímetro.


Un criterio práctico aproximado de selección de palpadores podría ser el siguiente:

Ra	Palpadores de radio ap
$R_a \leq 0,4 \mu m$	$2 \mu m$ o $2,4 \mu m$
$0,4 \mu m \leq R_a \leq 6 \mu m$	$5 \mu m$
$R_a \geq 6 \mu m$	$10 \mu m$

Calibración.

Con la medición se puede verificar un error de 0.003 um con lo cual se asegura la fiabilidad de los resultados.



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO								
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA								
Centro de Transferencia y Tecnología								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS								
DATOS INFORMATIVOS:								
Fecha:	06/02/2019			Ciudad:	Ambato			
Lugar:	Laboratorios de Materiales de la FICM				Campus Huachi			
Equipo:	Rugosímetro digital MITUTOYO SurfTest SJ-210							
Realizado por:	Gustavo Pomaquero			Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas			
Tipo de material:	Material compuesto (Resina epóxica combinado con abacá)				Orden: 13			
PARÁMETROS DE ENSAYO								
Tipo de Medición:	Medición de rugosidad (Ra)			Norma:	ISO 4287-1997			
Dimensiones (mm):	40x20x4,2			Nº de probetas:	26			
								
Resultados de la medición de rugosidad (um)								
CÓDIGO	Réplica		Promedio 1	Desv. Estándar1	Réplica		Promedio 1	Desv. Estándar1
	Med. 1	Med. 2			Med. 1	Med. 2		
1EA	3,886	3,723	3,805	0,115	4,103	3,856	3,980	0,175
2EA	3,841	3,717	3,779	0,088	3,769	3,897	3,833	0,091
3EA	4,07	3,949	4,010	0,086	3,946	4,099	4,023	0,108
4EA	4,104	3,757	3,931	0,245	4,037	4,128	4,083	0,064
5EA	4,074	4,079	4,077	0,004	4,028	3,913	3,971	0,081
6EA	3,893	4,017	3,955	0,088	3,816	3,945	3,881	0,091
7EA	3,808	3,887	3,848	0,056	3,725	3,818	3,772	0,066
8EA	3,708	3,647	3,678	0,043	3,688	3,947	3,818	0,183
9EA	3,849	3,732	3,791	0,083	3,756	3,878	3,817	0,086
10EA	3,791	3,905	3,848	0,081	3,726	3,824	3,775	0,069
11EA	3,697	3,604	3,651	0,066	3,762	3,647	3,705	0,081
12EA	3,658	3,796	3,727	0,098	3,856	3,769	3,813	0,062
13EA	3,754	3,652	3,703	0,072	3,793	3,688	3,741	0,074



CTT - FICM

CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERIA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



Ego. Gustavo Pomaquero
TÉCNICO LABORATORISTA



Ing. Sebastián Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO



Ing. Jorge Cevallos
COORDINADOR DE CTT



Anexo VIII. Informe técnico de los ensayos de inflamabilidad de las probetas del material compuesto de matriz poliéster reforzado con Fibra de Abacá.



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA**

**INFORME DE ENSAYO DE INFLAMABILIDAD
SEGÚN NORMA ISO 3795**

DICIEMBRE DE 2018
AMBATO – ECUADOR

ANTECEDENTES:

Con fecha 19 de diciembre de 2018, el Sr. Marilyn Riera, domiciliado en la ciudad de Salcedo – Cotopaxi, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para realizar la prueba de inflamabilidad según la norma ISO 3795, en muestras de materias para piezas interiores de carrocerías de buses.

La norma ISO 3795 es una norma internacional que señala la metodología estandarizada que se debe seguir para la "Determinación del comportamiento frente al fuego de los materiales y se aplica a vehículos de carreteras, tractores y maquinarias para agricultura y la silvicultura.

Se reciben 5 muestras o probetas ingresadas bajo el nombre de: Material compuesto (**Resina poliéster combinado con abacá**) de aspecto compuesto del 83% de matriz y 17% de refuerzo. Por anverso: color ocre claro, superficie lisa y forma regular; por reverso: color ocre oscuro, superficie rugosa. Las muestras tienen dimensiones promedias de: 356 mm de largo, 70 mm de ancho y espesor de 4.2 mm.

PROCESO GENERAL:

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo con lo señalado en la norma ISO 3795.

Las pruebas se efectuaron dentro de una cámara extractora de gases, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera horizontal en su respectivo, soporte dentro de la cámara de combustión.

Para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas GLP.

Se efectuaron los ensayos con las réplicas solicitadas y los datos fueron registrados y tabulados.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA Centro de Transferencia y Tecnología			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	19/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales de la FICM	Campus Huachi	
Máquina:	Banco de pruebas CTT-FICM		
Realizado por:	Ing. Cristian Pérez	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Ensayo:	Prueba de Inflamabilidad	Norma:	ISO 3795
Tipo de material:	Material compuesto (Resina poliéster combinado con abacá)		
Dimensiones (mm):	356 x 70 x 4,2	Nº de probetas:	5
			
Conjunto de muestras antes de las pruebas Resultados Según La Norma 3795			
N- De Probetas	Distancia (mm)	Tiempo (s)	Tasa de combustión B(mm/min)
A	254	976,2	15,6
B	254	853,8	17,8
C	254	1104	13,8
D	254	864,6	17,6
E	254	1027,2	14,8
F	254	976,2	15,6
Promedio			15,9
Observaciones: Durante el proceso de combustión la llama es no es auto - extingible. Se percibe al inicio una emisión de humo moderado con presencia de hollín y se mantiene durante todo el tiempo de combustión. Las muestras se consumieron por ambos lados de forma homogénea.			



Conjunto de nuestras después de las pruebas.

Conclusiones:

- De acuerdo a lo señalado en la norma NTE INEN 1668 año 2015, (Vehículos de transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial), artículo 5.9.2 (Inflamabilidad de los materiales), puedo indicar que las muestras tomadas del Material: MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIESTER COMBINADO CON ABACÁ) tienen un índice de 15,9 mm/min. El material analizado cumple con el requisito establecido en la norma (Índice de combustión máximo permisible en la norma es 100 mm/min).
- De acuerdo con lo señalado en la norma NTE INEN 1323 puedo indicar que las muestras tomadas del Material: MATERIAL COMPUESTO (RESINA POLIESTER COMBINADO CON ABACÁ) tienen un índice de combustión de 15,9 mm/min. El material analizado cumple con el requisito establecido en la norma (Índice de combustión máximo permisible en la norma es 250 mm/min).

.....
Ing. Cristian Pérez
TÉCNICO DOCENTE

.....
Ing. Sebastián Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO

.....
Ing. Jorge Cevallos
COORDINADOR DE CTT



Anexo IX. Informe técnico de los ensayos de inflamabilidad de las probetas del material compuesto de matriz epoxi reforzado con Fibra de Abacá.



CENTRO DE TRANSFERENCIA Y TECNOLOGÍA FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA - UTA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA**

**INFORME DE ENSAYO DE INFLAMABILIDAD
SEGÚN NORMA ISO 3795**

DICIEMBRE DE 2018
AMBATO – ECUADOR

ANTECEDENTES:

Con fecha 19 de diciembre de 2018, el Sr. Marilyn Riera, domiciliado en la ciudad de Salcedo – Cotopaxi, solicita al Centro de Transferencia y Tecnología de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, para realizar la prueba de inflamabilidad según la norma ISO 3795, en muestras de materias para piezas interiores de carrocerías de buses

La norma ISO 3795 es una norma internacional que señala la metodología estandarizada que se debe seguir para la “Determinación del comportamiento frente al fuego de los materiales y se aplica a vehículos de carreteras, tractores y maquinarias para agricultura y la silvicultura.

Se reciben 5 muestras o probetas ingresadas bajo el nombre de: **(Resina epóxica combinado con abacá)** de aspecto compuesto del 83% de matriz y 17% de refuerzo. Por anverso: color ocre claro y brillante, superficie lisa y forma regular; por reverso: color ocre oscuro, superficie rugosa. Las muestras tienen dimensiones promedias de: 356 mm de largo, 70 mm de ancho y espesor de 4,2 mm.

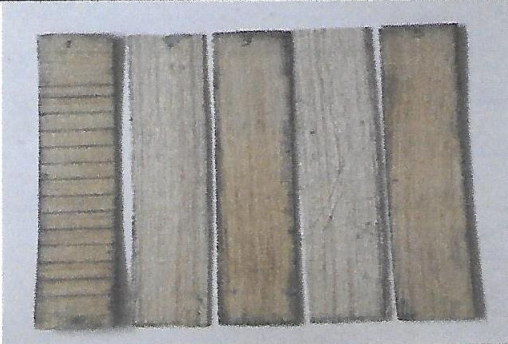
PROCESO GENERAL:

Según lo indica el método, la prueba de inflamabilidad se realizó sobre sus respectivas submuestras, las cuales se prepararon y manipularon de acuerdo a lo señalado en la norma ISO 3795.

Las pruebas se efectuaron dentro de una cámara extractora de gases, en cuyo interior las muestras se colocaron de manera horizontal en su respectivo, soporte dentro de la cámara de combustión.

Para proporcionar la llama se utilizó un mechero bunsen y gas GLP:

Se efectuaron los ensayos con las réplicas solicitadas y los datos fueron registrados y tabulados.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO			
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA			
Centro de Transferencia y Tecnología			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
DATOS INFORMATIVOS:			
Fecha:	19/12/2018	Ciudad:	Ambato
Lugar:	Laboratorios de Materiales de la FICM	Campus Huachi	
Máquina:	Banco de pruebas CTT-FICM		
Realizado por:	Ing. Cristian Pérez	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas
PARÁMETROS DE ENSAYO			
Tipo de Ensayo:	Prueba de Inflamabilidad	Norma:	ISO 3795
Tipo de material:	Material compuesto (Resina epoxi combinado abacá)		
Dimensiones (mm):	356 x 70 x 4.2	Nº de probetas:	5
			
Conjunto de muestras antes de las pruebas			
Resultados Según La Norma 3795			
N- De Probetas	Distancia (mm)	Tiempo (s)	Tasa de combustión B(mm/min)
A	254	798,6	19,1
B	254	740,4	20,6
C	254	795,6	19,2
D	254	741	20,6
E	254	751,2	20,3
F	254	798,6	19,1
Promedio			19,9
Observaciones: Durante el proceso de combustión la llama es no es auto - extinguiible. Se percibe al inicio una emisión moderada de humo con presencia de hollín y se mantiene durante todo el tiempo de combustión. Además, se observó la consistencia de la matriz de abacá debido al tejido que forma, produciendo una combustión homogénea por ambos lados.			



Conclusiones:

- De acuerdo con lo señalado en la norma NTE INEN 1668 año 2015, (Vehículos de transporte Público de Pasajeros Intrarregional, Interprovincial e Intraprovincial), artículo 5.9.2 (Inflamabilidad de los materiales), puedo indicar que las muestras tomadas del Material: MATERIAL COMPUESTO (RESINA EPÓXICA COMBINADO CON ABACÁ) tienen un índice de 19,9 mm/min. El material analizado cumple con el requisito establecido en la norma (Índice de combustión máximo permisible en la norma es 100 mm/min).
- De acuerdo con lo señalado en la norma NTE INEN 1323 puedo indicar que las muestras tomadas del Material: MATERIAL COMPUESTO (RESINA EPÓXICA COMBINADO CON ABACÁ) tienen un índice de combustión de 19,9 mm/min. El material analizado cumple con el requisito establecido en la norma (Índice de combustión máximo permisible en la norma es 250 mm/min).



Ing. Cristian Pérez
TÉCNICO DOCENTE



Ing. Sebastián Villegas
TÉCNICO DE LABORATORIO



Ing. Jorge Cevallos
COORDINADOR DE CTT

Anexo X. Factura de la adquisición de licencia de software estadístico Minitab®

Correo - cf.perez@uta.edu.ec

<https://outlook.office.com/owa/?realm=uta.edu.ec&exsvurl=1&ll-cc=3082&modurl=0>

Factura del pedido: 100652081023

OnTheHub

vie 01/02/2019 11:42

Para Perez Salinas Cristian Fabian <cf.perez@uta.edu.ec>

** Este es un mensaje automático - por favor, no responda ya que no recibirá respuesta.

**

OnTheHub[®] eStore
by Kivuto

Estimado cristian perez:

Gracias por el pedido.

1 de 4

01/02/2019 11:46

Correo - cf.perez@uta.edu.ec

<https://outlook.office.com/owa/?realm=uta.edu.ec&exsvurl=1&ll-cc=3082&modurl=0>

cristian perez
Avenida Los Chasquis y Rio Payamino
Tungurahua 180150
Ecuador

Ítems (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

Ver los detalles para conocer los términos y condiciones de venta de cada ítem.

	Cantidad	Precio unitario	Importe
1. Minitab 16 (Minitab) - licencia Minitab (Licencia)	1	\$29.99	\$29.99
2. E-Book: Análisis de Regresión (24 unidades)	1	\$4.95	\$4.95
		Subtotal:	\$34.94
		Impuestos:	--
		Total:	\$34.94

Asegúrese de que toda la información listada a continuación sea correcta y guarde esta factura para su registro.

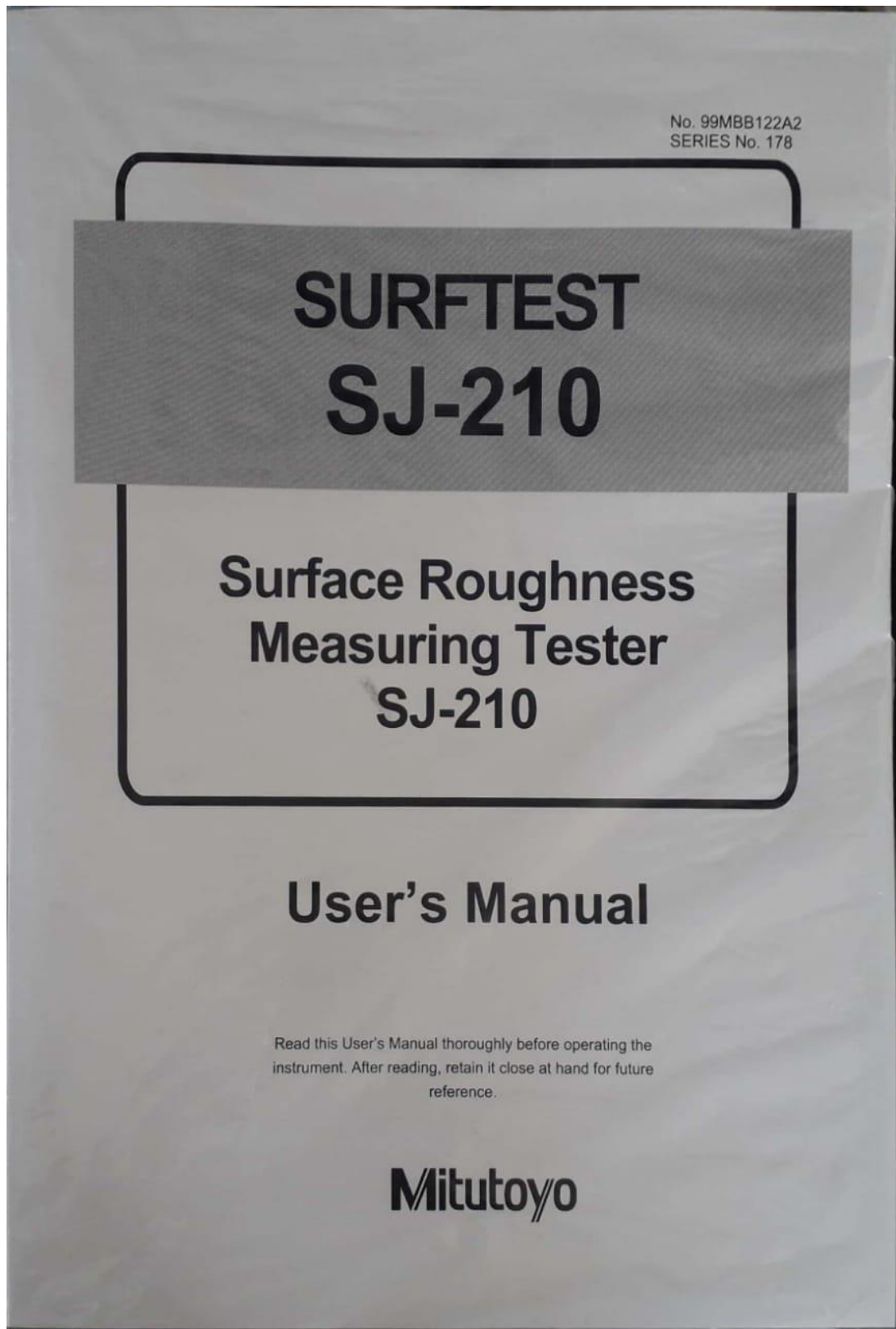
Si tiene alguna pregunta, consulte la [página de Ayuda de la tienda web](#).

Gracias,
OnTheHub

3 de 4

01/02/2019 11:46

Anexo XI. Rugosímetro MITUTOYO SJ 210 con su manual.



Anexo XII. Certificado de calibración del Rugosímetro MITUTOYO SJ-210

Mitutoyo

Mitutoyo Corporation
20-1, Sakado 1-chome, Takatsu-ku,
Kawasaki-shi, Kanagawa 213-8533, Japan
Phone(044)813-8230

ONE YEAR WARRANTY

Product Name _____ Code No. _____

Serial No. _____ Date Purchased _____

Mitutoyo Corporation conducts quality assurance under ISO 9000 quality management system. This product conforms to the MITUTOYO inspection standard, and the standard (s) used for the calibration is /are traceable to the national(international) standard (s).
In the event that this product should fail within one (1) year from the original date of purchase through normal use conforming to the User's Manual provided with the product and Warning Label(s) on the product, we will repair or replace at our option, free of charge, upon its prepaid return to Mitutoyo with this WARRANTY card.

※Purchaser is requested to fill the blank above and retain the warranty card at hand. **Return card only when requesting Warranty Service.**

Y. Takahashi
Quality Assurance Department
Y. Takahashi Manager

This warranty shall not apply if the product and consumables have been subject to fair wear and tear, abuse through misuse or improper use/handling/storage/maintenance/service/repair or through adaptation/modification by the original purchase or any third party without prior written consent of Mitutoyo or as a result of damage by an actual disaster or circumstances beyond the control of Mitutoyo.
To obtain service under this warranty the product must be returned to the store/dealer you purchased from along with the warranty card. Any postage, insurance, or shipping charges incurred in returning the product for service are the responsibility of the purchaser.

※This warranty is not transferable and is only valid within the country of the original purchase.
※You may have additional rights under the laws of country of original purchase that do not allow the exclusion of implied warranties of the exclusion or limitation of certain damages. If these laws apply, Mitutoyo's limitations and exclusions may not apply to you.

Anexo XIII. Pirómetro CEM DT – 8867H con su manual.

