



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo Experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico

TEMA:

“ANÁLISIS DEL PROCESO DE TALADRADO DEL MATERIAL COMPUESTO
DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ”

AUTOR: Mena Lema Nataly Maribel

TUTOR: Ing. Mg. Cristian Pérez

AMBATO – ECUADOR

2019

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema “**ANÁLISIS DEL PROCESO DE TALADRADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ**”, elaborado por la Srta. Nataly Maribel Mena Lema, portadora de la cédula de ciudadanía: 1850081017, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su tutor
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes
- Está concluido en su totalidad

Ambato, enero 2019

.....
Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO

Yo, Nataly Maribel Mena Lema con CI. 185081017 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema “**ANÁLISIS DEL PROCESO DE TALADRADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ**” así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, enero 2019

.....
Nataly Maribel Mena Lema

CI: 1850081017

Autor

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento 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, enero 2019

.....
Nataly Maribel Mena Lema

CI: 1850081017

Autor

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del trabajo experimental realizado por la estudiante Nataly Maribel Mena Lema de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“ANÁLISIS DEL PROCESO DE TALADRADO DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ”**

Ambato, enero del 2019

Para constancia firman:

.....
Ing. Mg. Juan Paredes

.....
Ing. Mg. Oscar Analuiza

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mi madre Rosa Lema, quien a lo largo de esta travesía ha sabido apoyarme y levantarme en los momentos más difíciles, siendo un modelo de lucha y perseverancia que no ha flaqueado en momentos de dificultad, quien con su ejemplo me ha encauzado en el camino del bien y del trabajo continuo, permitiendo hoy escribir estas líneas como símbolo de una meta alcanzada que marca el comienzo de una nueva vida profesional.

AGRADECIMIENTO

A mi madre Rosa Lema que se mantuvo firme en la idea de darme una profesión y sin importar las críticas y dificultades presentes a lo largo de esta travesía no dudo en apoyarme, ya que con un pan en una de sus manos y la vara en la otra me convirtió en una persona responsable y de bien para así cumplir con los objetivos impuestos por la sociedad, siempre dando lo mejor y un poco más.

A los docentes de la Carrera de Ingeniería Mecánica, que desde que me sumergieron en un mar de conocimientos de forma desinteresada y con la única finalidad de crear profesionales con valores éticos y laborales he logrado llegar a la cúspide de lo que un día simplemente fue un sueño.

A mi Tutor Ing. Mg. Cristian Pérez, que durante todo el desarrollo de este trabajo experimental me apoyo incondicionalmente con sus conocimientos y experiencia.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	v
DEDICATORIA.....	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN EJECUTIVO	xvii
ABSTRACT	xviii
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO	1
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	1
1.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
1.2.1. Materiales compuestos reforzados con fibras	4
1.2.1.1. La regla de las mezclas en compuestos reforzados con fibra.....	4
1.2.1.2. Características de compuestos reforzados con fibras	5
1.2.1.3 Producción del compuesto	5
1.2.2. Cascarilla de arroz.....	6
1.2.3. Proceso de mecanizado por arranque de viruta.....	7
1.2.4. Taladrado de materiales compuestos.....	9
1.2.4.1. Velocidad de corte.....	9
1.2.4.2. Velocidad de husillo.....	10
1.2.4.3. Velocidad de avance.....	10
1.2.4.4. Brocas.....	11
1.1.7. Rugosidad.....	13

1.1.8. Delaminación	16
2.1.9. Humedad	17
1.1.9.1. Comportamiento de absorción por inmersión en agua.....	18
1.1.10. Método de superficie de respuesta	19
1.1.10.2. Mejor tratamiento y punto óptimo	20
1.3. OBJETIVOS.....	21
CAPÍTULO II	22
METODOLOGÍA	22
2.1. MATERIALES.....	22
2.1.1. Cascarilla de arroz.....	22
2.1.2. Resina poliéster	24
2.1.2. MAQUINARIA Y HERRAMENTAL.....	26
2.1.3. EQUIPOS	28
2.2. METODOLOGÍA	30
2.2.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	30
2.2.2. MÉTODO.....	31
a) Población.....	31
b) Muestra	31
2.2.3. HIPÓTESIS.....	34
2.2.4. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS	34
2.2.4.1. Variable Independiente	34
2.2.4.2. Variable Dependiente.....	34
2.2.4.3. Termino de relación	34
2.2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	35
2.2.6. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	37
2.2.6.1. Elaboración de probetas	37

c) Preparación de la cascarilla de arroz.....	40
2.2.6.2. Prueba de humedad	43
2.2.7. PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS.....	45
CAPÍTULO III	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	46
3.1. Análisis y discusión de resultados.....	46
3.1.1 Recolección de datos.....	46
3.1.2. Resultados	72
3.1.2.1 Análisis de datos de la rugosidad.....	72
3.1.2.2. Análisis de datos de la delaminación de entrada.....	81
3.1.2.3Análisis de datos de la delaminación de salida	89
Optimización simultanea.....	98
3.2. Verificación de hipótesis.....	99
3.3. Desarrollo de prueba de humedad.....	100
CAPÍTULO IV	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
4.1. Conclusiones	112
4.2. Recomendaciones.....	114
4.3 BIBLIOGRAFÍA.....	115
ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1: Micrografía de composite de cáscara de arroz con PVC [4]	7
Figura 1. 2: Tipos de torneado [9].....	7
Figura 1.3: Tipos de fresado [9].....	8
Figura 1.4: a) Corte de taladrado; b) Tipos de taladrados [9]	8
Figura 1.5: Tipos de brocas [9]	12
Figura 1.6: Partes de una broca helicoidal [9].....	12
Figura 1.7: Partes de la punta de una broca [9].....	13
Figura 1.8: Medición de profundidad de rugosidad	14
Figura 1.9: Medición del valor medio de rugosidad [16].....	15
Figura 2. 1: Dimensiones de la plancha de trabajo	38
Diagrama 3. 1: Diagrama de recolección de datos	46
Figura 3. 1: Gráfica de probabilidad normal de la rugosidad.	72
Figura 3. 2: Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la rugosidad.....	73
Figura 3. 3: Diagrama de Pareto de los efectos para la rugosidad.	74
Figura 3. 4: Gráfica de probabilidad normal de los efectos de la rugosidad.....	76
Figura 3. 5: Gráfica de efectos principales para la rugosidad.	76
Figura 3. 6: Gráfica de interacción para la rugosidad.	77
Figura 3. 7: Gráfica de superficie de rugosidad vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta con recubrimiento de Diamante.	78
Figura 3. 8: Gráfica de superficie de rugosidad vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta para Kevlar.	78
Figura 3. 9: Gráfica de superficie de rugosidad vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta con recubrimiento de Diamante.....	79
Figura 3. 10: Gráfica de superficie de rugosidad vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta para Kevlar.....	79
Figura 3. 11: Gráfica de optimización para la rugosidad.	80

Figura 3. 12: Gráfica de probabilidad normal del factor de delaminación de entrada.	81
Figura 3. 13: Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del factor de delaminación de entrada.....	82
Figura 3. 14: Diagrama de Pareto de los efectos para el factor de delaminación de entrada.	83
Figura 3. 15: Gráfica de probabilidad normal de los efectos del factor de delaminación de entrada.	84
Figura 3. 16: Gráfica de efectos principales para el factor de delaminación de entrada.	85
Figura 3. 17: Gráfica de interacción para el factor de delaminación de entrada.	85
Figura 3. 18: Gráfica de superficie del factor de delaminación de entrada vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta con Diamante.	86
Figura 3. 19: Gráfica de superficie del factor de delaminación de entrada vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta para Kevlar. ...	87
Figura 3. 20: Gráfica de superficie del factor de delaminación de entrada vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta con Diamante.	87
Figura 3. 21: Gráfica de superficie del factor de delaminación de entrada vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta para Kevlar. ..	88
Figura 3. 22: Gráfica de optimización para el factor de delaminación de entrada....	88
Figura 3. 23: Gráfica de probabilidad normal del factor de delaminación de salida.	90
Figura 3. 24: Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del factor de delaminación de salida.	91
Figura 3. 25: Diagrama de Pareto de los efectos para el factor de delaminación de entrada.	92
Figura 3. 26: Gráfica de probabilidad normal de los efectos del factor de delaminación de salida.....	93

Figura 3. 27: Gráfica de efectos principales para el factor de delaminación de salida.	93
Figura 3. 28: Gráfica de interacción para el factor de delaminación de salida.	94
Figura 3. 29: Gráfica de superficie del factor de delaminación de salida vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta con Diamante.	95
Figura 3. 30: Gráfica de superficie del factor de delaminación de salida vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta con recubrimiento de Kevlar.	95
Figura 3. 31: Gráfica de superficie del factor de delaminación de salida vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta con Diamante.	96
Figura 3. 32: Gráfica de superficie del factor de delaminación de salida vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta para Kevlar. ..	97
Figura 3. 33: Gráfica de optimización para el factor de delaminación de salida.	97
Figura 3. 34: Gráfica de optimización simultánea.	98
Figura 3. 35: Tasa relativa de absorción de agua en función del tiempo de inmersión	107
Figura 3. 36: Línea de tendencia del incremento de humedad en composite de resina polimérica y cascarilla de arroz.....	108
Figura 3. 37: Aumento de peso en función de la raíz cuadrada del tiempo	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1: Calidades superficiales mostradas mediante signos o símbolos [18].....	15
Tabla 1. 2: Rugosidad Promedio de acuerdo a los diferentes procesos de fabricación	16
Tabla 2. 1: Producción anual de arroz en Ecuador.....	22
Tabla 2. 2: Residuos generados durante el proceso de obtención del arroz.....	23
Tabla 2. 3: Propiedades de la cascarilla de arroz	23
Tabla 2. 4: Propiedades típicas de la resina poliéster.....	24
Tabla 2. 5: Propiedades típicas de la resina epoxi.....	25
Tabla 2. 6: Diferencias entre la resina poliéster y epoxi	26
Tabla 2. 7: Especificaciones Técnicas de la Fresadora CNC M - 1000	27
Tabla 2. 8: Especificaciones del herramental usado en la máquina CNC	28
Tabla 2. 9: Especificaciones Técnicas del Rugosímetro Mitutoyo SJ - 210	29
Tabla 2. 10: Especificaciones técnicas del Digital USB microscopio	29
Tabla 2. 11: Especificaciones Técnicas de la Balanza Mettler Toledo	30
Tabla 2. 12: Factores y niveles usados en el diseño de superficie de respuesta.....	31
Tabla 2. 13: Diseño experimental de superficie de respuesta	33
Tabla 2. 14: Número de probetas usadas en la prueba de humedad.....	34
Tabla 2. 15: Variable Independiente (Parámetros de corte).....	35
Tabla 2. 16: Variable Dependiente (Calidad Superficial)	36
Tabla 2. 17: Cálculo de fracción volumétrica del material compuesto	39
Tabla 2. 18: Resumen de Fracciones Volumétricas de trabajo	40
Tabla 2. 19: Preparación de la cascarilla de arroz.....	40
Tabla 2. 20: Construcción de un molde de dimensiones interiores 360 x 135 x 10mm	41
Tabla 2. 21: Fabricación de material compuesto.....	42

Tabla 2. 22: Fracción volumétrica del material requerido para las pruebas de humedad	43
Tabla 2. 23: Fabricación del material compuesto para pruebas de humedad.....	44
Tabla 3. 1: Evaluación de rugosidad con broca con diamante en material compuesto (RE+CA)	49
Tabla 3. 2: Evaluación de rugosidad con broca para kevlar en material compuesto (RE+CA)	51
Tabla 3. 3: Evaluación de rugosidad con broca con diamante en material compuesto (RP+CA)	53
Tabla 3. 4: Evaluación de rugosidad con broca para kevlar en material compuesto (RP+CA)	55
Tabla 3. 5: Evaluación de la delaminación de entrada con broca de diamante en material compuesto (RE+CA).....	57
Tabla 3. 6: Evaluación de delaminación de entrada con broca para kevlar en material compuesto (RE+CA)	59
Tabla 3. 7: Evaluación de delaminación de entrada con broca de diamante en material compuesto (RP+CA)	61
Tabla 3. 8: Evaluación de delaminación de entrada con broca de kevlar en material compuesto (RP+CA)	63
Tabla 3. 9: Evaluación de delaminación de salida con broca de diamante en material compuesto (RP+CA)	65
Tabla 3. 10: Evaluación de delaminación de salida con broca para kevlar en material compuesto (RE+CA)	67
Tabla 3. 11: Evaluación de delaminación de salida con broca de diamante en material compuesto (RP+CA)	69
Tabla 3. 12: Evaluación de delaminación de salida con broca de kevlar en material compuesto (RP+CA)	71
Tabla 3. 13: ANOVA para la rugosidad.....	75
Tabla 3. 14: Valores predichos para el punto óptimo.....	80

Tabla 3. 15: ANOVA para el factor de delaminación de entrada.	83
Tabla 3. 16: Valores predichos para el punto óptimo del factor de delaminación de entrada.	89
Tabla 3. 17: ANOVA para el factor de delaminación de salida.	92
Tabla 3. 18: Valores predichos para el punto óptimo del factor de delaminación de entrada.	98
Tabla 3. 19: Valores predichos para el punto óptimo global.	99
Tabla 3. 20: Verificación de hipótesis.	99
Tabla 3. 21: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE +CA y RP+CA).....	101
Tabla 3. 22: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE+CA y RP+CA).....	102
Tabla 3. 23: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE+CA y RP+CA).....	103
Tabla 3. 24: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE+CA y RP+CA).....	104
Tabla 3. 25: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE+CA y RP+CA).....	105
Tabla 3. 26: Tabla de resumen de incremento de peso	107
Tabla 3. 27: Datos de entrada para el cálculo de contenido de humedad en equilibrio	109

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

ANÁLISIS DEL PROCESO DE TALADRADO DEL MATERIAL COMPUESTO
DE MATRIZ POLIMÉRICA REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ

Autor: Nataly Maribel Mena Lema

Tutor: Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental está dirigido a conocer la influencia de los parámetros de corte, en la calidad superficial del proceso de taladrado en un composite elaborado con matriz polimérica (83%) y refuerzo de cascarilla de arroz (17%), cuya aplicación principal está dirigida al área de construcción como reemplazo de la madera y del yeso.

El diseño experimental empleado es el MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA, con el cual se obtuvo 104 combinaciones de trabajo, al usar un diseño central compuesto que emplea dos factores categóricos (tipo de resina y de broca) y dos continuos (velocidad de husillo y de avance), así como el desarrollo de dos réplicas. Una vez analizados los datos se obtuvo el punto óptimo global, que haciendo referencia a los óptimos individuales, consiguió la combinación con la mínima rugosidad superficial y el mínimo factor de delaminación.

Con una deseabilidad compuesta de 0,725; la combinación con mejores resultados es el composite de resina Poliéster + Cascarilla de arroz, que obtuvo una rugosidad de 1,167 μ m, un factor de delaminación de entrada de 1,3175, y un factor de delaminación de salida 1,5348; con una broca para Kevlar con $N=468,63$ rpm y $V_f=82,72$ mm/min. Adicionalmente se desarrolló un ensayo tecnológico de absorción de agua con la norma ASTM-D570, en donde después de 864 horas de inmersión en agua destilada las probetas registraron un incremento de peso del 3,2% en la matriz epoxi y 5,54% en la matriz poliéster, notando así que la primera tiene mayor resistencia a la humedad.

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

ANALYSIS OF THE DRILLING PROCESS OF THE MATERIAL COMPOSED OF
REINFORCED POLYMERIC MATRIX WITH RICE SHELL

Author: Nataly Maribel Mena Lema

Tutor: Ing. Mg. Cristian Fabián Pérez Salinas

ABSTRACT

The present experimental work is directed to know the influence of the parameters of cut, in the superficial quality of the process of drilling in a composite with polymeric matrix (83%) and reinforcement of husk of rice (17%), whose main application is directed to the construction area as a replacement for wood and plaster.

The experimental design used is the SURFACE METHOD OF ANSWER, with which 104 work combinations are obtained, by using a composite central design that employs two categorical factors (type of resin and drill) and two continuous (velocity of spindle and forward), as well as the development of two replicas. Once the data was analyzed, the global optimum point was obtained, which made reference to the best individual optimum. It achieved the combination with the minimum surface roughness and the minimum delamination factor.

With a composite desirability of 0.725; the combination with the best results is the polyester resin + rice husk composite, which obtained a roughness of $1,167\mu\text{m}$, an input delamination factor of 1,3175, and an output delamination factor of 1,5348; with a drill for Kevlar with $N = 468.63$ rpm and $V_f = 82.72$ mm / min. Additionally, a water absorption technology test was developed with the ASTM-D570 standard, where after 864 hours of immersion in distilled water, the test pieces recorded an increase of 3.2% in the epoxy matrix and 5.54% in the polyester matrix, thus noting that the first has greater resistance to moisture.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Para el desarrollo del presente trabajo experimental se consideraron tres artículos técnicos y una tesis, cuyas características principales se describen a continuación de manera rápida y concisa:

En el trabajo investigativo elaborado en la Escuela de Ingenierías Industriales de la Universidad de Valladolid por V. Pascual, M. San-Juan, F.J. Santos, Ó. Martín y M.P. de Tiedra; bajo el título “ESTUDIO DE LAS FUERZAS DE CORTE AXIALES Y EL FENÓMENO DE DELAMINACIÓN EN LA PERFORACIÓN DE MATERIALES COMPUESTOS DE FIBRA DE CARBONO” en donde se explica el fenómeno de delaminación en perforaciones empleadas para tornillos y remaches en base a un análisis que toma como referencia dos tipos de herramientas [1]

Tomando como referencia dos tipos de herramientas y dos velocidades de corte se trabajó con las siguientes combinaciones HSCO5524 a 3000 rpm; HSCO5524 a 800 rpm y HSCO1261 a 800 rpm, en cada caso se realizaron seis replicas obteniendo las siguientes conclusiones: [1]

- Con una velocidad de corte y de avance baja se obtiene una delaminación baja, sin embargo, la herramienta sufre un desgaste rápido [1]
- La geometría y tipo de herramienta influyen directamente en el desgaste y en la delaminación generada en la superficie de trabajo, siendo las brocas con mayor ángulo de punta las que menos daños causan. [1]

El segundo trabajo investigativo fue desarrollado en el Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Meghalaya (India); bajo el título: “INVESTIGACIONES EXPERIMENTALES SOBRE LA PERFORACIÓN DE LAMINADOS COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRA LIGNOCELULÓSICA”, en donde evaluando parámetros como las fuerzas de

perforación, delaminación y rugosidad de la superficie, se define el rendimiento de perforación de acuerdo a los daños generados. Para el desarrollo del trabajo investigativo se usó una combinación de avance (8, 16 y 22,4 mm/min) y velocidad de husillo (710, 1400 y 2000 rpm), así como un cambio de brocas entre las que se mencionan las siguientes: brocas de 4 y 8 facetas, de daga, de paso y parabólicas, todas de 8mm de diámetro y fabricadas en carburo sólido. Los resultados obtenidos se mencionan a continuación: [2]

- El empuje axial disminuye linealmente a medida que aumenta la velocidad del husillo (de 710 rpm a 2000 rpm), esto debido a que en los materiales existe una menor resistencia de corte y al ablandamiento de la resina curada por el aumento de temperatura [2]
- La rugosidad de la superficie perforada es directamente proporcional al aumento de velocidad de avance y del husillo; siendo las brocas de 8 facetas y las de daga las que generan una superficie con mejor acabado en comparación con el resto de brocas; contrario a esto, las brocas escalonadas y parabólicas son las que mayor rugosidad generan en este tipo de materiales [2]
- La delaminación producida es más evidente a la salida de la perforación, siendo las brocas de 8 facetas y las de daga las que generan un daño relativamente menor en comparación al resto de brocas especialmente a la broca escalonada que es la que mayor daño en la superficie perforada. [2]

Como tercera fuente de consulta tenemos el Trabajo Experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico presentado por Moya Moya Edwin Rolando en la Universidad Técnica de Ambato; bajo el título: “ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE TALADRADO EN UN COMPOSITE DE MATRIZ POLIÉSTER CON REFUERZO HÍBRIDO DE FIBRA DE VIDRIO MÁS FIBRA DE CABUYA Y SU INCIDENCIA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE ACABADO SUPERFICIAL” en donde usando un diseño experimental que incluye dos variables (velocidad de corte y de avance) y la realización de tres réplicas se busca estudiar el acabado superficial de un material compuesto de acuerdo a los valores de delaminación y rugosidad obtenidos al emplear tres brocas de distintos

materiales en la perforación de agujeros; dicho trabajo presento las siguientes conclusiones: [3]

- El factor de delaminación se ve afectado por el tipo de broca, pues usando una broca especial para Kevlar se obtiene menor daño que usando una broca de diamante o de HSS. Se llegó a esta conclusión una vez analizados los valores de delaminación y rugosidad obtenidos en las superficies de entrada y salida de las perforaciones realizadas. [3]
- Para obtener una menor delaminación se debe trabajar con velocidades de husillo altas y mantener velocidades de avance bajas; mientras que en el caso de la rugosidad se debe trabajar con velocidades de avance y husillo bajas para obtener un mejor acabado superficial. [3]

Como cuarta fuente de consulta tenemos el trabajo investigativo desarrollado en King Abdulaziz University, en Saudi Arabia bajo el título: “EL USO DE PAJA DE ARROZ Y FIBRAS DE CÁSCARA COMO REFUERZOS EN COMPOSITES.” en donde de acuerdo a las propiedades físicas y mecánicas, tratamientos de superficie y los agentes de acoplamiento de fibras con polímeros, se analiza el potencial que posee la cascarilla y paja de arroz en la formación de materiales compuestos reforzados con polipropileno e injertos de anhídrido maleico o lignina, llegando a las siguientes conclusiones: [4]

- Tanto la cascarilla como la paja de arroz son fibras naturales que poseen propiedades químicas parecidas a la madera, la primera opción posee una gran cantidad de sílice, convirtiéndose en un material resistente a la biodegradación, humedad, y a la tracción; mientras que el segundo puede disminuir su resistencia a la tracción si se produce una aglomeración. [4]
- El uso de anhídrido maleico como agente de acoplamiento en los materiales compuestos elaborados con cascarilla o paja de arroz mejora la resistencia al agua y la estabilidad térmica, comenzando a degradarse a los 180°C y 160°C respectivamente. Para obtener una mejor calidad superficial de fibra se puede recurrir a procesos de mercerización con hidróxido de sodio y de la explosión de vapor. [4]

- El material formado a base de polipropileno y paja de arroz aumenta la absorción de agua a medida que la carga de fibra crece, obteniendo un porcentaje de absorción de aproximadamente el 0,3%; mientras que al adicionar un injerto de anhídrido maleico la absorción se reduce al 0,22%, cuando el compuesto adicionado es la lignina se observa una reducción en la absorción de humedad, sin embargo, el porcentaje de hinchazón presenta un crecimiento.

1.2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.2.1. Materiales compuestos reforzados con fibras

Las tecnologías modernas requieren materiales con una combinación inusual de propiedades; hablando de manera general un material compuesto es considerado como un material multifacético, que gracias a la unión de dos o más materiales distintos consiguen la mejor combinación de propiedades. [5]

Entre los materiales compuestos que pueden formarse se destacan los constituidos por fibras resistentes, rígidas y frágiles en un matriz blanda y dúctil, en donde se obtiene una mayor resistencia a la fatiga, mejor módulo de Young y mejor relación resistencia – peso. La función de la matriz es la de proteger la superficie con fibras y reducir la difusión de oxígeno y humedad, mientras que las fibras deben soportar la fuerza ejercida sobre el elemento. [6]

1.2.1.1. La regla de las mezclas en compuestos reforzados con fibra

Siempre se dará que la regla de las mezclas es igual a la densidad de los compuestos reforzados con fibras, esto se expresa en la ecuación 1, en donde f_m y f_f se refiere a las fracciones volumétricas y ρ_m y ρ_f a las densidades de trabajo. [6]

$$\rho_c = f_m \rho_m + f_f \rho_f \quad \text{Ec.1}$$

En donde el subíndice m se refiere a la matriz y f a la fibra. Nótese también que la suma de fracciones volumétricas es igual a 1, y que su respectivo despeje se muestra en la ecuación 2. [6]

$$f_m = 1 - f_f \quad \text{Ec.2}$$

Otra característica de la regla de mezclas es la de predecir con total exactitud la conductividad térmica y eléctrica en la dirección de las fibras, siempre y cuando estas sean continuas y unidireccionales, para esto se requiere hacer uso de las ecuaciones 3 y 4. [6]

$$k_c = f_m k_m + f_f k_f \quad \text{Ec.3}$$

$$\sigma_c = f_m \sigma_m + f_f \sigma_f \quad \text{Ec.4}$$

Siendo k y σ la conductividad térmica y eléctrica respectivamente.

1.2.1.2. Características de compuestos reforzados con fibras

Factores como la longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedades de la fibra, propiedades de la matriz, y propiedades de la unión de fibra y matriz deben ser consideradas al diseñar un material reforzado con fibras. [6]

- a) **Longitud y diámetro de las fibras:** pese a que las fibras pueden ser largas, cortas o continuas; se prefieren los diámetros pequeños para reducir el área superficial y obtener menos defectos durante el proceso y ante la presencia de cargas; de igual forma se prefieren las fibras largas porque mientras menos extremos existan, mayor es la capacidad de absorción de carga. [6]
- b) **Cantidad de fibras:** la resistencia y la rigidez de un material compuesto aumenta de acuerdo a la fracción volumétrica con la que se trabaje, recordando que la máxima es de aproximadamente el 80%, luego las fibras pueden quedar descubiertas de la matriz. [6]
- c) **Orientación de fibras:** las fibras cortas mantienen una dirección aleatoria y una pequeña proporción dimensional porque son más fáciles de introducir en la matriz y el compuesto adquiere un comportamiento relativamente isotrópico. [6]

1.2.1.3 Producción del compuesto

Generalmente para crear un compuesto con fibras cortas como material de refuerzo se requiere que las fibras sean mezcladas en una matriz líquida o plástica que posteriormente será rociada en un molde para ser curada. [6]

En caso de usar fibras continuas para producir compuestos, es necesario crear cintas, esteras o tejidos que se extiendan sobre una superficie con resina polimérica y presionar la misma para eliminar porosidades y crear un buen contacto, posterior a esto debe someterse al proceso de curado. [6]

1.2.2. Cascarilla de arroz

La cáscara de arroz es un residuo de la familia de las biofibras que es obtenido de los procesos agrícolas y que, aunque se genera en grandes cantidades sus usos se limitan a servir como alimento para animales, a material de cama y en su gran mayoría son quemados. La calidad de las fibras de cáscara de arroz depende netamente del proceso industrial con que se obtenga, pues actividades relacionadas al cultivo y cosecha son muy básicos para influenciar sobre el producto final. [4]

Las fibras de cáscara de arroz se caracterizan por su alto contenido de sílice, convirtiéndose en un material resistente a la biodegradación (se descompone a los 180°C) y a la penetración de humedad. Sin embargo, para mejorar la resistencia al agua y obtener una mejor estabilidad térmica se debe recurrir al uso de agentes de acoplamiento que mejoren las propiedades mecánicas del composite, teniendo en cuenta que un aumento en las partículas de la cáscara de arroz se traduce en una mejora para la resistencia a la tracción. Otra de las características de este tipo de fibras es la no alteración de su estructura cristalina al ser sometida a tratamientos químicos en la superficie. Estos materiales se usan principalmente en compuestos cementosos, como se muestra en la figura 1.1. en donde se muestra la micrografía de un composite de cáscara de arroz con un acoplamiento de PVC [4]

Al tratarse de fibras cortas la dispersión toma un papel importante en la obtención de propiedades mecánicas, es el caso de la carga de tracción que se transmite a la fibra por el cizallamiento de la matriz. La dispersión puede verse afectada por condiciones ambientales como presión y temperatura. [7]

La cascarilla está compuesta de sílice y celulosa, el grano tiene forma de cariósido con una longitud de entre 5 y 11 mm y un ancho no superior a los 4 mm. De acuerdo a la escala de Mohs la dureza es 6. [7]

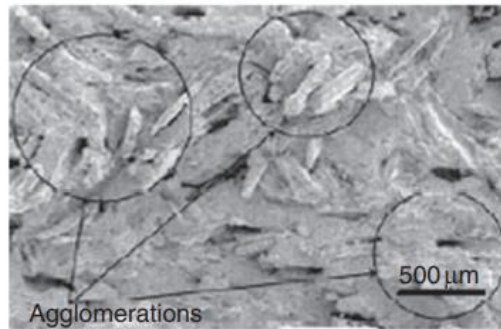


Figura 1. 1: Micrografía de composite de cáscara de arroz con PVC [4]

1.2.3. Proceso de mecanizado por arranque de viruta

Los procesos de arranque de viruta pertenecen a una serie de procesos de conformado, en donde se evidencia la combinación de trabajo de una máquina - herramienta con una herramienta de corte, esta última debe tener una dureza superior a la del material a maquinar y poseer una geometría a manera de cuña. Es necesario establecer condiciones de trabajo como velocidad de corte, avance y profundidad de pasada para transformar un material en bruto en una pieza terminada a través de la remoción de capas de material (viruta). Dependiendo de las condiciones de trabajo y del tipo de herramienta se pueden distinguir diferentes procesos de mecanizado entre los que destacan: [8]

Torneado: esta operación de mecanizado se realiza en una máquina denominada torno y consiste en la formación de piezas que giran en un eje a partir del arranque de material. Se lleva a cabo mediante dos movimientos básicos: el de corte y el de avance; el primero que es rotativo sobre la pieza y el segundo que es realizado por la herramienta de corte en forma perpendicular al eje de rotación. En la figura 1.2. se muestra los tipos de torneado con sus respectivos movimientos de corte y avance, así como la posición de la herramienta [9]

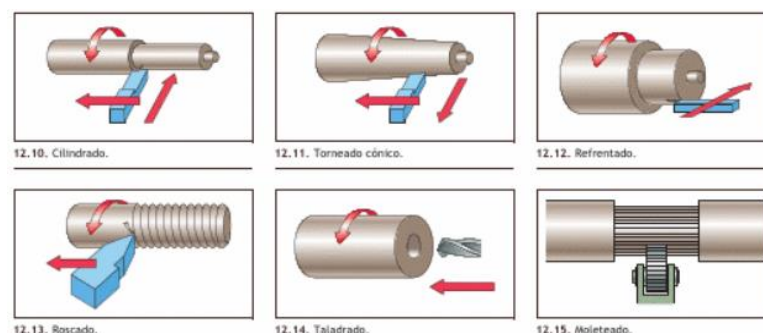


Figura 1. 2: Tipos de torneado [9]

Fresado: corta superficies mediante el uso de una máquina fresadora que dispone de múltiples herramientas rotativas (fresas) distribuidas simétricamente alrededor de un eje de giro. Las fresas están formadas por filos cortantes denominados dientes, labios o plaquitas; mismos que son elaborados en materiales duros y resistentes; algunos tipos de fresas se muestran en la figura 1.3, en donde además se muestra su forma de trabajo, generando diferentes tipos de fresado. En la actualidad gracias al uso de fresas de control numérico (CNC) las operaciones de fresado se han incrementado en el sector industrial. [9]

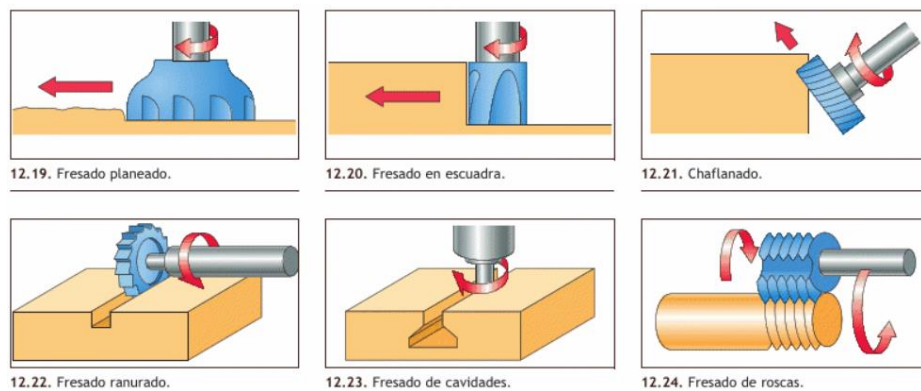


Figura 1.3: Tipos de fresado [9]

Taladrado: operación básica, fácil y común que permite obtener orificios de tipo cilíndrico mediante el arranque de viruta. Las herramientas necesarias para esta actividad son la broca (elemento de corte) y la taladradora (acciona la broca). Tanto el corte con taladro, como el tipo de perforaciones que se realizan con este proceso se muestran en la figura 1.4. Aunque existen diferentes tipos de taladros los más conocidos son: [9]

- **Ciegos:** El taladro tiene punto de entrada, pero no de salida
- **Pasantes:** El taladro atraviesa totalmente la pieza
- **Avellanados:** Puede ser ciego o pasante y tiene un extremo más ancho

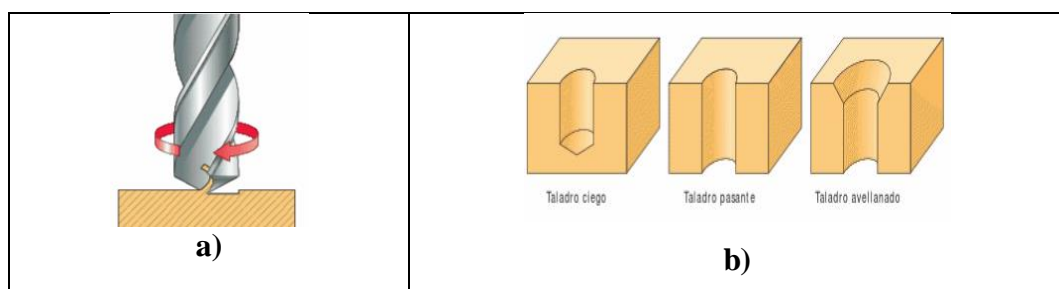


Figura 1.4: a) Corte de taladrado; b) Tipos de taladros

1.2.4. Taladrado de materiales compuestos

Definiendo el taladrado como una operación del mecanizado que corresponde a la eliminación de material (viruta) mediante el uso de una broca con movimiento rotativo y lineal; [10] se puede decir que en los materiales compuestos ha ido ganando espacio en la industria aeroespacial, naval, y automotriz, ya que en estas aéreas se produce gran cantidad de agujeros para el montaje de componentes (tornillos, pernos y remaches). Sin embargo, debido a las propiedades diferenciales de mecanizado y a la naturaleza inhomogénea del material la perforación se convierte en una tarea difícil para los ingenieros de fabricación; tanto que deben considerar que el tipo de herramienta y parámetros de corte seleccionados dependen mayormente del tipo de fibra, mientras que la matriz define si un proceso de mecanizado puede o no realizarse. [11] [12]

Factores como el diámetro y longitud de perforación influyen directamente sobre la calidad de perforado, debido a la dificultad para eliminar la viruta.

En el taladrado como en cualquier otro proceso de mecanizado intervienen los parámetros de corte, que son aquellos factores que debemos tomar en cuenta a la hora de calibrar una máquina – herramienta ya que se encuentran directamente ligados al costo, calidad y productividad de los elementos a elaborar. [13] Estos varían de acuerdo al trabajo que se va a desarrollar. En el caso del taladrado se debe tomar principal importancia a la velocidad de corte (velocidad entre la pieza y la herramienta), de avance (longitud recorrida por la herramienta) y de giro del husillo (número de vueltas del cabezal); como parámetros secundarios tenemos el tipo y material de la broca. [14]

1.2.4.1. Velocidad de corte

Es la velocidad lineal relativa de la broca respecto a la pieza en la misma dirección y sentido que el movimiento de corte. Su valor es fundamental para estudiar las fuerzas de corte, durabilidad de la herramienta y tiempos de trabajo. Se calcula fácilmente mediante la ecuación 5. [10] [14]

$$V_c = \frac{\pi * D_c * n}{1000} \left[\frac{m}{min} \right] \quad Ec. 5$$

Donde D_c (mm) es el diámetro de la herramienta y n (rpm) la velocidad rotativa del husillo.

El trabajar con velocidades de corte inapropiadas puede verse traducido en las siguientes repercusiones:

- a) **Velocidad de corte excesiva:** Se observa un desgaste temprano de la herramienta a causa de la deformación del filo; esto se traduce en una calidad superficial deficiente que no cumple con las tolerancias. [10]
- b) **Velocidad de corte insuficiente:** Provoca una rotura de la herramienta, incorrecta eliminación de la viruta e incremento en los costos. [10]

1.2.4.2. Velocidad de husillo

Es la velocidad de rotación de la herramienta y se encuentra expresado en rpm. Cuando se trata de máquinas con cajas de cambios se puede presentar pequeños saltos de velocidad, mientras que en máquinas CNC que poseen variadores de frecuencia y sistemas de realimentación el problema es el límite de velocidades. Se calcula mediante la ecuación 6. [10]

$$n = \frac{1000 * V_c}{\pi * D_c} \quad \left[\frac{rev}{min} \right] \quad Ec. 6$$

Donde V_c es velocidad de corte (m/min) y D_c es el diámetro de la herramienta (mm)

1.2.4.3. Velocidad de avance

Se define como el tiempo que tarda la herramienta en mecanizar determinada longitud de la pieza. Su valor determina el espesor de la viruta, pero se encuentra limitado por la potencia de la máquina. Se calcula mediante la ecuación 7: [1]

$$V_f = \frac{Longitud\ de\ mecanizado}{tiempo\ de\ mecanizado} \quad \left[\frac{mm}{min} \right] \quad Ec. 7$$

También se puede calcular de acuerdo a los valores de avance por revolución, mismos que son recomendados por el fabricante y dependen del tipo de broca, del material y de los acabados que se desean obtener. Se obtiene con la ecuación 8. [10]

$$V_f = n * f \quad \left[\frac{mm}{min} \right] \quad Ec. 8$$

El no aplicar los rangos recomendados puede dar lugar a los siguientes problemas:

Avances altos

- Disminuyen el desgaste de la herramienta debido a la baja fricción, pero puede romperse
- Los tiempos de producción se reducen, pero pese a obtener una viruta corta se obtiene un acabado superficial de baja calidad
- Se requiere una mayor potencia para efectuar el corte

Avances bajos

- La herramienta se desgasta aceleradamente y los tiempos de trabajo aumentan
- Se obtiene un mejor acabado superficial
- Se requiere una fuerza de empuje menor para realizar el corte

1.2.4.4. Brocas

La broca es una herramienta cilíndrica que se encarga de realizar cortes en el proceso de taladrado, suelen estar fabricadas de acero con alto contenido de carbono aleado con diferentes metales para conseguir una dureza mayor a la que poseen los materiales con los que van a trabajar. [9]

El tipo de herramienta influye en la calidad superficial obtenida en el taladrado. Para asegurar un mecanizado de calidad además de seleccionar los parámetros de corte, se debe escoger el tipo de herramienta, pues es considerado como uno de los principales factores de influencia en el acabado obtenido en el proceso de fabricación. En función de la resistencia del material que se va a taladrar las brocas son fabricadas en distintos materiales, siendo los siguientes los más utilizados: [9]

- **Brocas con bajo contenido de carbono:** tienen baja resistencia mecánica y son utilizadas en madera y plástico. [9]

- **Brocas de acero rápido HSS:** son las más utilizadas y se usan para taladrar metal y materiales de dureza media alta. [9]
- **Brocas de acero al cobalto:** se utilizan para taladrar materiales duros y muy duros. [9]

Tipos de brocas:

Existen diferentes tipos de brocas basados en el material a taladrar y mostrados en la figura 1.5.

- Brocas para taladrar metal
- Brocas para taladrar madera
- Brocas para taladrar hormigones y paredes
- Brocas forstaer, se ocupa para realizar agujeros de gran tamaño



Figura 1.5: Tipos de brocas [9]

La broca helicoidal es la más utilizada porque es versátil y se puede utilizar en una variedad de materiales (madera, plástico, mampostería, cerámica y metal), este tipo de brocas presentan dos ranuras en espiral que facilitan el transporte de los fluidos de corte y la eliminación de viruta. A menudo este tipo de perforación genera rebabas en la entrada y salida del orificio por lo que las piezas tendrán que someterse a un desbarbado. Las partes principales de una broca son las mostradas en la figura 1.6, mismas que fueron descritas en los párrafos siguientes: [15]

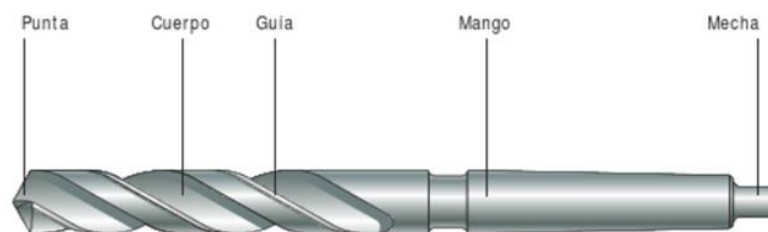


Figura 1.6: Partes de una broca helicoidal [9]

Mango: es la parte de la broca que se fija a la máquina taladradora mediante un portabrocas que puede ser cónico (forma de cono con dimensiones normalizadas) o cilíndrico (para diámetros menores a 16mm). [9]

Cuerpo: Es la parte central de la broca y está compuesto de ranuras, núcleo y guía

Punta: es donde se inicia el taladrado. Las diferentes brocas y su uso son determinadas mediante el ángulo de punta, pues mientras menor sea este ángulo más blando será el material sobre el cual debe trabajar la broca. Como ejemplo de ángulos de brocas de acuerdo al material tenemos: aluminio de 40 a 60 grados, plástico de 60 a 90 grados y aceros y fundiciones a 120 grados. En la figura 1.7 se observa el filo principal de corte, ángulo de broca y el filo transversal; estos tres elementos corresponden a las partes principales de la punta de una broca. [9]

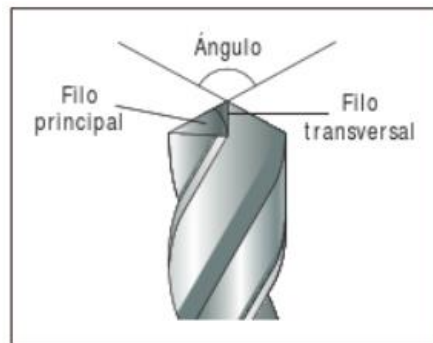


Figura 1.7: Partes de la punta de una broca [9]

1.1.7. Rugosidad

Una superficie libre de imperfecciones es una abstracción matemática, ya que cualquier superficie real presentará irregularidades originadas durante el proceso de fabricación. La calidad superficial de una pieza depende del material, del proceso de fabricación y principalmente de la función que debe realizar la pieza. [16]

Un índice muy utilizado en la calidad del producto y como requerimiento técnico en los productos mecánicos es la rugosidad superficial, pues definen el comportamiento de la pieza en lo que, a resistencia a la fatiga, resistencia a la corrosión, fricción superficial, reflexión de la luz, apariencia y costo se refiere. [16]

a) Terminología

La rugosidad superficial es el conjunto de irregularidades en una sección donde los errores de forma asociados a la variación de tamaño y las ondulaciones provocadas por la flexión, falta de homogeneidad, liberación de esfuerzos residuales, deformaciones por tratamiento térmico, vibraciones, etc. han sido eliminadas. [17]

La magnitud de aspereza se determina de acuerdo a R_t (máxima profundidad de rugosidad), por el valor medio de la rugosidad (R_a), o por la profundidad de rugosidad media (R_z); donde: [17]

R_t (mm): en el tramo de referencia se refiere a la distancia entre la cresta más alta y la depresión más profunda. [17]

R_z : dentro de la longitud básica, es la media de los valores absolutos de las cinco crestas más altas y de los cinco valles más bajos del perfil. En la figura 1.8 se visualiza las mediciones consideradas para el cálculo de R_z . [17]

$$R_z = \frac{\sum_{i=1}^5 |y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |y_{vi}|}{5}$$

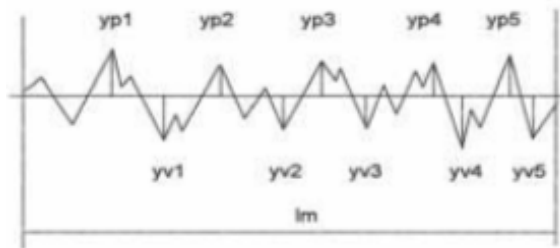


Figura 1.8: Medición de profundidad de rugosidad

R_a : dentro del tramo de medida es la media aritmética de los valores absolutos de las separaciones y del perfil rugoso de la línea media. La figura 1.9 muestra la medición del valor medio de rugosidad, y se observa los límites considerados para determinar R_a [17]

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

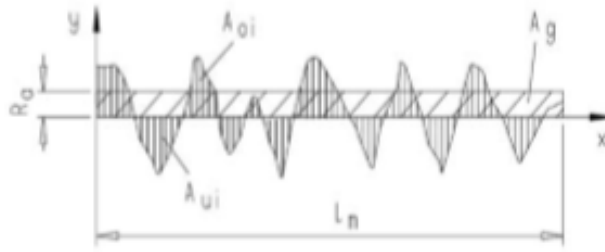


Figura 1.9: Medición del valor medio de rugosidad [16]

b) Clase de superficie

Considerando la función y la situación comercial a la que van a someterse las piezas de trabajo, los estándares de calidad superficial pueden aumentar o reducirse en función de la rugosidad. [18]

Debido al uso de máquinas de precisión se considera que en procesos de mecanizado el acabado superficial debe ser mejor al obtenido en procesos de fabricación (fundición, forja, etc.) [18]

En la tabla 1.1 se observa como las calidades superficiales pueden ser manifestadas mediante signos o símbolos.

Tabla 1.1: Calidades superficiales mostradas mediante signos o símbolos [18]

Estados superficiales	APLICACIÓN DE ESTADOS SUPERFICIALES				TABLA 1 . 8
	Clase de superficie	Símbolo	Rugosidad μ	Calidad de superficie	
Superrefinado		0,04 0,06	Especial	Superficies de medición, de los calibres de deslizamiento altamente fatigados, ajustes de precisión no desmontables.	
		0,1 0,16	Máxima		
Refinado. — Las estrías no son visibles a simple vista		0,25 0,4	Muy buena	Superficies de deslizamiento muy fatigadas, ajustes de precisión desmontables	
		0,6 1 1,6	Buena	Piezas fatigadas por flexión y torsión; ajustes de deslizamiento y presión	
Afinado. — Las estrías son visibles pero no perceptibles al tacto		2,5 4	Media	Ajustes de reposo sin transmisión de fuerzas, ajustes ligeros de presión de acero; superficies de deslizamiento poco fatigados, superficies sin mecanizar de piezas prensadas de precisión.	
		6 10			
Desbastado. Estrías visibles y perceptibles al tacto		25	Regular	Superficies desbastadas, superficies sin mecanizar de piezas prensadas y forja de precisión, fundición a presión	
Limpio. También preparado para desbastado		63	Baja	Cáscara de fundición colada en arena; piezas estampadas y de forja libre	
Sin rebabas			Muy baja	Piezas fundidas o forjadas	

En la tabla 1.2. se muestra rangos típicos de valores de rugosidad superficial que has sido tomados de diferentes procesos de fabricación. El tono más oscuro representa a la aplicación o valores más usados mientras que el tono más claro es usado en la aplicación menos frecuente. [18]

Tabla 1. 2: Rugosidad Promedio de acuerdo a los diferentes procesos de fabricación [18]

Clase de trabajo	Poco esmerado			Esmerado			Fino			Refinado			
Clase de rugosidad	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0,5
Símbolo													
Rugosidad en micrones	50	25	12,5	6,3	3,2	1,6	0,80	0,40	0,20	0,10	0,05	0,025	0,012
Rugosidad en micropulgadas	2000	1000	500	250	125	63	32	16	8	4	2	1	0,5
Oxicorte													
Aserrado													
Cepillado, limado													
Taladrado													
Fresado													
Brochado													
Escariado													
Mandrinado, torneado													
Rectificado cilíndrico													
Pulido cilíndrico													
Rectificado													
Alisado													
Bruñido													
Lapeado													
Superacabado													
Fundición en arena													
Fundición en coquilla													
Fundición a presión													
Forjado													
Extruido													
Trefilado en frío													

1.1.8. Delaminación

Uno de los daños más habituales en los materiales compuestos laminados es la delaminación, misma que consiste en la rotura del laminado a lo largo del plano que separa las distintas capas del compuesto. Dicha rotura se traduce en fallos del material debido a una reducción de la rigidez y capacidad resistente. [19]

En el taladrado la delaminación se entiende como un daño que tiene lugar en las secciones transitorias durante la perforación, y es controlado por la velocidad de rotación, velocidad de avance y ángulo de punta de la herramienta de perforación. [20]

El daño por delaminación puede ser cuantificado mediante la ecuación 9.

$$\varphi_D = \frac{D_{max}}{D_o} \quad Ec. 9$$

Donde D_{max} es el diámetro máximo que obtiene el observador de la zona de trabajo y D_o es el diámetro nominal del agujero. [21]

La fractografía de delaminación es mayormente consecuencia de la fractura de la matriz, y en menor cantidad de la fractura de la fibra, sin embargo, para obtener mayor información sobre el modo de fallo y la dirección de crecimiento que sigue la grieta es necesario hacer uso de microscopios electrónicos o escáneres que permitan obtener una fractografía más detallada. [22]

Delaminación de entrada: Debido a la fragilidad de la resina y al espesor de material de respaldo se presentan dos condiciones: la primera referida al uso de altas velocidades en donde el corte se genera instantáneamente antes que la delaminación se propague al orificio de salida y la segunda que emplea velocidades de rotación bajas, dando tiempo suficiente para que la delaminación se extienda a la salida de la perforación. [20]

Delaminación de salida: La capa inferior del material actúa como respaldo, en este caso las fibras pueden doblarse hacia afuera y romperse en el borde del orificio. [20] [5]

2.1.9. Humedad

Desde la introducción de los materiales compuestos en 1960 se presentaron una serie de anomalías que parecían insuperables, pero que con el desarrollo de escenarios de fabricación y operación se ha logrado manejar factores críticos que determinen la vida útil de la pieza, es así que para que una parte hecha con material compuesto sea aprobada debe someterse a los siguientes criterios de prueba: [13]

- Una carga en x con un factor de seguridad de 1.5
- Casos extremos de temperatura

- Casos extremos de humedad
- Posibles daños no detectables
- Material derivado de criterios permisibles

Usando específicamente la absorción de humedad como criterio de aceptación, se debe aclarar que los materiales compuestos son susceptibles a sufrir cambios en su rendimiento mecánico debido al ataque de humedad; es así que propiedades como la resistencia al aislamiento eléctrico, las pérdidas dieléctricas, la resistencia mecánica, el aspecto y las dimensiones pueden verse afectadas por el contenido de humedad. Los efectos sobre las propiedades antes mencionadas se deben en gran parte a la forma de la pieza, las propiedades del polímero y al tipo de exposición, ya sea por inmersión en agua o por exposición a alta humedad. [23] Además, es necesario tener en cuenta que en un material compuesto la matriz polimérica siempre absorberá humedad, mientras que las fibras generalmente se caracterizan por tener una humedad despreciable. [13]

1.1.9.1. Comportamiento de absorción por inmersión en agua

El ensayo tecnológico de absorción de humedad en materiales compuestos moldeados en frío consiste en tres probetas acondicionadas en un horno a 50°C durante 24 horas; posteriormente se procede a enfriarlas en un desecador y pesarlas; ‘a continuación, son colocadas en un recipiente con agua destilada a 23°C durante al menos 124 horas para luego ser retiradas, secadas y vueltas a pesar con la finalidad de conocer la variación de peso entre la probeta inicial y la sometida a condiciones de humedad. El porcentaje de agua absorbido por el material compuesto es determinado por el aumento de peso generado durante la inmersión y se calcula usando la ecuación 10: [24]

$$\text{Incremento de peso (\%)} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso acondicionado}}{\text{Peso acondicionado}} * 100 \quad \text{Ec. 10}$$

Si se cree que el material analizado posee ingredientes solubles, al valor obtenido anteriormente se debe añadir la pérdida de material soluble, calculado con la ecuación 11: [24]

$$\text{Pérdida material} = \frac{\text{Peso acondicionado} - \text{Peso reacondicionado}}{\text{Peso acondicionado}} * 100 \quad \text{Ec. 11}$$

Se considera que un material alcanza la saturación cuando el incremento de peso de las muestras equivale al 1% o 5mg, aunque en materiales que hacen uso de resina epoxi se aceptan valores de hasta el 1.3%. [13] [24]

En caso de que el ensayo se haya detenido sin estabilizarse el contenido de humedad en equilibrio (M_{∞}), puede expresarse referido a un contenido de resina del 40% v/v según la ecuación 12: [25]

$$M_{\infty}(\text{volumen de resina } 40\%) = M_{\infty} * \frac{40}{V_r} * \frac{(V_r * \rho_r) + (V_f * \rho_f)}{(40 * \rho_r) + (60 * \rho_f)} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

V_r: Volumen de resina del material compuesto (%)

V_f: Volumen de fibra del material compuesto (%)

ρ_r : Densidad de la resina (kg/m³)

ρ_f : Densidad de la fibra (kg/m³)

M_∞: última pesada de las 3 probetas ±2 veces la desviación estándar. [25]

Cuando el procedimiento empleado es a largo plazo se requiere presentar un gráfico de aumento de peso en función de la raíz cuadrada del tiempo, misma que es calculada a partir de la ecuación 13.

$$\frac{Mt}{M_{\infty}} = kt^n \quad \text{Ec. 13}$$

Donde k (contenido de agua en saturación) y n (difusión del agua en el plástico) son constantes que se obtienen al enfrentar $\ln(Mt)$ y $\ln(t)$.

1.1.10. Método de superficie de respuesta

La metodología de superficie de respuesta (MSR), es la estrategia experimental y de análisis que permite encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características de calidad de un producto. [26]

1.1.10.1. Región experimental y región de operabilidad

Se denomina *región experimental* al espacio delimitado por los rangos de experimentación utilizados con cada factor, mientras que la región de *operabilidad* está definida por el conjunto de condiciones donde el equipo o proceso puede ser operado. [26] El MSR involucra tres aspectos:

- **Diseño:** para optimizar un proceso se debe aplicar el diseño de experimentos, en particular el modelo de regresión lineal múltiple. [26]
- **Modelo:** utiliza los elementos del análisis de regresión lineal múltiple, los mismos son: parámetros del modelo, modelo ajustado, significancia del modelo, prueba de falta de ajuste, residuos, predichos, intervalos de confianza para predichos y coeficiente de determinación. [26]
- **Optimización:** con el uso de técnicas matemáticas se obtiene el punto óptimo de un modelo ajustado. [26]

1.1.10.2. Mejor tratamiento y punto óptimo

Para conocer el mejor tratamiento es necesario considerar solo los niveles utilizados en el estudio experimental y reconocer la mejor combinación de los factores estudiados; mientras que el punto óptimo se refiere a la mejor combinación en la región de operabilidad. En busca del punto óptimo se distinguen tres etapas: [26]

- **Cribado:** Cuando se tiene más de seis u ocho factores que influyen en la variable de interés es necesario optimizar el proceso. [26]
- **Búsqueda de primer orden:** se aplica cuando se tiene menos de cinco factores que influyen en la variable de respuesta [26]
- **Búsqueda de segundo orden:** cuando se detecta la presencia de una curvatura o cuando la superficie es más complicada que un hiperplano se corre un diseño de segundo orden para caracterizar mejor la superficie y modelar la curvatura. [26]

1.3.OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General:

- Analizar el proceso de taladrado del material compuesto de matriz polimérica reforzada con cascarilla de arroz

1.3.2. Objetivos específicos:

- Definir los parámetros experimentales que abarquen los factores y variables requeridos para el estudio.
- Manufacturar un material compuesto con una relación de 83% de matriz polimérica y 17% de cascarilla de arroz.
- Evaluar la calidad superficial de acuerdo a la rugosidad y al factor de delaminación generados por el taladrado.
- Analizar los resultados obtenidos para determinar los parámetros de corte óptimos para su futura utilización.
- Determinar la tasa relativa de absorción de agua del material compuesto.

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. MATERIALES

2.1.1. Cascarilla de arroz

En Ecuador existen 1066 piladoras registradas, en su mayoría están ubicadas en las provincias de Guayas y Los Ríos, sin embargo, la provincia de Guayas cuenta con 23 cantones arroceros, que generan el 71,83% de la producción nacional, en donde de acuerdo a datos generados por la alcaldía de Daule, este cantón cuenta con una producción anual de 25 a 50 hectáreas, lo que lo hace acreedor al título de capital arroceros y lo convierte en el mayor productor de arroz del país con al menos dos cosechas al año. [27]

Pese a que año con año los cultivos de arroz se ven afectados por plagas, desastres naturales, y costos de producción; en la tabla 2.1 se evidencia un aumento progresivo, en la cantidad de arroz cosechado, lo que se acredita a un aumento en la demanda de este producto ya sea para consumo nacional o de importación. [27]

Tabla 2. 1: Producción anual de arroz en Ecuador [27]

Años	Proyección producción de arroz seco/limpio (Tm)
2011	1'195.852
2012	1'226.115
2013	1'256.378
2014	1'286.641
2015	1'316.904

Durante el pilado se obtiene montañas de cascarilla de arroz que de acuerdo al MAGAP (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca), el 35% es utilizada en criaderos de animales y actividades florícolas, mientras que el 65% es quemado dentro y fuera de la piladora, arrojado a ríos y carreteras, o se pierde a causa del viento. [27]

En el proceso de obtención del grano se obtiene los subproductos mostrados en la Tabla 2.2

Tabla 2. 2: Residuos generados durante el proceso de obtención del arroz [27]

Descripción	Porcentaje (%)
Arroz pilado entero (18% pulido)	63
Arrocillo + yelem	5
Polvillo	8,5
Cascarilla	22
Impurezas	1,5

Sus características pueden variar de acuerdo al tipo de arroz, pero con una media aritmética generada entre las principales marcas se obtiene los datos mostrados en la tabla 2.3.

Tabla 2. 3: Propiedades de la cascarilla de arroz [27]

Característica	Descripción	Medida
Dimensiones	Las dimensiones del grano de arroz no son únicas	Longitud: 4 - 14mm Ancho: 2 – 4 mm Espesor: 50 μ m
Peso	Cuando la cascarilla está seca	2,944 – 3,563 mg
Densidad	Posee densidades bajas, lo que se visualiza en las grandes áreas ocupadas para su almacenamiento	Compactada: 1,6 gr/cm ³ Sin compactar: 1,42 gr/cm ³ Real: 1,57 gr/cm ³ Aparente: 0,115 gr/cm ³
Porosidad	Cantidad de poros o huecos presentes en la cascarilla	Compactada: 26% Sin compactar: 54%
Humedad	La humedad del ambiente afecta el poder calorífico	Humedad: 8,7 % Retención de agua: 132 gr/lt
Capacidad calorífica	Cantidad de calor desprendido al quemarse una cantidad de masa.	15 MJ/kg
Porcentaje de cenizas	Pasada la combustión es la cantidad de materia no combustible en cada Kg de masa	14,83 – 23,94%
Composición Química	Carbono: 39,15% Hidrógeno: 5,2% Nitrógeno: 0,6%	Oxígeno: 37,2% Azufre: 0,1% Cenizas: 17,8%

La composición principal de la cascarilla de arroz son las fibras, celulosa y minerales, pero es la concentración de hasta el 20% de sílice en cascarilla cruda y el 90% en cascarilla quemada lo que limita su uso en la producción de alimentos concentrados, sin embargo, esta limitación se ve mejorada al presentar ventajas productivas en el ámbito de la disponibilidad, bajo costo de adquisición y facilidad de procesamiento. [28]

2.1.2. Resina poliéster

La resina poliéster se presenta en forma de plástico termoestable, por lo que requiere de un agente catalizador que le permita pasar de estado líquido a sólido; su aplicación principal está dirigida a la fabricación de artículos laminados con fibra de vidrio usando un método manual, por aspersión o por compresión. Para asegurar el curado el porcentaje de catalizador no debe estar por debajo del 1% ni exceder el 2,4%; mientras que la temperatura de trabajo debe ser superior a los 16°C [29]

Algunas de las principales características de la resina poliéster se muestran en la tabla 2.4, sin embargo, no deben ser usadas como criterio de aceptación o rechazo, pues varían de acuerdo a las condiciones y tiempo de almacenamiento, variación de temperatura, uso y método. [29]

Tabla 2. 4: Propiedades típicas de la resina poliéster [29]

Variable	Valor mínimo	Valor máximo
Tiempo de gelado	10 min	15 min
Tiempo de curado	22 min	27 min
Temperatura exotérmica	140 °C	160°C
Tixotropía	2	-
Estabilidad a 120°C	1.5 horas	-
Apariencia	Opalescente	Opalescente
Densidad	1,1 gr/cm ³	1,2 gr/cm ³
Viscosidad 25°C	150 cP	750 cP
Dureza Barcol	30	50
Resistencia Tracción	50 MPa	75 MPa
Resistencia Flexión	80 MPa	150 MPa
Módulo de Flexión	3500 MPa	4500 MPa

2.1.3. Resina epoxi

La resina epoxi o poliepóxido, es un polímero termoestable que resulta de una reacción entre la epíclorohidrina y el bisfenol – A (acetona y fenol), mismos que previo a su utilización deben ser mezclados para permitir la solidificación. Durante el curado el peso molecular se incrementa debido a la formación de enlaces cruzados que impiden su fundición. Las principales características de la resina epoxi pueden ser resumidas en la tabla 2.5, en donde se muestra propiedades como el tiempo de gelado y curado, la tixotropía que es la propiedad por la cual la resina no se dispersa o fluye en superficies verticales, la dureza Barcol que es una medida del grado de curado del plástico, la solidez a la luz se presenta en una escala del 1 al 8 en donde el material es expuesto a degradación superficial y donde después del número 7 el material no sufrirá cambios en al menos 100 años, el porcentaje de absorción de agua y la viscosidad Brookfield. [30]

Tabla 2. 5: Propiedades típicas de la resina epoxi [30]

Variable	Valor mínimo	Valor máximo
Tiempo de gelado (2% MECK)	10 min	20 min
Tiempo de curado (2% MECK)	40 min	90 min
Tixotropía	>4	-
Vida de almacén (Bidón cerrado a 20°C)	-	2 meses
Resistencia a la tracción	60 MPa	70 MPa
Alargamiento a la rotura	2 %	3%
Módulo de flexión	3000 MPa	4000 MPa
Dureza Barcol	40 grados	50 grados
Solidez a la luz (Escala de azules)	5	7
Absorción de agua	-	<0,2%
Viscosidad Brookfield	3000 cP	15000 cP

Una característica principal de la resina epoxi es el control del curado, pues no se produce si la relación Resina – Endurecedor es incorrecta; a temperatura ambiente se consigue un curado de entre el 80 y 90% teniendo que someterse a un poscurado en horno o esperar semanas hasta alcanzar un curado completo. [30]

El 75 % de las resinas empleadas en el mercado son poliéster esto debido a su costo y fácil manejo, sin embargo, las resinas epoxi presentan mayor fiabilidad, un ejemplo sencillo es la resistencia al agua, pues, aunque ambas resinas trabajan adecuadamente, sobre y bajo el agua, la epoxi tiene mayor resistencia a la humedad mientras que la poliéster tiende a absorber agua más rápidamente. En la tabla 2.6 se muestran las diferencias más destacadas entre este tipo de resinas.

Tabla 2. 6: Diferencias entre la resina poliéster y epoxi [31]


	Resina Poliéster	Resina Epoxi
Catalizador	Utilizan entre el 1 y 2,5 de peróxido orgánico	Usan aminas como endurecedores
Contracción	Entre el 6 y 8%	Poseen baja contracción, casi nula
Resistencia a la adherencia	0,7 MPa	13,8 MPa
Precio	\$3.58 el kg	\$ 40 el kg
Vida útil	18 – 24 meses	Mínimo 2 años
Tiempo de curado	6 – 8 horas	5 – 7 días
Tiempo de trabajo	20 – 30 min	0,5 – 6 horas
Materiales de trabajo	Fibra de vidrio	Fibra de vidrio, de carbono, y aeroespacial
Principales aplicaciones	Fabricación de composites, y revestimientos	Industria náutica

2.1.2. MAQUINARIA Y HERRAMENTAL

Los ensayos se realizarán en los Laboratorios de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, haciendo uso de una Fresadora CNC Travis modelo M – 1000, considerada como una máquina automatizada de alta precisión y rendimiento que posee un cambiador random (tipo sombrilla) que permite un peso y longitud de herramienta máximo de 8 kg y 300mm respectivamente y un control numérico Fanuc, además de otras especificaciones técnicas mostradas en la tabla 2.7. Es importante mencionar que al tratarse de una máquina de alta precisión los programas ingresados deben ser correctamente depurados y revisados, caso contrario podría afectar a las herramientas o superficie de trabajo; además se debe mantener limpia la zona de mecanizado y el área de eliminación de viruta.

Tabla 2. 7: Especificaciones Técnicas de la Fresadora CNC M - 1000

Nombre del equipo	Fresa CNC		
Código	Auto-029	Fecha de adquisición:	2014

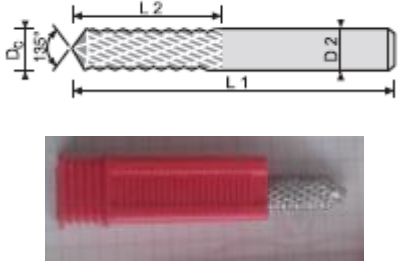
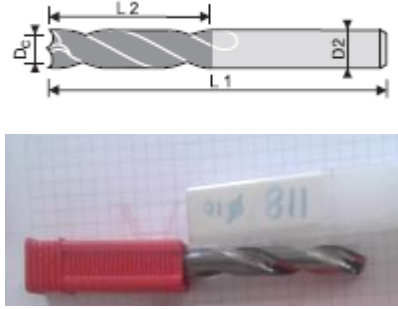
Ubicación:	
Área mecanizado	
Modelo	
M-1000:	
Fabricante:	
TRAVIS	
Voltaje	
220 V	
Potencia:	
15- 21 hp	
Revoluciones	
0-8000rpm	

Lista de componentes principales		
Nº	Descripción del componente	Características
1	Unidad de mantenimiento	Dispone de rodamientos con contacto angular (P4) en el husillo, sistema de fijación de herramienta neumático. Lubricación automática. Funciona a 3, 4 y 5 ejes, dispone de un cambiador del tipo random, y de un control numérico Fanuc.
2	Porta herramientas	BT - 40
3	Cambio de herramienta	Capacidad: 20 – 24 Tipo: Ramdon
4	Fresas	Peso máximo de la herramienta: 8Kg Tamaño de la herramienta: 300 mm

Fuente: Autor

Las herramientas de trabajo requeridas por el ensayo fueron seleccionadas del catálogo CERIN en función del material a mecanizar (Material Compuesto) e importadas desde España a través de la empresa ERI TOOLING SYSTEMS, S.L. La descripción del herramental se muestra en la tabla 2.8, donde de manera sintetizada observamos las dimensiones, la configuración de los dientes y el material sobre el cual las brocas pueden trabajar sin afectar a su correcto desempeño.

Tabla 2. 8: Especificaciones del herramental usado en la máquina CNC

Designación	Descripción	Ø	Ilustración
Fr. Vitreosina	Dentado Diamante con corte Frontal para material compuesto <ul style="list-style-type: none"> • L1 = 72 mm • L2 = 30 mm • Dc = 10 mm • D2 = 10 mm 	10 mm	
Broca para kevlar	Broca para fibra reforzada. <ul style="list-style-type: none"> • L1 = 89 mm • L2 = 48 mm • Dc = 10 mm • D2 = 10 mm 	10 mm	


Fuente: Autor

2.1.3. EQUIPOS

El rugosímetro Mitutoyo SJ-210 fue adquirido por la Universidad Técnica de Ambato y específicamente por la carrera de Ingeniería Mecánica en 2018. Este equipo permite realizar mediciones en prácticamente cualquier superficie de trabajo, siempre y cuando está se encuentre libre de imperfecciones como porosidades, incrustaciones o grietas que detengan la medición, den datos erróneos o en el peor de los casos afecten a la punta del palpador. Es un equipo portátil capaz de trabajar independientemente con la red eléctrica. Algunas especificaciones técnicas que se deben tomar para el cuidado y manipulación del equipo son mencionadas en la tabla 2.9.

Antes de efectuar las mediciones de rugosidad se calibra el equipo con la galga de calibración que debe estar cerca de $2,94 \mu\text{m}$ (Ra), para lo cual se debe establecer el módulo de medición (λ_c), velocidad y fuerza de medición. Los parámetros a medir son seleccionados de acuerdo a las necesidades del usuario y a la información recolectada.


Tabla 2. 9: Especificaciones Técnicas del Rugosímetro Mitutoyo SJ - 210

Rango de medición	17,5 mm	
Velocidad de medición	0,25; 0,5; 0,75; 1 mm/s	
Fuerza de medición	0,75 mN	
Palpador con radio de punta	2 micras	
Detector	Ángulo cónico 60°	
Suministro de energía	9V -500Ma con adaptador	
Rango de temperatura	5 – 40 °C	

Fuente: Autor

El microscopio digital USB está formado por componentes electrónicos de alta calidad que amplían la imagen al ir conectado a una computadora y ejecutar un software de calibración y medición. La tabla 2.10 muestra especificaciones técnicas que deben ser consideradas para la conexión y desempeño del microscopio.

Tabla 2. 10: Especificaciones técnicas del Digital USB microscopio

Número de modelo	1000x	
Material	Plástico	
Tecnología del sensor	CMOS	
Optical zoom	>40x	
Tubo de enfocador	Monocular	
Fuente de alimentación	Puerto USB (5VCC)	
Requisitos del sistema	Computadora Pentium con 700 MHz y más de 20 m HD espacio de CD ROM conductor 128 MB de RAM, directo X tarjeta VGA	

Fuente: Autor

Los ensayos de humedad se desarrollaron en la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos de la Universidad Técnica de Ambato en donde se hace uso de una balanza Mettler Toledo con 0,001 gr de precisión, en cuanto a las dimensiones y condiciones de trabajo se muestra una breve descripción en la tabla 2.11.

Tabla 2. 11: Especificaciones Técnicas de la Balanza Mettler Toledo

Material	Aluminio fundido resistente a productos químicos	
Dimensiones de alojamiento	19,4 x 9,9 x 34,7 cm	
Capacidad	320 gr	
Precisión	0,001 gr	
Display	Monitor de alto contraste (HCD)	
Tiempo de estabilización	1 segundo	
Energía	120 VAC	

Fuente: Autor

2.2. METODOLOGÍA

2.2.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN

a) Descriptiva: La investigación es descriptiva porque especifica las propiedades y características propias del taladrado y pruebas de humedad, basada en una serie de datos tomados y analizados de acuerdo a variables previamente planteadas.

b) Explicativa: Se empleó una investigación explicativa, orientada a declarar las causas de un proceso, en este caso el taladrado, además de ser una investigación de tipo cuantitativa que analiza los datos obtenidos en el proceso y expone los resultados en tablas, gráficos, figuras y otros métodos de obtención de información.

c) Exploratoria: Se eligió una investigación exploratoria porque el mecanizado en materiales compuesto elaborados a base de resina polimérica y cascarilla de arroz es un tema poco tratado y del cual se tiene información limitada; presentando dudas y problemas que deben ser resueltos durante el desarrollo del trabajo investigativo.

d) Bibliográfica: De acuerdo a la orientación del trabajo investigativo es necesario buscar información en libros, artículos y revistas técnicas, que aporten conocimiento y faciliten el desarrollo de la investigación.

2.2.2. MÉTODO

a) Población

Para la población de estudio se empleará un material compuesto elaborado a base de resina polimérica (epoxi o poliéster) en un 83% + 17% de cascarilla de arroz con corte longitudinal y usando el proceso de fabricación por compresión en moldes de metal. Las perforaciones con taladro se realizarán mediante dos tipos de brocas y usando parámetros de corte recomendados en artículos y estudios anteriores.

b) Muestra

Para llevar a cabo esta etapa es necesario definir las variables de estudio, para este caso son cuatro, las mismas han sido sintetizadas en la tabla 2.12 mostrando factores y niveles altos y bajos de estudio:

Tabla 2. 12: Factores y niveles usados en el diseño de superficie de respuesta

FACTORES	NIVELES		Unidades
	Nivel bajo	Nivel alto	
Velocidad de husillo (N)	800	2400	rpm
Velocidad de avance (Vf)	120	300	mm/min
Tipo de broca	- Con recubrimiento de diamante - Para Kevlar		
Tipo de material	- Poliéster - Epoxi		

Fuente: Autor

- **Velocidad de husillo:** en la referencia [2], las velocidades recomendadas para mecanizar materiales compuestos con fibras naturales esta entre 710 y 2000 rpm, sin embargo, se trabaja con velocidades entre 800 y 2400 rpm con la finalidad de reducir la delaminación pues en la referencia [3] se menciona que a mayor velocidad de husillo menor delaminación.
- **Velocidad de avance:** como fundamentación se tomó la referencia [3] en donde se ocupan velocidades de entre 100 y 300 mm/min; con una modificación a 120 mm/min para reducir el desgaste de la herramienta.

- **Tipo de resina:** como matriz se usaron resina poliéster y epoxi, con la finalidad de realizar una comparación entre dos materiales compuestos elaborados con un refuerzo de cascarilla de arroz.
- **Tipo de broca:** mencionando las referencias [1] [2] [3], el tipo de broca toma importancia en la delaminación y rugosidad generada, por lo que se trabajó con una broca con dentado de diamante de corte frontal de diámetro 10mm, ya que debido a sus ángulos de corte hacia arriba y hacia abajo el trabajo realizado puede ser rectificado mediante una correcta eliminación de la viruta, además de trabajar bien con resinas epoxi y materiales compuestos; otra de las herramientas seleccionadas es una broca para kevlar de tres puntas y 10 mm de diámetro, esta broca usa la punta central como apoyo de la herramienta mientras que las otras dos eliminan el material de la periferia. Ambas brocas son adecuadas para trabajar con materiales elaborados en capas ya que aseguran un buen acabado debido a su configuración.

Para delimitar el número de muestras en el taladrado se usó el diseño experimental denominado superficie de respuesta, en donde se ingresaron cuatro variables de estudio: la velocidad de husillo, velocidad de avance, tipo de resina y tipo de broca; dando como resultado 52 perforaciones que deben cumplir con los parámetros antes mencionados y de los cuales se realizara dos réplicas para la obtención de resultados más fiables, en otras palabras debe efectuarse un total de 104 perforaciones en las planchas de material compuesto.

La tabla 2.13. muestra los tratamientos o combinaciones de trabajo formadas de acuerdo a los factores y niveles preestablecidos y mencionados con anterioridad.

Tabla 2. 13: Diseño experimental de superficie de respuesta

Nº	Resina	Velocidad de husillo N (rpm)	Velocidad de avance Vf (mm/min)	Broca de diamante	Broca de Kevlar
1	Epoxi	468,63	210	1	1
2	Epoxi	800	120	1	1
3	Epoxi	800	300	1	1
4	Epoxi	1600	82,72	1	1
5	Epoxi	1600	210	1	1
6	Epoxi	1600	210	1	1
7	Epoxi	1600	210	1	1
8	Epoxi	1600	210	1	1
9	Epoxi	1600	210	1	1
10	Epoxi	1600	337,28	1	1
11	Epoxi	2400	120	1	1
12	Epoxi	2400	300	1	1
13	Epoxi	2731,37	210	1	1
SUMATORIA PARCIAL				13	13
TOTAL				26	
RÉPLICAS				2	
Corridas experimentales en resina epoxi				52	
14	Poliéster	468,63	210	1	1
15	Poliéster	800	120	1	1
16	Poliéster	800	300	1	1
17	Poliéster	1600	82,72	1	1
18	Poliéster	1600	210	1	1
19	Poliéster	1600	210	1	1
20	Poliéster	1600	210	1	1
21	Poliéster	1600	210	1	1
22	Poliéster	1600	210	1	1
23	Poliéster	1600	337,28	1	1
24	Poliéster	2400	120	1	1
25	Poliéster	2400	300	1	1
26	Poliéster	2731,37	210	1	1
SUMATORIA PARCIAL				13	13
TOTAL				26	
RÉPLICAS				2	
Corridas experimentales en resina poliéster				52	

Fuente: Minitab® Statistical Software

c) Prueba de Humedad

El número de muestras para la prueba de humedad se seleccionó de acuerdo a la norma ASTM D570, en donde se manifiesta el desarrollo de tres probetas de 50.8mm de diámetro y 3.2 ± 0.3 mm de espesor para la ejecución del ensayo. Tomando en cuenta los dos tipos de resinas debe realizarse un total de 6 probetas, esto puede observarse de manera sintetizada en la tabla 2.14. (ANEXO 1)

Tabla 2. 14: Número de probetas usadas en la prueba de humedad

Nº	Resina	Humedad
1	Epoxi	3
2	Poliéster	3
TOTAL		6

Fuente: Autor

2.2.3. HIPÓTESIS

La variación de los parámetros de corte, influyen en la calidad superficial del taladrado.

2.2.4. SEÑALAMIENTO DE VARIABLES DE LA HIPÓTESIS

2.2.4.1. Variable Independiente

Parámetros de corte (Velocidad de corte y de avance)

2.2.4.2. Variable Dependiente

Calidad superficial

2.2.4.3. Termino de relación

Influyen

2.2.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 2. 15: Variable Independiente (Parámetros de corte)

Concepto	Categoría	Indicadores	Índice	Herramienta
El taladrado es un proceso de fabricación que facilita la unión de dos o más elementos, pues mediante una combinación entre los movimientos rotativos y lineales se realizan agujeros de tipo cilíndrico	Parámetros de la máquina	Velocidad de avance Velocidad del husillo.	<ul style="list-style-type: none"> • Baja, media, alta • Baja, media, alta 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación directa • Ficha de datos • Bibliografía
	Herramienta de taladrado	Tipo de broca	<ul style="list-style-type: none"> • Broca con recubrimiento de diamante • Broca para kevlar 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación • Ficha técnica • Catálogo de producto
	Material Compuesto	Tipo de Resina	<ul style="list-style-type: none"> • Epoxi • Polimérica 	<ul style="list-style-type: none"> • Observación • Bibliografía

Fuente: Autor

Tabla 2. 16: Variable Dependiente (Calidad Superficial)

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Herramienta
Se denomina calidad superficial al acabado obtenido por las piezas una vez terminado el proceso de elaboración; adquiere importancia al mostrar el comportamiento de la pieza ante los esfuerzos a los que se ve sometido.	Delaminación	<ul style="list-style-type: none"> Factor de delaminación (Fd) 	$Fd = \frac{\varnothing_{nominal}}{\varnothing_{daño\ max}}$	<ul style="list-style-type: none"> Recolección de datos mediante fichas Aplicación de fórmulas
	Rugosidad	<ul style="list-style-type: none"> Rugosidad media (Ra) 	Media aritmética de las rugosidades parciales (µm)	<ul style="list-style-type: none"> Observación directa Rugosímetro
	Microscopia	<ul style="list-style-type: none"> Microscopia electrónica 	Ampliación fotográfica del daño generado en el proceso de taladrado	<ul style="list-style-type: none"> Observación Captura de imágenes con un microscopio
	Prueba de humedad	<ul style="list-style-type: none"> Incremento de peso 	$IP (\%) = \frac{P. Hum - P. Acon.}{P. Acon.} * 100$	<ul style="list-style-type: none"> Observación Ficha de recolección de datos Balanza de 1 mg de precisión.

Fuente: Autor

2.2.6. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

2.2.6.1. Elaboración de probetas

a) Dimensionamiento de planchas de material compuesto

Tomando como referencia la tesis realizada por el Ing. Lalaleo Fernando [32], en la que se caracterizó el material de estudio para diferentes usos en el área de la construcción y específicamente para reemplazar el cielo raso importado de yeso; entre los parámetros evaluados y las combinaciones realizadas se determinó que el mejor material era el compuesto por matriz poliéster y cascarilla de arroz en una relación volumétrica de 83% matriz y 17% refuerzo con una estratificación por compresión.

Como adicional a este estudio se ha decidido realizar una comparación de propiedades de manufactura entre el material antes mencionado y una variación de resina poliéster a epoxi, conservando las condiciones y parámetros de elaboración.

Considerando que deben realizarse 52 perforaciones de 10mm de diámetro en cada plancha de material compuesto se define una configuración de 13 x 4 perforaciones, con una separación de 15 mm; más un adicional de 5mm a los extremos para sujeción de la plancha a la mesa de trabajo, necesitando así un área de trabajo mínima de 350 x 125 mm. Teniendo en cuenta lo antes mencionado se decide construir un molde de 360 x 135mm y 10 mm de espesor.

En la figura 2.1 se muestra las dimensiones de la plancha de trabajo y la configuración de las perforaciones

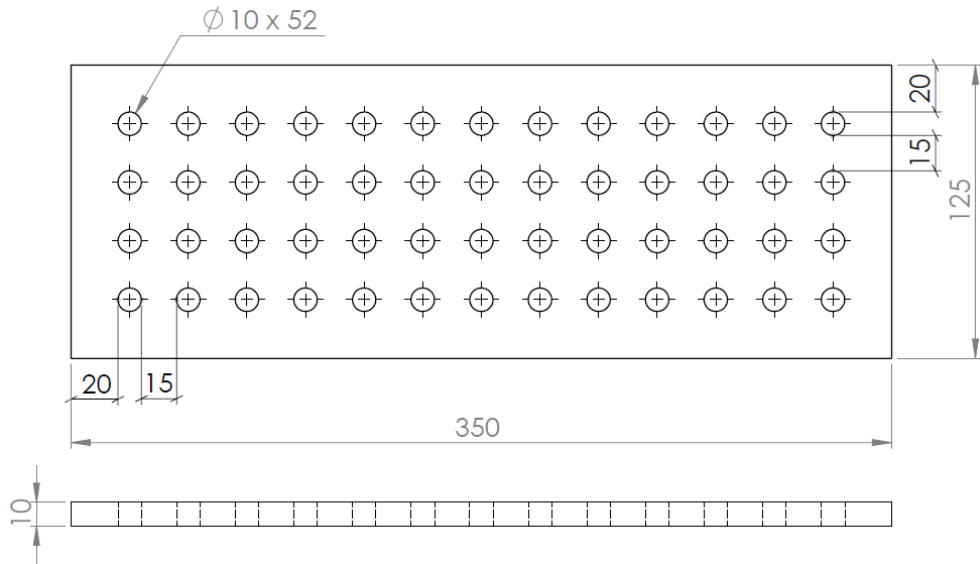


Figura 2. 1: Dimensiones de la plancha de trabajo
Fuente: Autor

b) Cálculos de masa y volumen

El volumen total que debe tener la probeta es el siguiente:

$$V_{requerido} = 360 \times 135 \times 10 = 486000 \text{ mm}^3$$

$$V_{requerido} = 486 \text{ cm}^3$$

Determinado el volumen requerido por el molde, se estima la cantidad de cascarilla de arroz, matriz polimérica (poliéster o epoxi) y MECK, este último esta entre el 1% y 2% del volumen de resina poliéster, y el 20% de volumen de resina epoxi.

Datos de entrada:

Los subíndices f y m se refieren respectivamente al refuerzo y matriz. A los valores calculados se les adicionara un 10%, correspondiente al aumento por perdidas.

- Densidad de la resina poliéster: $1,27 \text{ gr/cm}^3$
- Densidad de la resina epoxi: $1,3 \text{ gr/cm}^3$
- Densidad de la cascarilla de arroz: $0,75 \text{ gr/cm}^3$
- Fracción volumétrica de la matriz (f_m): 83%
- Fracción volumétrica del refuerzo (f_f): 17%

Tabla 2. 17: Cálculo de fracción volumétrica del material compuesto

Cálculos para resina poliéster	Cálculos para resina epoxi
<p>a) Matriz</p> $V_m = V_{requerido} * f_m$ $V_m = 486 \text{ cm}^3 * 83\%$ $V_m = 403,38 \text{ cm}^3 + 10\% \text{ de perdidas}$ $V_m = 403,38 \text{ cm}^3 + 40,338 \text{ cm}^3$ $V_m = 443,72 \text{ cm}^3 \approx \mathbf{444 \text{ cm}^3}$	
$m_m = V_m * \rho_m$ $m_m = 444 \text{ cm}^3 * 1,27 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $m_m = 563,88 \text{ gr} \approx \mathbf{564 \text{ gr}}$	$m_m = V_m * \rho_m$ $m_m = 444 \text{ cm}^3 * 1,3 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $m_m = 577,2 \text{ gr} \approx \mathbf{578 \text{ gr}}$
<p>b) MECK (1%)</p> $V_{Meck} = V_m * 1\%$ $V_{Meck} = 444 * 1\%$ $V_{Meck} = \mathbf{4,44 \text{ cm}^3}$ $m_{Meck} = m_m * 1\%$ $m_{Meck} = 564 * 1\%$ $m_{Meck} = \mathbf{5,64 \text{ gr}}$	<p>b) MECK (20%)</p> $V_{Meck} = V_m * 20\%$ $V_{Meck} = 444 * 20\%$ $V_{Meck} = \mathbf{88,8 \text{ cm}^3}$ $m_{Meck} = m_m * 20\%$ $m_{Meck} = 578 * 20\%$ $m_{Meck} = \mathbf{115,6 \text{ gr}}$
<p>c) Refuerzo</p> $V_f = V_{requerido} * f_f = 486 \text{ cm}^3 * 17\% = \mathbf{82,62}$ $V_m = 82,62 \text{ cm}^3 + 10\% \text{ de perdidas}$ $V_m = 90,88 \text{ cm}^3 \approx \mathbf{91 \text{ cm}^3}$ $m_m = V_m * \rho_m = 91 \text{ cm}^3 * 0,75 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$ $m_m = 68,25 \text{ gr} \approx \mathbf{69 \text{ gr}}$	

Fuente: Autor

Tabla 2. 18: Resumen de Fracciones Volumétricas de trabajo

Resina Compuesto	Poliéster		Epoxi	
	Volumen (cm ³)	Masa (gr)	Volumen (cm ³)	Masa (gr)
Matriz	444	564	355,2	462,4
Refuerzo	91	69	91	69
MECK	4,44	5,64	88,8	115,6

Fuente: Autor

c) Preparación de la cascarilla de arroz

Con la finalidad de asegurar la correcta distribución de la cascarilla de arroz en el molde y de evitar la producción de burbujas de aire acumuladas en el interior de la cascarilla es necesario realizar cortes longitudinales en toda la masa requerida; para esto se recurrió al proceso mencionado en la tabla 2.19.

Tabla 2. 19: Preparación de la cascarilla de arroz






Nº	Actividad	Descripción	Fotografía
1	Obtener materia prima	La cascarilla se obtuvo de la provincia del Guayas donde es tratada como residuo de los procesos agrícolas para la preparación del arroz.	
2	Preparar la cascarilla	Es necesario triturar la cascarilla hasta el punto que conserve su forma alargada, pero elimine los residuos de arroz y su forma cerrada; para esto se requiere de dos planchas de acero y un rodillo de cemento con el cual se realizó de 10 a 15 pasadas hasta tener el efecto deseado.	
3	Limpieza y pesaje	Con un tamiz N° 12 se retiró los residuos menores como piedras, granos de arroz y cascarillas muy finas y usando una balanza se pesa la cantidad necesaria	

Fuente: Autor

d) Construcción del molde

Con la finalidad de reducir la porosidad y mejorar la adherencia y compactación entre el refuerzo y la matriz, es necesario construir un molde metálico de acuerdo a la tabla 2.20 y respetando las dimensiones interiores mostradas en la figura 2.1

Tabla 2. 20: Construcción de un molde de dimensiones interiores 360 x 135 x 10mm







N°	ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA
1	Obtener materia prima	Es necesario comprar: <ul style="list-style-type: none"> • 2 planchas de acero de 420 x 195 x 6 mm • 1,3 m de platina, de 30mm de ancho y 10mm de espesor • 10 tornillos y tuercas de ¼" 	
2	Dimensionar, cortar y soldar el marco	Cortar 2 tramos de 420 mm y 2 de 195 mm con un ángulo de 45° en el extremo de cada platina y proceder a soldar en los 4 lados y posteriormente realizar un pulido.	
3	Perforar los agujeros para colocar los pernos	Realizar 10 agujeros en una de las planchas de acero y replicar las perforaciones en la segunda plancha y en el marco.	
4	Ensamblar el conjunto	Ensamblar la base, marco y tapa para comprobar la concentricidad de las perforaciones y el ajuste de los pernos.	
5	Lijar la superficie	Utilizar lijas de grano 100, 250 y 400 para eliminar impurezas e imperfecciones propias del material que afecten el área de trabajo.	

Fuente: Autor

e) Fabricación y curado de probetas

Para la compra de resinas y catalizadores (Meck) se acudió a la empresa Masterfibra, ubicada en la entrada a Macasto, en donde a más de la compra se obtuvo una guía práctica del uso de resinas y elaboración de probetas.

Tabla 2. 21: *Fabricación de material compuesto*

N°	Actividad	Descripción	Fotografía
1	Adquirir los materiales	Se requiere adquirir: <ul style="list-style-type: none"> • Resina poliéster y epoxi • Catalizador • Cera desmoldante • Cascarilla de arroz • Equipo de seguridad • Molde metálico • Recipientes plásticos 	
2	Preparar el molde	Aplicar cinco capas de cera desmoldante en la base y tapa del molde. Esperar cinco minutos entre cada pasada.	
3	Preparar la resina con el MECK y la cascarilla	Con los pesos calculados en la tabla 2.13 mezclar la resina con MECK y adicionar la cascarilla en pequeñas cantidades, hasta conseguir una mezcla homogénea	
4	Moldear el compuesto	Colocar la mezcla en el molde y distribuirla apisonando levemente para eliminar el exceso de aire y evitar zonas con carencia de material.	
5	Tapar el molde	Ubicar la tapa sobre la base y sellarla con pernos y tuercas para ejercer presión sobre el material.	
6	Desmoldar	Pasadas 24 horas se retira la tapa y el marco, y con ayuda de una espátula levantar lentamente la plancha hasta desprenderla por completo del molde	

Fuente: Autor

3.4.4. Prueba de humedad

Como se mencionó en el apartado 3.2.2 es necesario generar tres probetas circulares de 50,8mm de diámetro, sin embargo, por facilidad de mediciones y para asegurar las dimensiones de la probeta se ha decidido trabajar con probetas cuadradas de 51 mm; entonces necesitamos un área mínima de trabajo de 156 x 52mm; en donde una vez desmoldada la plancha, se procederá a cortar las probetas con una amoladora, en donde el 1mm restante será consumido por el ancho de disco de la amoladora y los bordes serán igualados con lija de agua número 100.

En la tabla 2.22 se muestra las fracciones volumétricas requeridas para la correcta elaboración de probetas. Los datos han sido representados tanto en volumen como en masa para facilidad de interpretación y medición al momento de desarrollar el material compuesto.

$$V_{requerido} = 156 \times 52 \times 3,2 = 25958,4 \text{ mm}^3$$

$$V_{requerido} = 25,96 \approx 26 \text{ cm}^3$$

$$V_{requerido} = 26 + 10\% \text{ de perdidas} = 27,6 \text{ cm}^3$$





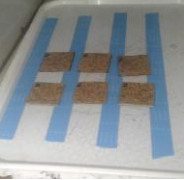

Tabla 2. 22: Fracción volumétrica del material requerido para las pruebas de humedad

	Poliéster		Epoxi	
	Volumen (cm³)	Masa (gr)	Volumen (cm³)	Masa (gr)
Matriz	22,91	29,09	18,33	23,82
Refuerzo	4,69	3,52	4,69	3,52
MECK	0,23	0,29	4,58	5,96

Fuente: Autor

Las pruebas de humedad se desarrollarán de acuerdo a lo planeado en la tabla 2.23

Tabla 2. 23: Fabricación del material compuesto para pruebas de humedad

Ítem	Actividad	Descripción	Fotografía
1	Obtención de probetas	Se generaron probetas cuadradas de 52x52mm, mismas que deben reducirse con lija de agua número 100 hasta alcanzar los 51mm, manteniendo un espesor de 3.2mm	
2	Secado y enfriamiento	Las probetas deben secarse en un horno durante 24 horas a $50 \pm 3^{\circ}\text{C}$ y posteriormente deben colocarse en un desecador por 24 horas con la finalidad de absorber toda la humedad.	
4	Pesar	Usando una balanza de precisión 0,001 gr pesar las probetas y registrar los datos en una ficha de datos	
5	Adecuar un recipiente	En un recipiente de al menos 1mm de profundidad colocar cinta doble faz con una separación de 45 mm y un alto de 3mm. Esto servirá como descanso para el borde de las probetas	
6	Inmersión	Ubicar las probetas en el recipiente y cubrirlas por completo con agua destilada	
7	Mediciones	Al final de 24 +1/2, -0 horas las muestras se eliminarán del agua y la superficie se limpiará levemente con un paño seco y se pesará inmediatamente con una precisión de 0,001 gr. Reemplaza el agua y repetir el pesaje al final de la primera semana y cada dos semanas desde ese	

Fuente: Autor

2.2.7. PLAN PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS

Los datos recolectados durante el desarrollo del trabajo experimental fueron procesados y analizados de la siguiente manera:

a) Revisión de datos

Corroborar que las mediciones están correctamente registradas en las fichas de datos y que no han sufrido alteraciones a causa del desorden o de terceras personas.

b) Presentación, tabulación e interpretación de resultados

Los datos recolectados serán presentados en tablas y gráficos que mantengan relación con las variables de estudio y que deben estar correctamente argumentados para facilitar su lectura y visualización

c) Análisis de la información

De la recolección de datos y posterior tabulación se selecciona las probetas con los mejores resultados y se obtiene parámetros de taladrado óptimos para el material de estudio, permitiendo validar o rechazar la hipótesis de estudio.

En el caso de la prueba de humedad los datos serán presentados con fichas de recolección de información, gráficas y curvas que muestren el valor de absorción de agua máximo en un periodo de tiempo de cinco semanas. Para definir el incremento de peso se debe reducir el exceso de volumen y trabajar con las dimensiones mencionadas en la norma ASTM D570 (\varnothing 50,8mm x 3,2mm de espesor)

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Recolección de datos

En el presente apartado se muestra el diagrama de flujo y las fichas de recolección de datos para la rugosidad media (R_a), el factor de delaminación y prueba de absorción de humedad.

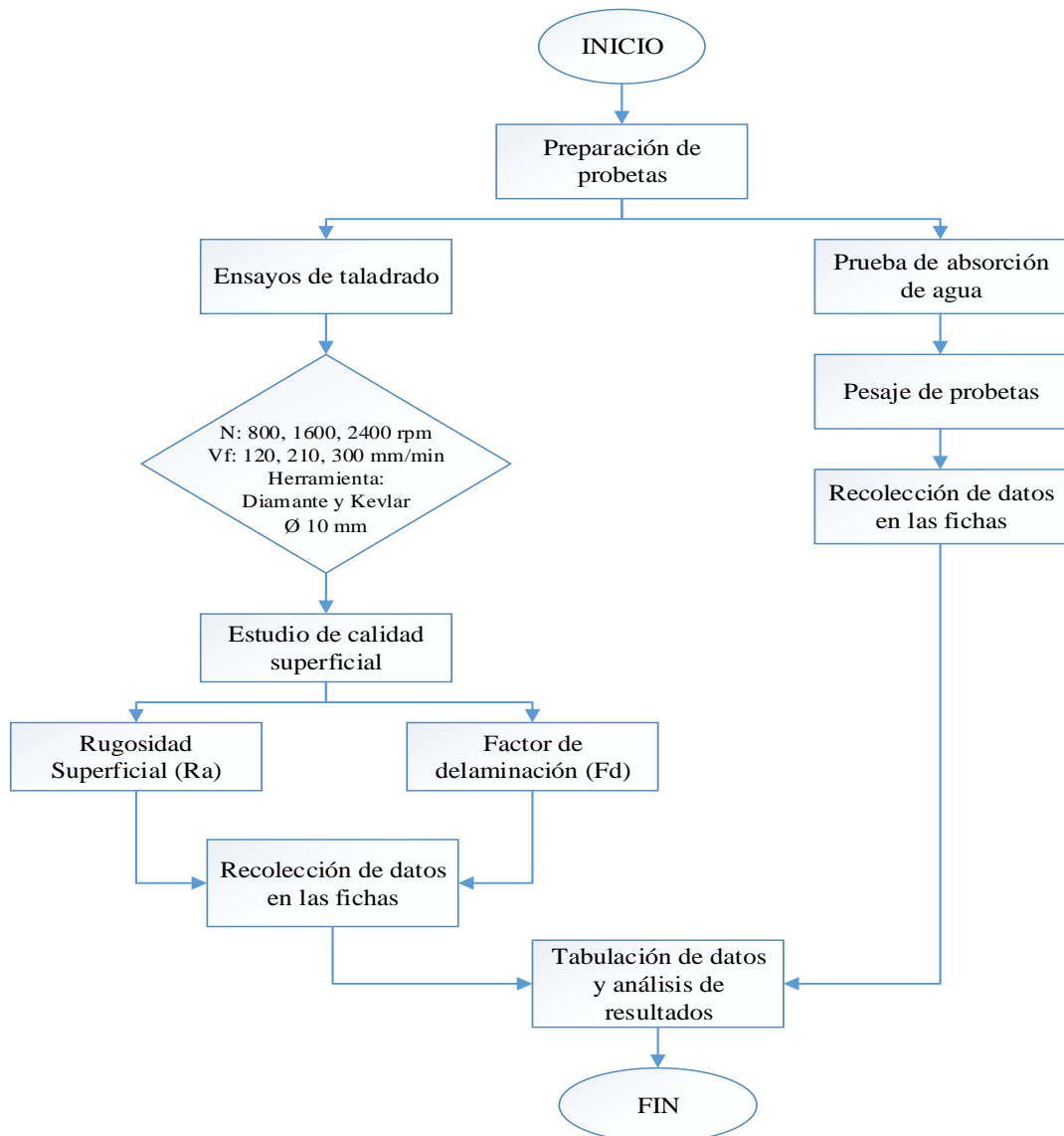


Diagrama 3. 1: Diagrama de recolección de datos

Fuente: Autor

Nomenclatura:

RX-CAr.t- XX/YY/BZ

RX: Tipo de resina (E, Epoxi y P, Poliéster)

CA: Refuerzo (Cascarilla de arroz)

r.t: r, réplica y t, tratamiento o combinación de trabajo

XX: Velocidad de husillo

YY: Velocidad de avance

BZ: Tipo de broca (D, Diamante y K, para Kevlar)

*M1, M2, M3, M4: Número de medición

*R1, R2: Número de réplica

*Fd1, Fd2: Factor de delaminación de acuerdo a la réplica



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



Ficha de recolección de datos y evaluación de rugosidad superficial(Ra)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición de Rugosidad (Ra)
Fecha de ejecución:	09/01/2019	Equipo:	Mitutoyo SJ - 210
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Cubierta de diamante Ø 10	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Epoxi	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%


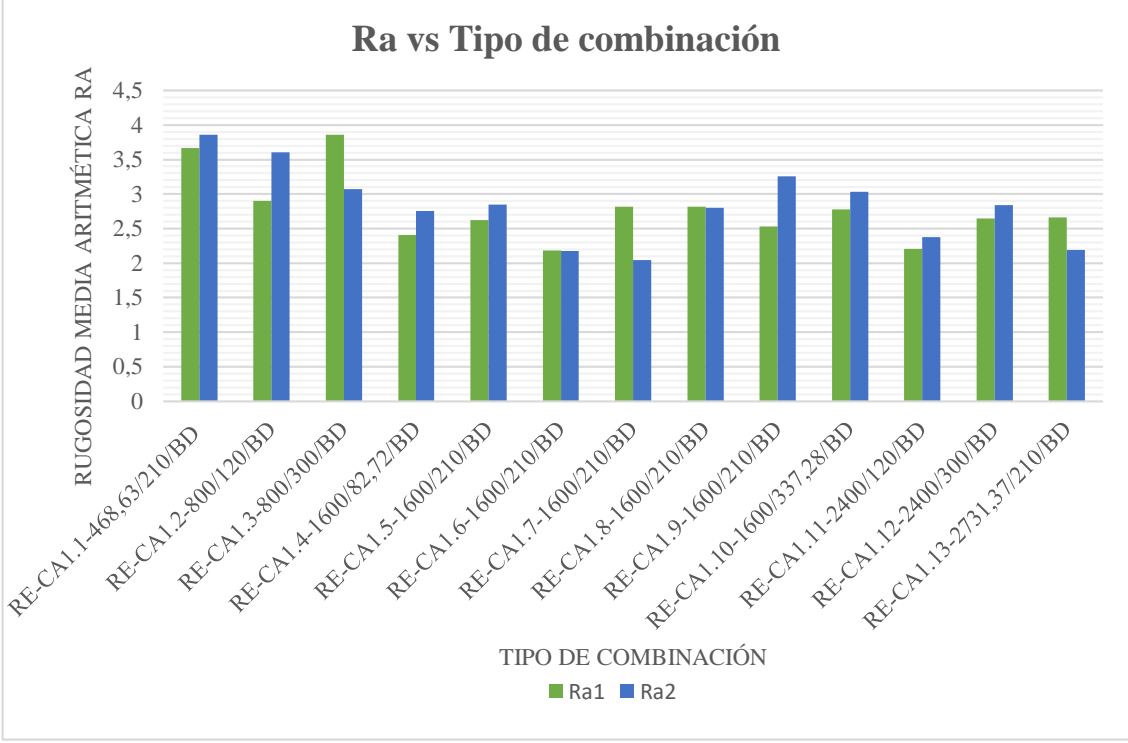
PARÁMETROS DE MEDICIÓN DEL RUGOSÍMETRO MITUTOYO SJ -210

Norma: ISO 1997	Ac: 0,8 mm	As: 0,25 mm	Mediciones: X5
------------------------	-------------------	--------------------	-----------------------

REGISTRO DE MEDICIONES Ra (um)

Código	M1	M2	M3	M4	Promedio (µm)
RE-CA1.1-468,63/210/BD	3,792	3,962	3,620	3,286	3,6650
RE-CA1.2-800/120/BD	3,229	2,171	2,903	3,307	2,9025
RE-CA1.3-800/300/BD	4,255	3,244	4,184	3,755	3,8595
RE-CA1.4-1600/82,72/BD	3,132	2,097	1,885	2,505	2,4048
RE-CA1.5-1600/210/BD	2,407	2,310	3,188	2,577	2,6205
RE-CA1.6-1600/210/BD	2,248	1,683	3,315	1,476	2,1805
RE-CA1.7-1600/210/BD	1,978	2,558	3,372	3,370	2,8195
RE-CA1.8-1600/210/BD	2,969	3,046	2,448	2,803	2,8165
RE-CA1.9-1600/210/BD	1,536	1,696	2,360	4,530	2,5305
RE-CA1.10-1600/337,28/BD	2,616	3,601	2,832	2,060	2,7773
RE-CA1.11-2400/120/BD	2,384	1,638	2,854	1,964	2,2100
RE-CA1.12-2400/300/BD	1,897	2,934	2,415	3,337	2,6458
RE-CA1.13-2731,37/210/BD	2,235	3,141	1,564	3,723	2,6658
RE-CA2.1-468,63/210/BD	3,121	3,565	4,623	4,126	3,8588
RE-CA2.2-800/120/BD	3,278	3,785	3,895	3,469	3,6068
RE-CA2.3-800/300/BD	4,010	2,125	4,089	2,053	3,0693
RE-CA2.4-1600/82,72/BD	3,041	3,068	2,274	2,625	2,7520
RE-CA2.5-1600/210/BD	3,800	2,062	3,474	2,055	2,8478
RE-CA2.6-1600/210/BD	2,057	1,974	2,162	2,507	2,1750
RE-CA2.7-1600/210/BD	2,229	1,338	1,359	3,258	2,0460
RE-CA2.8-1600/210/BD	1,398	2,974	3,559	3,227	2,8020
RE-CA2.9-1600/210/BD	2,454	4,241	3,248	3,098	3,2603
RE-CA2.10-1600/337,28/BD	3,321	3,133	2,875	2,804	3,0333
RE-CA2.11-2400/120/BD	2,344	2,347	2,389	2,423	2,3758
RE-CA2.12-2400/300/BD	3,091	2,631	2,240	3,384	2,8365
RE-CA2.13-2731,37/210/BD	2,773	2,674	1,682	1,641	2,1925

Tabla 3. 1: Evaluación de rugosidad con broca con diamante en material compuesto

Fotografía de medición de rugosidad																																											
																																											
Rugosidad RE-CA1.2-800/120/BD																																											
Gráficas de rugosidad superficial versus el tipo de combinación																																											
<p>Ra vs Tipo de combinación</p>  <table border="1"> <caption>Data extracted from the Ra vs Tipo de combinación chart</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de combinación</th> <th>Ra1 (µm)</th> <th>Ra2 (µm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>3,665</td><td>3,859</td></tr> <tr><td>2</td><td>2,880</td><td>3,580</td></tr> <tr><td>3</td><td>3,850</td><td>3,050</td></tr> <tr><td>4</td><td>2,400</td><td>2,750</td></tr> <tr><td>5</td><td>2,600</td><td>2,850</td></tr> <tr><td>6</td><td>2,185</td><td>2,175</td></tr> <tr><td>7</td><td>2,800</td><td>2,050</td></tr> <tr><td>8</td><td>2,800</td><td>2,800</td></tr> <tr><td>9</td><td>2,500</td><td>3,250</td></tr> <tr><td>10</td><td>2,750</td><td>3,000</td></tr> <tr><td>11</td><td>2,200</td><td>2,400</td></tr> <tr><td>12</td><td>2,600</td><td>2,850</td></tr> <tr><td>13</td><td>2,600</td><td>2,200</td></tr> </tbody> </table>		Tipo de combinación	Ra1 (µm)	Ra2 (µm)	1	3,665	3,859	2	2,880	3,580	3	3,850	3,050	4	2,400	2,750	5	2,600	2,850	6	2,185	2,175	7	2,800	2,050	8	2,800	2,800	9	2,500	3,250	10	2,750	3,000	11	2,200	2,400	12	2,600	2,850	13	2,600	2,200
Tipo de combinación	Ra1 (µm)	Ra2 (µm)																																									
1	3,665	3,859																																									
2	2,880	3,580																																									
3	3,850	3,050																																									
4	2,400	2,750																																									
5	2,600	2,850																																									
6	2,185	2,175																																									
7	2,800	2,050																																									
8	2,800	2,800																																									
9	2,500	3,250																																									
10	2,750	3,000																																									
11	2,200	2,400																																									
12	2,600	2,850																																									
13	2,600	2,200																																									
Observaciones																																											
<p>En el proceso de taladrado con Broca con recubrimiento de diamante la menor rugosidad media es de 2,1805 µm mostrada en la combinación 6, con una velocidad de husillo de 1600 rpm y 210 mm/min de velocidad de avance, dato que fue confirmado por la segunda réplica donde la rugosidad obtenida fue de 2,1750 µm.</p> <p>La máxima rugosidad media en la primera réplica se mostró en la combinación 3, sin embargo, al realizar la segunda réplica se notó que los valores más altos se ubicaban en la combinación 1, dando una rugosidad de 3,6650 µm en la primera medición y 3,8588 µm en la segunda medición, con una velocidad de husillo de 468,63 rpm y 210 mm/min de velocidad de avance.</p>																																											

Fuente: Autor



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



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL(Ra)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición de Rugosidad (Ra)
Fecha de ejecución:	09/01/2019	Equipo:	Mitutoyo SJ - 210
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Para kevlar Ø 10mm	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Epoxi	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%


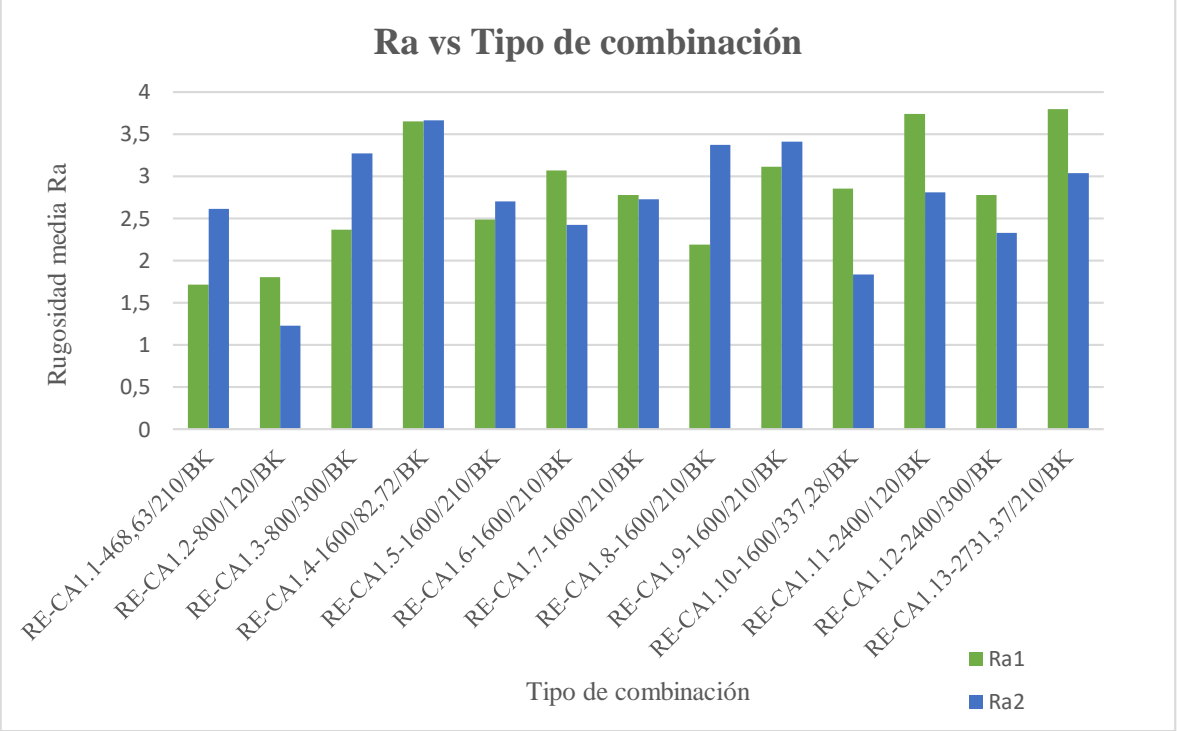
PARÁMETROS DE MEDICIÓN DEL RUGOSÍMETRO MITUTOYO SJ -210

Norma: ISO 1997	Ac: 0,8 mm	As: 0,25 mm	Mediciones: X5
------------------------	-------------------	--------------------	-----------------------

REGISTRO DE MEDICIONES Ra (um)

Código	M1	M2	M3	M4	Promedio (µm)
RE-CA1.1-468,63/210/BK	1,489	2,225	1,405	1,745	1,7160
RE-CA1.2-800/120/BK	1,837	0,546	2,688	2,157	1,8070
RE-CA1.3-800/300/BK	1,336	1,872	3,275	2,973	2,3640
RE-CA1.4-1600/82,72/BK	2,530	3,717	5,081	3,278	3,6515
RE-CA1.5-1600/210/BK	3,057	1,715	1,704	3,476	2,4880
RE-CA1.6-1600/210/BK	3,454	4,106	2,312	2,400	3,0680
RE-CA1.7-1600/210/BK	3,480	2,866	2,709	2,047	2,7755
RE-CA1.8-1600/210/BK	2,476	2,055	1,933	2,287	2,1878
RE-CA1.9-1600/210/BK	3,074	4,456	2,544	2,371	3,1113
RE-CA1.10-1600/337,28/BK	3,279	1,779	3,735	2,618	2,8527
RE-CA1.11-2400/120/BK	4,267	2,089	5,130	3,458	3,7360
RE-CA1.12-2400/300/BK	3,650	2,323	3,126	2,005	2,7760
RE-CA1.13-2731,37/210/BK	3,355	4,019	4,823	2,991	3,7970
RE-CA2.1-468,63/210/BDK	1,572	2,175	3,986	2,718	2,6128
RE-CA2.2-800/120/BK	0,806	1,722	1,198	1,187	1,2283
RE-CA2.3-800/300/BK	2,728	4,480	3,106	2,764	3,2695
RE-CA2.4-1600/82,72/BK	3,350	4,815	2,013	4,481	3,6648
RE-CA2.5-1600/210/BK	3,789	2,078	2,517	2,411	2,6988
RE-CA2.6-1600/210/BK	3,734	1,862	1,579	2,524	2,4248
RE-CA2.7-1600/210/BK	2,948	2,770	2,680	2,515	2,7283
RE-CA2.8-1600/210/BK	4,350	4,065	3,566	1,494	3,3688
RE-CA2.9-1600/210/BK	3,508	3,021	3,093	4,019	3,4103
RE-CA2.10-1600/337,28/BK	2,025	1,761	1,843	1,719	1,8370
RE-CA2.11-2400/120/BK	3,355	3,985	2,268	1,623	2,8078
RE-CA2.12-2400/300/BK	2,389	1,286	3,051	2,583	2,3273
RE-CA2.13-2731,37/210/BK	3,614	3,288	2,213	3,020	3,0338

Tabla 3. 2: Evaluación de rugosidad con broca para kevlar en material compuesto (RE+CA)

Fotografía de medición de rugosidad																																											
																																											
Rugosidad RE-CA1.2-800/120/BK																																											
Gráficas de rugosidad superficial versus el tipo de combinación																																											
<p>Ra vs Tipo de combinación</p>  <table border="1"> <caption>Data extracted from the Ra vs Tipo de combinación chart</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de combinación</th> <th>Ra1 (µm)</th> <th>Ra2 (µm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>RE-CA1.1-468,63/210/BK</td><td>1,7160</td><td>2,6100</td></tr> <tr><td>RE-CA1.2-800/120/BK</td><td>1,7160</td><td>1,2283</td></tr> <tr><td>RE-CA1.3-800/300/BK</td><td>2,3800</td><td>3,2800</td></tr> <tr><td>RE-CA1.4-1600/82,72/BK</td><td>3,6515</td><td>3,6648</td></tr> <tr><td>RE-CA1.5-1600/210/BK</td><td>2,5000</td><td>2,7000</td></tr> <tr><td>RE-CA1.6-1600/210/BK</td><td>3,0500</td><td>2,4500</td></tr> <tr><td>RE-CA1.7-1600/210/BK</td><td>2,7500</td><td>2,7000</td></tr> <tr><td>RE-CA1.8-1600/210/BK</td><td>2,2000</td><td>3,3500</td></tr> <tr><td>RE-CA1.9-1600/337,28/BK</td><td>3,1000</td><td>3,4000</td></tr> <tr><td>RE-CA1.10-1600/120/BK</td><td>2,8000</td><td>1,8000</td></tr> <tr><td>RE-CA1.11-2400/120/BK</td><td>3,7000</td><td>2,8000</td></tr> <tr><td>RE-CA1.12-2400/300/BK</td><td>2,7500</td><td>2,3500</td></tr> <tr><td>RE-CA1.13-2731,37/210/BK</td><td>3,8000</td><td>3,0000</td></tr> </tbody> </table>		Tipo de combinación	Ra1 (µm)	Ra2 (µm)	RE-CA1.1-468,63/210/BK	1,7160	2,6100	RE-CA1.2-800/120/BK	1,7160	1,2283	RE-CA1.3-800/300/BK	2,3800	3,2800	RE-CA1.4-1600/82,72/BK	3,6515	3,6648	RE-CA1.5-1600/210/BK	2,5000	2,7000	RE-CA1.6-1600/210/BK	3,0500	2,4500	RE-CA1.7-1600/210/BK	2,7500	2,7000	RE-CA1.8-1600/210/BK	2,2000	3,3500	RE-CA1.9-1600/337,28/BK	3,1000	3,4000	RE-CA1.10-1600/120/BK	2,8000	1,8000	RE-CA1.11-2400/120/BK	3,7000	2,8000	RE-CA1.12-2400/300/BK	2,7500	2,3500	RE-CA1.13-2731,37/210/BK	3,8000	3,0000
Tipo de combinación	Ra1 (µm)	Ra2 (µm)																																									
RE-CA1.1-468,63/210/BK	1,7160	2,6100																																									
RE-CA1.2-800/120/BK	1,7160	1,2283																																									
RE-CA1.3-800/300/BK	2,3800	3,2800																																									
RE-CA1.4-1600/82,72/BK	3,6515	3,6648																																									
RE-CA1.5-1600/210/BK	2,5000	2,7000																																									
RE-CA1.6-1600/210/BK	3,0500	2,4500																																									
RE-CA1.7-1600/210/BK	2,7500	2,7000																																									
RE-CA1.8-1600/210/BK	2,2000	3,3500																																									
RE-CA1.9-1600/337,28/BK	3,1000	3,4000																																									
RE-CA1.10-1600/120/BK	2,8000	1,8000																																									
RE-CA1.11-2400/120/BK	3,7000	2,8000																																									
RE-CA1.12-2400/300/BK	2,7500	2,3500																																									
RE-CA1.13-2731,37/210/BK	3,8000	3,0000																																									
Observaciones																																											
<p>En el proceso de taladrado con Broca para kevlar la menor rugosidad media es de 1,7160 µm mostrada en la combinación 2, con una velocidad de husillo de 800 rpm y 120 mm/min de velocidad de avance, dato que fue confirmado por la segunda réplica donde la rugosidad obtenida fue de 1,2283 µm.</p> <p>La máxima rugosidad media en la primera réplica se mostró en la combinación 13, sin embargo, al realizar la segunda réplica se notó que los valores más altos se ubicaban en la combinación 4, dando una rugosidad de 3,6515 µm en la primera medición y 3,6648 µm en la segunda medición, con una velocidad de husillo de 1600 rpm y 82,72 mm/min de velocidad de avance.</p>																																											

Fuente: Autor



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



Ficha de recolección de datos y evaluación de rugosidad superficial(Ra)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición de Rugosidad (Ra)
Fecha de ejecución:	10/01/2019	Equipo:	Mitutoyo SJ - 210
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Cubierta de diamante Ø 10	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Poliéster	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%


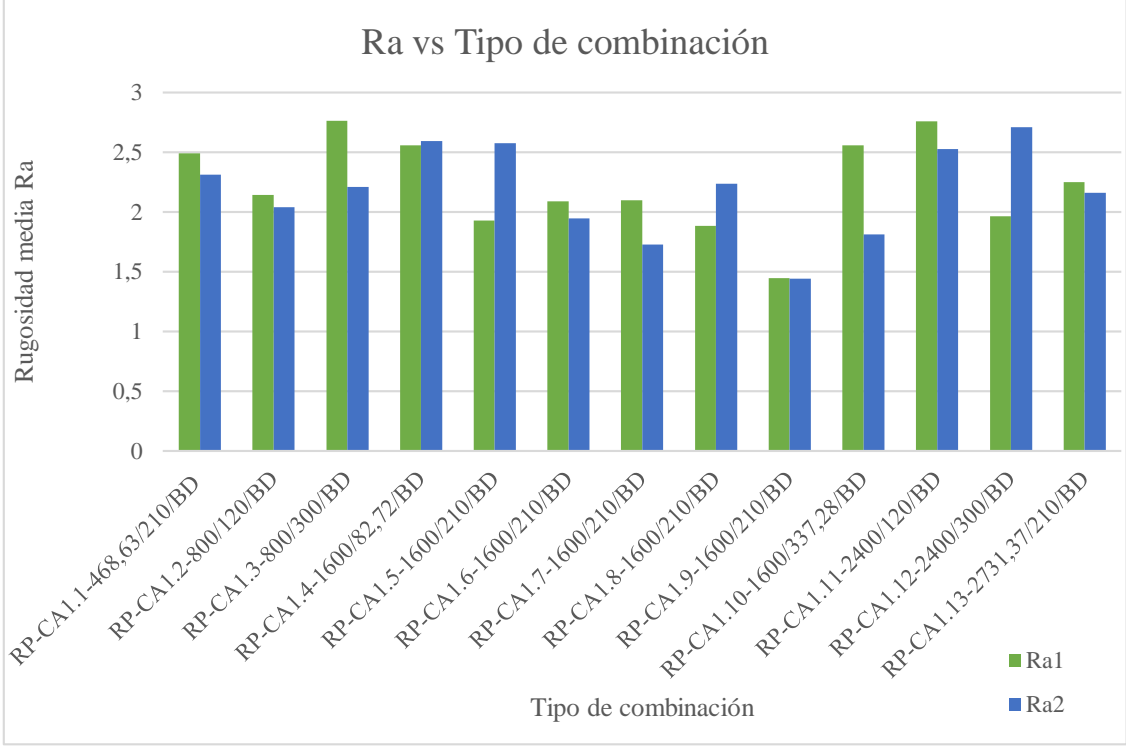
PARÁMETROS DE MEDICIÓN DEL RUGOSÍMETRO MITUTOYO SJ -210

Norma: ISO 1997	Ac: 0,8 mm	As: 0,25 mm	Mediciones: X5
------------------------	-------------------	--------------------	-----------------------

REGISTRO DE MEDICIONES Ra (um)

Código	M1	M2	M3	M4	Promedio (µm)
RP-CA1.1-468,63/210/BD	2,846	2,398	2,663	2,063	2,4925
RP-CA1.2-800/120/BD	1,980	2,079	2,250	2,256	2,1413
RP-CA1.3-800/300/BD	2,959	2,912	2,655	2,539	2,7663
RP-CA1.4-1600/82,72/BD	2,692	2,379	2,135	3,022	2,5570
RP-CA1.5-1600/210/BD	2,099	1,911	1,636	2,064	1,9275
RP-CA1.6-1600/210/BD	1,799	2,366	1,763	2,431	2,0898
RP-CA1.7-1600/210/BD	2,587	2,045	1,727	2,027	2,0965
RP-CA1.8-1600/210/BD	2,117	2,033	1,796	1,586	1,8830
RP-CA1.9-1600/210/BD	1,470	1,156	1,502	1,651	1,4448
RP-CA1.10-1600/337,28/BD	2,692	2,379	2,125	3,022	2,557
RP-CA1.11-2400/120/BD	2,880	2,590	2,827	2,744	2,7603
RP-CA1.12-2400/300/BD	2,308	1,889	1,941	1,721	1,9648
RP-CA1.13-2731,37/210/BD	2,345	2,066	2,246	2,344	2,2503
RP-CA2.1-468,63/210/BD	2,248	2,043	2,651	2,305	2,3118
RPCA2.2-800/120/BD	2,391	1,098	2,227	2,439	2,0388
RP-CA2.3-800/300/BD	2,850	2,115	2,402	1,469	2,2090
RP-CA2.4-1600/82,72/BD	2,707	2,420	2,588	2,655	2,5925
RP-CA2.5-1600/210/BD	2,668	2,635	2,237	2,772	2,578
RP-CA2.6-1600/210/BD	1,778	1,918	2,110	1,973	1,9448
RP-CA2.7-1600/210/BD	1,684	1,627	1,784	1,824	1,7298
RP-CA2.8-1600/210/BD	2,595	2,309	1,904	2,142	2,2375
RP-CA2.9-1600/210/BD	1,601	1,169	1,511	1,480	1,4403
RP-CA2.10-1600/337,28/BD	1,897	1,564	1,837	1,951	1,8123
RP-CA2.11-2400/120/BD	2,980	2,084	2,628	2,412	2,5260
RP-CA2.12-2400/300/BD	2,597	1,955	2,326	3,967	2,7113
RE-CA2.13-2731,37/210/BD	2,450	2,116	2,186	1,897	2,1623

Tabla 3. 3: Evaluación de rugosidad con broca con diamante en material compuesto (RP+CA)

Fotografía de medición de rugosidad	
	
Rugosidad RP-CA1.7-1600/210/BD	
Gráficas de rugosidad superficial versus el tipo de combinación	
	
Observaciones	
<p>En el proceso de taladrado con Broca con diamante la menor rugosidad media es de 1,4448 μm mostrada en la combinación 9, con una velocidad de husillo de 1600 rpm y 210 mm/min de velocidad de avance, dato que fue confirmado por la segunda réplica donde la rugosidad obtenida fue de 1,4403 μm.</p> <p>La máxima rugosidad media en la primera réplica se mostró en la combinación 3, sin embargo, al realizar la segunda réplica se notó que los valores más altos se ubicaban en la combinación 11, dando una rugosidad de 2,7603 μm en la primera medición y 2,5260 μm en la segunda medición, con una velocidad de husillo de 2400 rpm y 120 mm/min de velocidad de avance.</p>	

Fuente: Autor



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



Ficha de recolección de datos y evaluación de rugosidad superficial(Ra)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Medición de Rugosidad (Ra)
Fecha de ejecución:	10/01/2019	Equipo:	Mitutoyo SJ - 210
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Para kevlar Ø 10mm	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Poliéster	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%


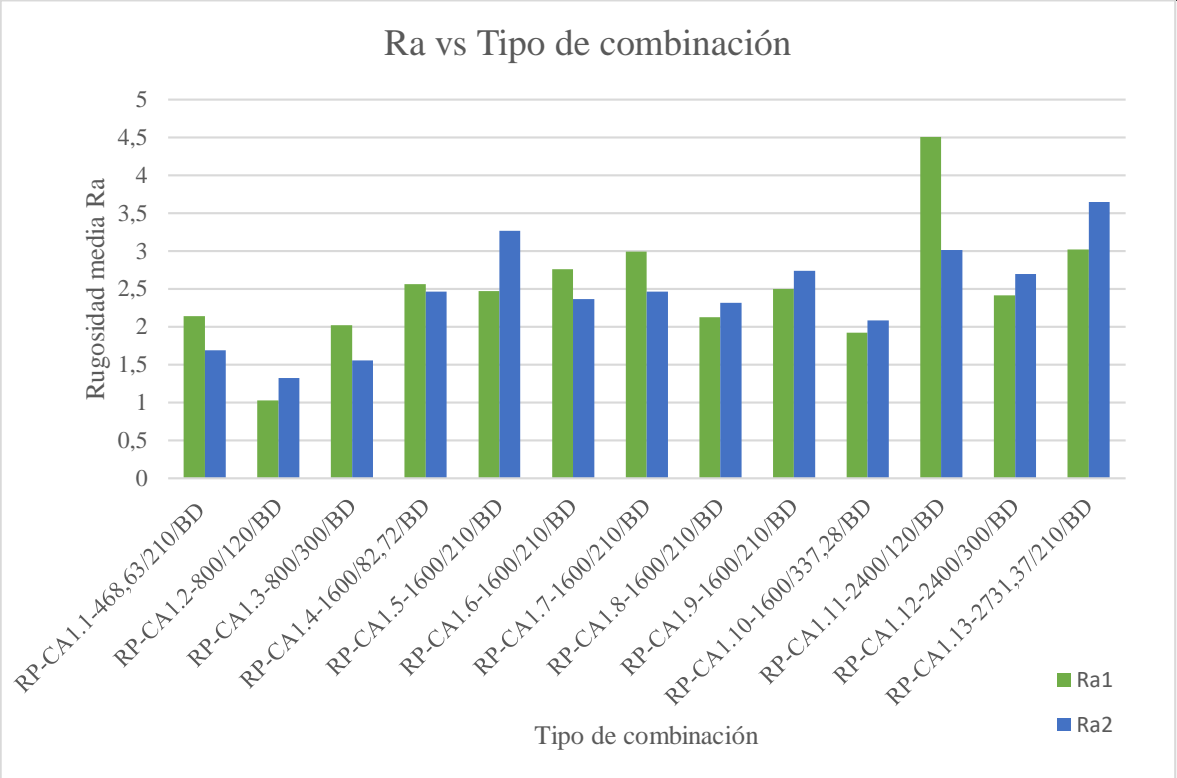
PARÁMETROS DE MEDICIÓN DEL RUGOSÍMETRO MITUTOYO SJ -210

Norma: ISO 1997	Ac: 0,8 mm	As: 0,25 mm	Mediciones: X5
------------------------	-------------------	--------------------	-----------------------

REGISTRO DE MEDICIONES Ra (um)

Código	M1	M2	M3	M4	Promedio (µm)
RP-CA1.1-468,63/210/BD	2,125	2,240	2,249	1,938	2,1380
RP-CA1.2-800/120/BD	1,096	1,109	1,047	0,862	1,0285
RP-CA1.3-800/300/BD	1,485	1,736	1,858	2,990	2,0173
RP-CA1.4-1600/82,72/BD	2,391	3,636	1,734	2,475	2,5590
RP-CA1.5-1600/210/BD	2,117	2,492	2,469	2,797	2,4688
RP-CA1.6-1600/210/BD	2,408	2,678	2,932	3,007	2,7563
RP-CA1.7-1600/210/BD	2,920	3,167	3,703	2,178	2,9920
RP-CA1.8-1600/210/BD	2,020	1,887	2,191	2,400	2,1245
RP-CA1.9-1600/210/BD	1,830	2,506	2,907	2,742	2,4963
RP-CA1.10-1600/337,28/BD	1,642	1,882	2,187	1,963	1,9185
RP-CA1.11-2400/120/BD	4,124	4,970	5,565	3,369	4,5070
RP-CA1.12-2400/300/BD	2,860	2,156	2,374	2,271	2,4153
RP-CA1.13-2731,37/210/BD	3,836	2,098	2,609	3,522	3,0163
RP-CA2.1-468,63/210/BD	1,366	1,890	1,795	1,690	1,6853
RPCA2.2-800/120/BD	1,227	2,135	1,109	0,819	1,3225
RP-CA2.3-800/300/BD	1,471	1,163	1,815	1,773	1,5556
RP-CA2.4-1600/82,72/BD	2,059	2,369	2,659	2,770	2,4643
RP-CA2.5-1600/210/BD	2,799	3,457	3,094	3,713	3,2658
RP-CA2.6-1600/210/BD	2,424	2,260	3,060	1,704	2,3620
RP-CA2.7-1600/210/BD	3,494	2,306	1,790	2,267	2,4643
RP-CA2.8-1600/210/BD	1,860	2,155	3,012	2,227	2,3135
RP-CA2.9-1600/210/BD	3,090	2,679	2,400	2,783	2,7380
RP-CA2.10-1600/337,28/BD	2,145	1,1866	2,117	2,194	2,0805
RP-CA2.11-2400/120/BD	3,682	3,328	3,234	1,798	3,0105
RP-CA2.12-2400/300/BD	3,042	2,588	2,416	2,723	2,6923
RE-CA2.13-2731,37/210/BD	4,756	3,236	3,145	3,443	3,6450

Tabla 3. 4: Evaluación de rugosidad con broca para kevlar en material compuesto (RP+CA)

Fotografía de medición de rugosidad																																											
																																											
Rugosidad RP-CA1.2-800/120/BD																																											
Gráficas de rugosidad superficial versus el tipo de combinación																																											
<p style="text-align: center;">Ra vs Tipo de combinación</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <caption>Data for Ra vs Tipo de combinación</caption> <thead> <tr> <th>Tipo de combinación</th> <th>Ra1</th> <th>Ra2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>RP-CA1.1-468,63/210/BD</td><td>2.15</td><td>1.65</td></tr> <tr><td>RP-CA1.2-800/120/BD</td><td>1.03</td><td>1.32</td></tr> <tr><td>RP-CA1.3-800/300/BD</td><td>2.00</td><td>1.55</td></tr> <tr><td>RP-CA1.4-1600/82,72/BD</td><td>2.55</td><td>2.45</td></tr> <tr><td>RP-CA1.5-1600/210/BD</td><td>2.45</td><td>3.25</td></tr> <tr><td>RP-CA1.6-1600/210/BD</td><td>2.75</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>RP-CA1.7-1600/210/BD</td><td>2.95</td><td>2.45</td></tr> <tr><td>RP-CA1.8-1600/210/BD</td><td>2.15</td><td>2.35</td></tr> <tr><td>RP-CA1.9-1600/210/BD</td><td>2.50</td><td>2.70</td></tr> <tr><td>RP-CA1.10-1600/337,28/BD</td><td>1.90</td><td>2.10</td></tr> <tr><td>RP-CA1.11-2400/120/BD</td><td>4.50</td><td>3.00</td></tr> <tr><td>RP-CA1.12-2400/300/BD</td><td>2.40</td><td>2.70</td></tr> <tr><td>RP-CA1.13-2731,37/210/BD</td><td>3.00</td><td>3.65</td></tr> </tbody> </table>		Tipo de combinación	Ra1	Ra2	RP-CA1.1-468,63/210/BD	2.15	1.65	RP-CA1.2-800/120/BD	1.03	1.32	RP-CA1.3-800/300/BD	2.00	1.55	RP-CA1.4-1600/82,72/BD	2.55	2.45	RP-CA1.5-1600/210/BD	2.45	3.25	RP-CA1.6-1600/210/BD	2.75	2.35	RP-CA1.7-1600/210/BD	2.95	2.45	RP-CA1.8-1600/210/BD	2.15	2.35	RP-CA1.9-1600/210/BD	2.50	2.70	RP-CA1.10-1600/337,28/BD	1.90	2.10	RP-CA1.11-2400/120/BD	4.50	3.00	RP-CA1.12-2400/300/BD	2.40	2.70	RP-CA1.13-2731,37/210/BD	3.00	3.65
Tipo de combinación	Ra1	Ra2																																									
RP-CA1.1-468,63/210/BD	2.15	1.65																																									
RP-CA1.2-800/120/BD	1.03	1.32																																									
RP-CA1.3-800/300/BD	2.00	1.55																																									
RP-CA1.4-1600/82,72/BD	2.55	2.45																																									
RP-CA1.5-1600/210/BD	2.45	3.25																																									
RP-CA1.6-1600/210/BD	2.75	2.35																																									
RP-CA1.7-1600/210/BD	2.95	2.45																																									
RP-CA1.8-1600/210/BD	2.15	2.35																																									
RP-CA1.9-1600/210/BD	2.50	2.70																																									
RP-CA1.10-1600/337,28/BD	1.90	2.10																																									
RP-CA1.11-2400/120/BD	4.50	3.00																																									
RP-CA1.12-2400/300/BD	2.40	2.70																																									
RP-CA1.13-2731,37/210/BD	3.00	3.65																																									
Observaciones																																											
<p>En el proceso de taladrado con Broca para Kevlar la menor rugosidad media es de 1,0285 μm mostrada en la combinación 2, con una velocidad de husillo de 800 rpm y 120 mm/min de velocidad de avance, dato que fue confirmado por la segunda réplica donde la rugosidad obtenida fue de 1,3225 μm.</p> <p>La máxima rugosidad media se mostró en la combinación 11, dando una rugosidad de 4,5070 μm en la primera medición y 3,0105 μm en la segunda medición, con una velocidad de husillo de 2400 rpm y 120 mm/min de velocidad de avance.</p>																																											

Fuente: Autor



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación de entrada
Fecha de ejecución:	07/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

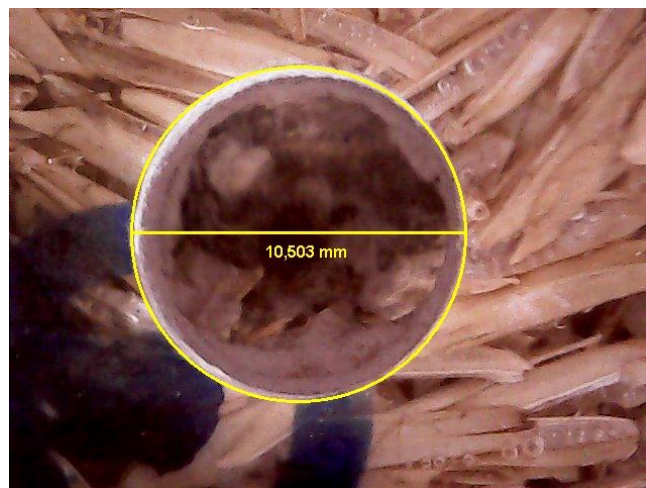
PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Cubierta de diamante Ø 10	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Epoxi	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%

REGISTRO DE MEDICIONES DE DELAMINACIÓN DE ENTRADA(mm)

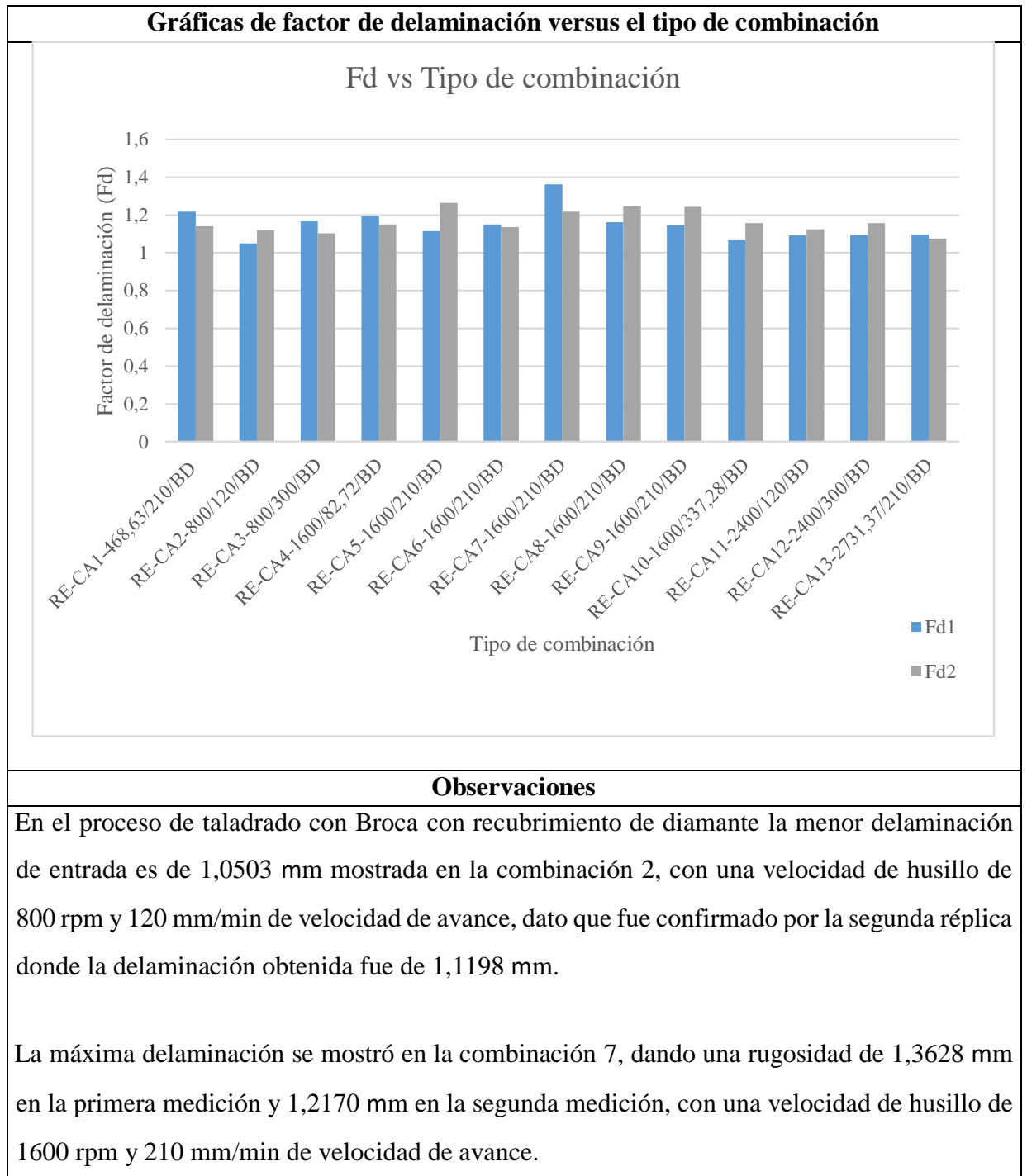
Código	R1	R2	Fd1	Fd2
RE-CA1-468,63/210/BD	12,170	11,415	1,2170	1,1415
RE-CA2-800/120/BD	10,503	11,198	1,0503	1,1198
RE-CA3-800/300/BD	11,677	11,037	1,1677	1,1037
RE-CA4-1600/82,72/BD	11,951	11,509	1,1951	1,1509
RE-CA5-1600/210/BD	11,159	12,642	1,1159	1,2642
RE-CA6-1600/210/BD	11,494	11,352	1,1494	1,1352
RE-CA7-1600/210/BD	13,628	12,170	1,3628	1,2170
RE-CA8-1600/210/BD	11,616	12,454	1,1616	1,2454
RE-CA9-1600/210/BD	11,463	12,440	1,1463	1,2440
RE-CA10-1600/337,28/BD	10,671	11,572	1,0671	1,1572
RE-CA11-2400/120/BD	10,912	11,250	1,0912	1,1250
RE-CA12-2400/300/BD	10,943	11,572	1,0943	1,1572
RE-CA13-2731,37/210/BD	10,968	10,755	1,0968	1,0755

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN



Delaminación RE-CA2-800/120/BD

Tabla 3. 5: Evaluación de la delaminación de entrada con broca de diamante en material compuesto (RE+CA)





Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación de entrada
Fecha de ejecución:	07/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

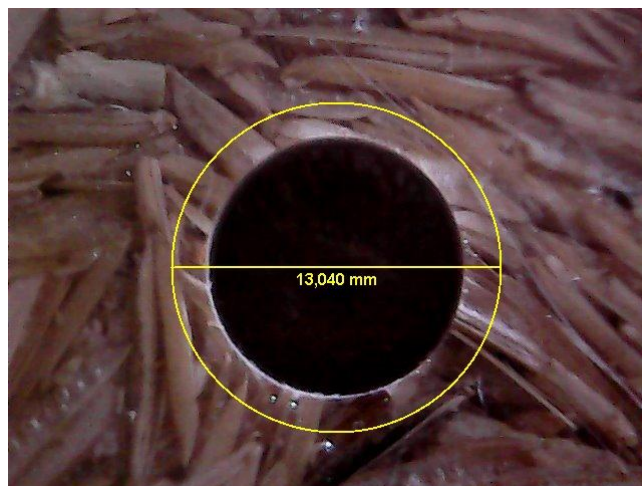
PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Para kevlar Ø 10mm	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Epoxi	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%

REGISTRO DE MEDICIONES DE DELAMINACIÓN DE ENTRADA (mm)

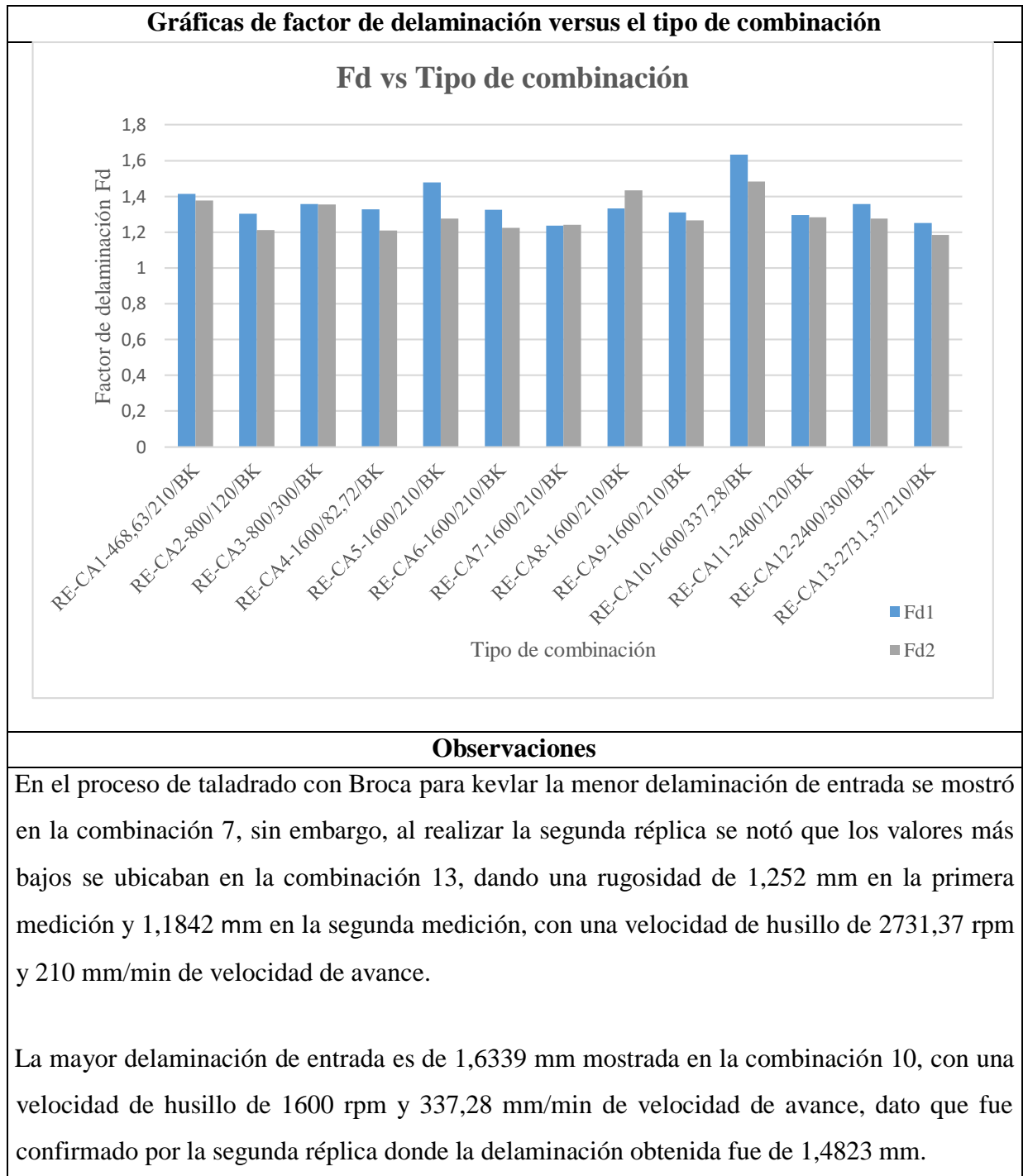
Código	R1	R2	Fd1	Fd2
RE-CA1-468,63/210/BK	14,147	13,759	1,4147	1,3759
RE-CA2-800/120/BK	13,040	12,128	1,3040	1,2128
RE-CA3-800/300/BK	13,566	13,546	1,3566	1,3546
RE-CA4-1600/82,72/BK	13,268	12,092	1,3268	1,2092
RE-CA5-1600/210/BK	14,783	12,766	1,4783	1,2766
RE-CA6-1600/210/BK	13,261	12,234	1,3261	1,2234
RE-CA7-1600/210/BK	12,355	12,411	1,2355	1,2411
RE-CA8-1600/210/BK	13,333	14,326	1,3333	1,4326
RE-CA9-1600/210/BK	13,116	12,660	1,3116	1,2660
RE-CA10-1600/337,28/BK	16,339	14,823	1,6339	1,4823
RE-CA11-2400/120/BK	12,967	12,837	1,2967	1,2837
RE-CA12-2400/300/BK	13,566	12,766	1,3566	1,2766
RE-CA13-2731,37/210/BK	12,520	11,844	1,2520	1,1844

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN



Delaminación RE-CA2-800/120/BK

Tabla 3. 6: Evaluación de delaminación de entrada con broca para kevlar en material compuesto (RE+CA)





Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación de entrada
Fecha de ejecución:	08/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

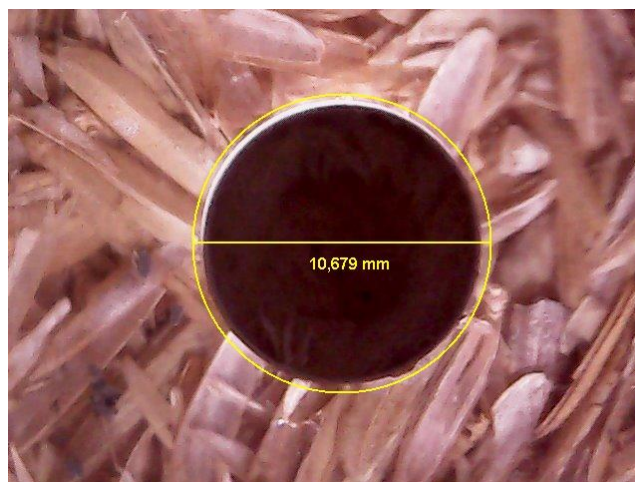
PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Cubierta de diamante Ø 10	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Poliéster	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%

REGISTRO DE MEDICIONES DE DELAMINACIÓN DE ENTRADA (mm)

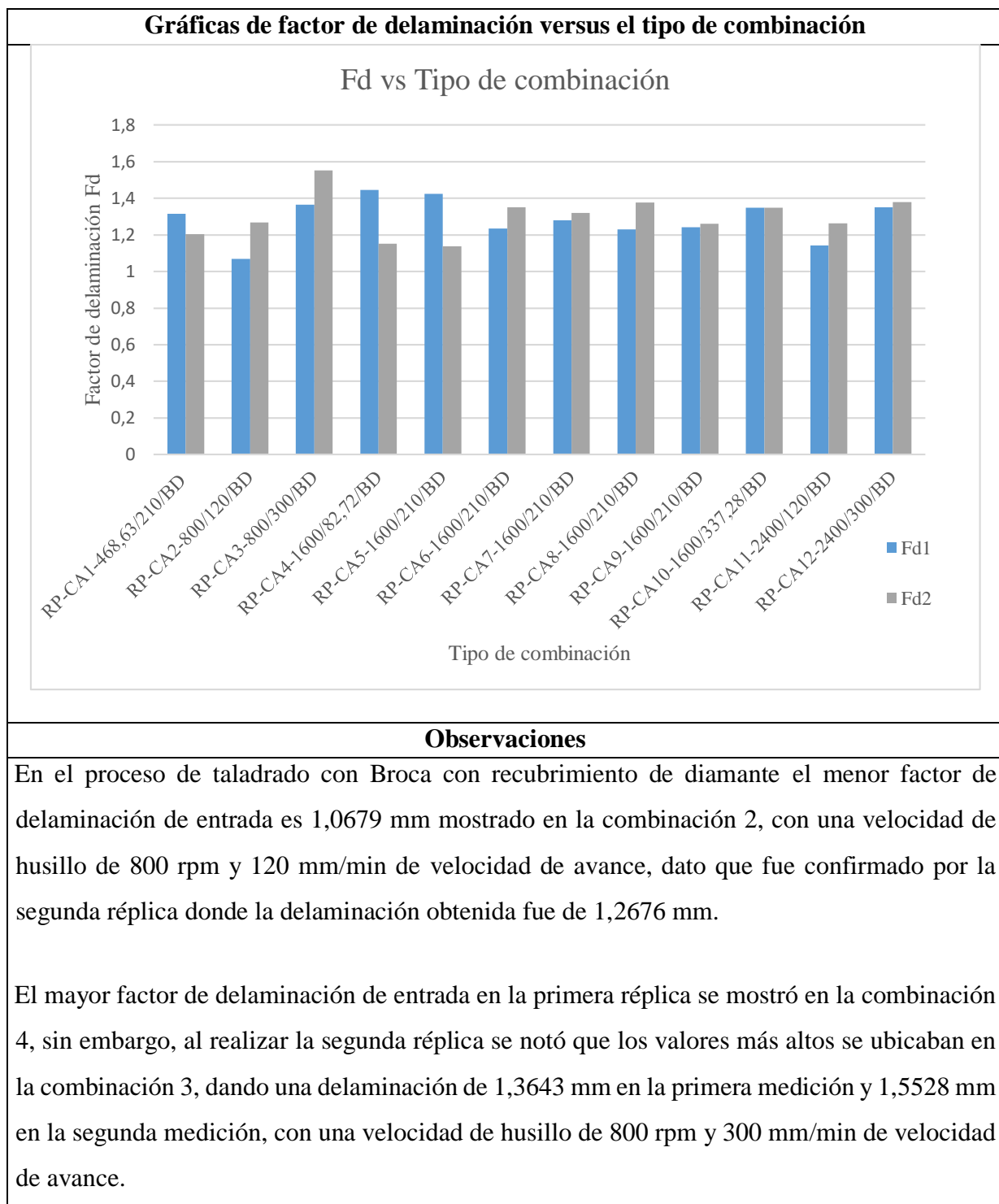
Código	R1	R2	Fd1	Fd2
RP-CA1-468,63/210/BD	13,143	12,042	1,3143	1,2042
RP-CA2-800/120/BD	10,679	12,676	1,0679	1,2676
RP-CA3-800/300/BD	13,643	15,528	1,3643	1,5528
RP-CA4-1600/82,72/BD	14,464	11,514	1,4464	1,1514
RP-CA5-1600/210/BD	14,245	11,373	1,4245	1,1373
RP-CA6-1600/210/BD	12,338	13,521	1,2338	1,3521
RP-CA7-1600/210/BD	12,806	13,204	1,2806	1,3204
RP-CA8-1600/210/BD	12,302	13,768	1,2302	1,3768
RP-CA9-1600/210/BD	12,410	12,606	1,2410	1,2606
RP-CA10-1600/337,28/BD	13,489	13,486	1,3489	1,3486
RP-CA11-2400/120/BD	11,429	12,641	1,1429	1,2641
RP-CA12-2400/300/BD	13,500	13,803	1,3500	1,3803
RP-CA13-2731,37/210/BD	13,000	12,958	1,3000	1,2958

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN



Delaminación RP-CA2-800/120/BD

Tabla 3. 7: Evaluación de delaminación de entrada con broca de diamante en material compuesto (RP+CA)



Fuente: Autor



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación de entrada
Fecha de ejecución:	07/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

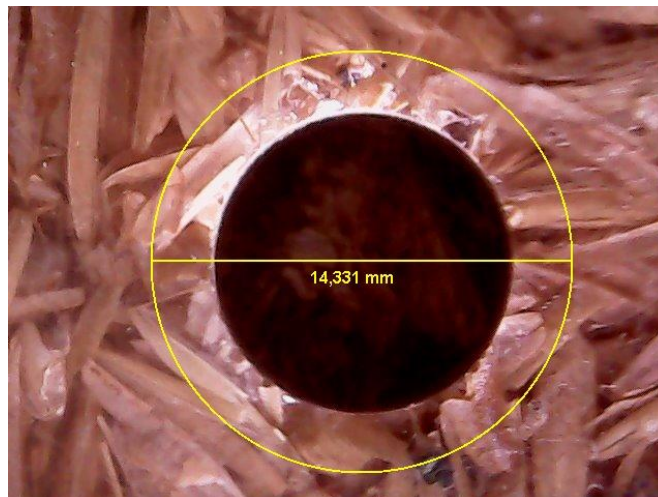
PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Para kevlar Ø 10mm	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Poliéster	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%

REGISTRO DE MEDICIONES DE DELAMINACIÓN DE ENTRADA (mm)

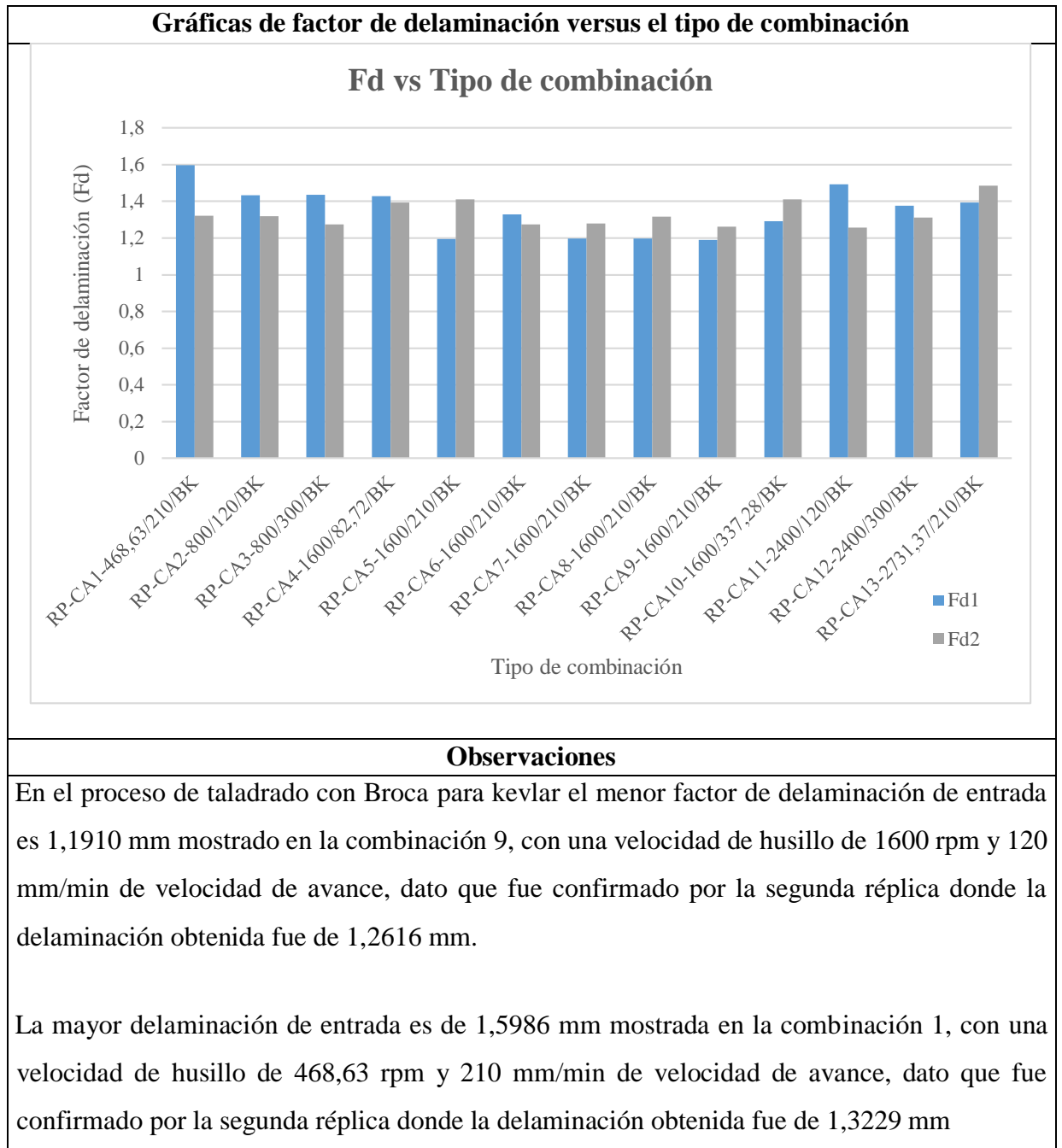
Código	R1	R2	Fd1	Fd2
RP-CA1-468,63/210/BK	15,986	13,229	1,5986	1,3229
RP-CA2-800/120/BK	14,331	13,194	1,4331	1,3194
RP-CA3-800/300/BK	14,361	12,743	1,4361	1,2743
RP-CA4-1600/82,72/BK	14,296	13,926	1,4296	1,3926
RP-CA5-1600/210/BK	11,943	14,116	1,1943	1,4116
RP-CA6-1600/210/BK	13,299	12,755	1,3299	1,2755
RP-CA7-1600/210/BK	11,979	12,789	1,1979	1,2789
RP-CA8-1600/210/BK	11,979	13,163	1,1979	1,3163
RP-CA9-1600/210/BK	11,910	12,616	1,1910	1,2616
RP-CA10-1600/337,28/BK	12,923	14,116	1,2923	1,4116
RP-CA11-2400/120/BK	14,930	12,569	1,4930	1,2569
RP-CA12-2400/300/BK	13,768	13,125	1,3768	1,3125
RP-CA13-2731,37/210/BK	13,944	14,861	1,3944	1,4861

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN



Delaminación RP-CA2-800/120/BK

Tabla 3. 8: Evaluación de delaminación de entrada con broca de kevlar en material compuesto (RP+CA)





Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación de salida
Fecha de ejecución:	07/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

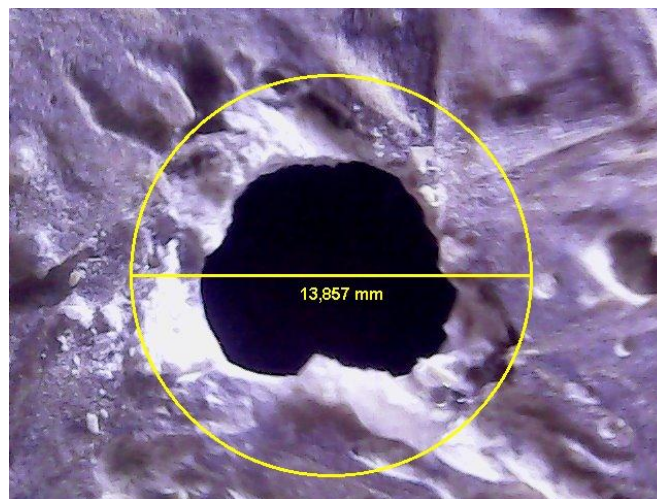
PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Cubierta de diamante Ø 10	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Epoxi	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%

REGISTRO DE MEDICIONES DE DELAMINACIÓN DE SALIDA(mm)

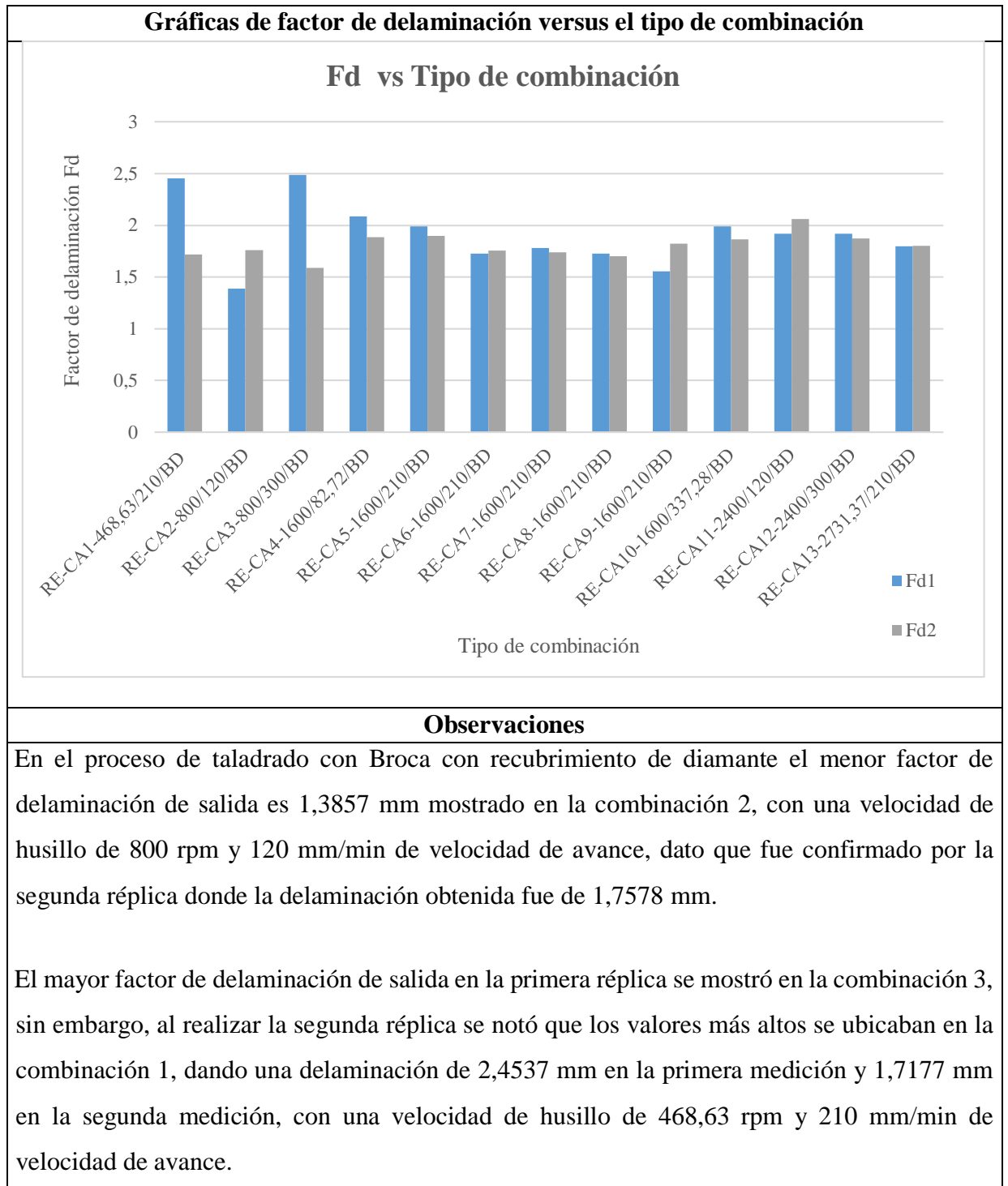
Código	R1	R2	Fd1	Fd2
RE-CA1-468,63/210/BD	24,537	17,177	2,4537	1,7177
RE-CA2-800/120/BD	13,857	17,578	1,3857	1,7578
RE-CA3-800/300/BD	24,873	15,862	2,4873	1,5862
RE-CA4-1600/82,72/BD	20,846	18,831	2,0846	1,8831
RE-CA5-1600/210/BD	19,917	18,962	1,9917	1,8962
RE-CA6-1600/210/BD	17,250	17,538	1,7250	1,7538
RE-CA7-1600/210/BD	17,792	17,390	1,7792	1,7390
RE-CA8-1600/210/BD	17,250	17,023	1,7250	1,7023
RE-CA9-1600/210/BD	15,531	18,244	1,5531	1,8244
RE-CA10-1600/337,28/BD	19,914	18,625	1,9914	1,8625
RE-CA11-2400/120/BD	19,167	20,625	1,9167	2,0625
RE-CA12-2400/300/BD	19,167	18,710	1,9167	1,8710
RE-CA13-2731,37/210/BD	17,960	18,024	1,7960	1,8024

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN



Delaminación RE-CA2-800/120/BD

Tabla 3. 9: Evaluación de delaminación de salida con broca de diamante en material compuesto (RP+CA)





Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación de salida
Fecha de ejecución:	07/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

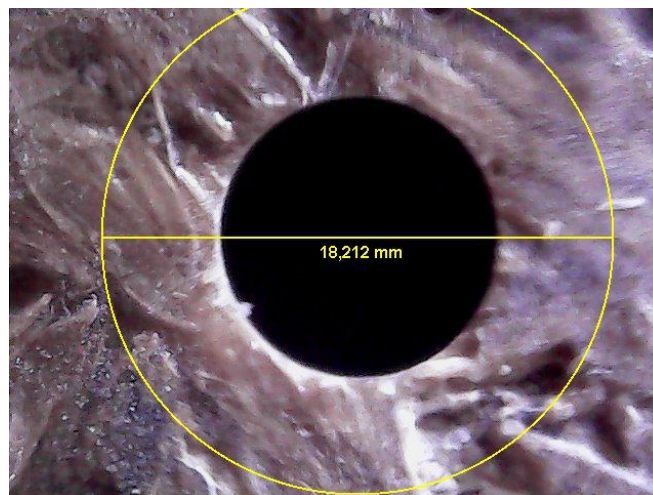
PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Para kevlar Ø 10mm	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Epoxi	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%

REGISTRO DE MEDICIONES DE DELAMINACIÓN DE SALIDA (mm)

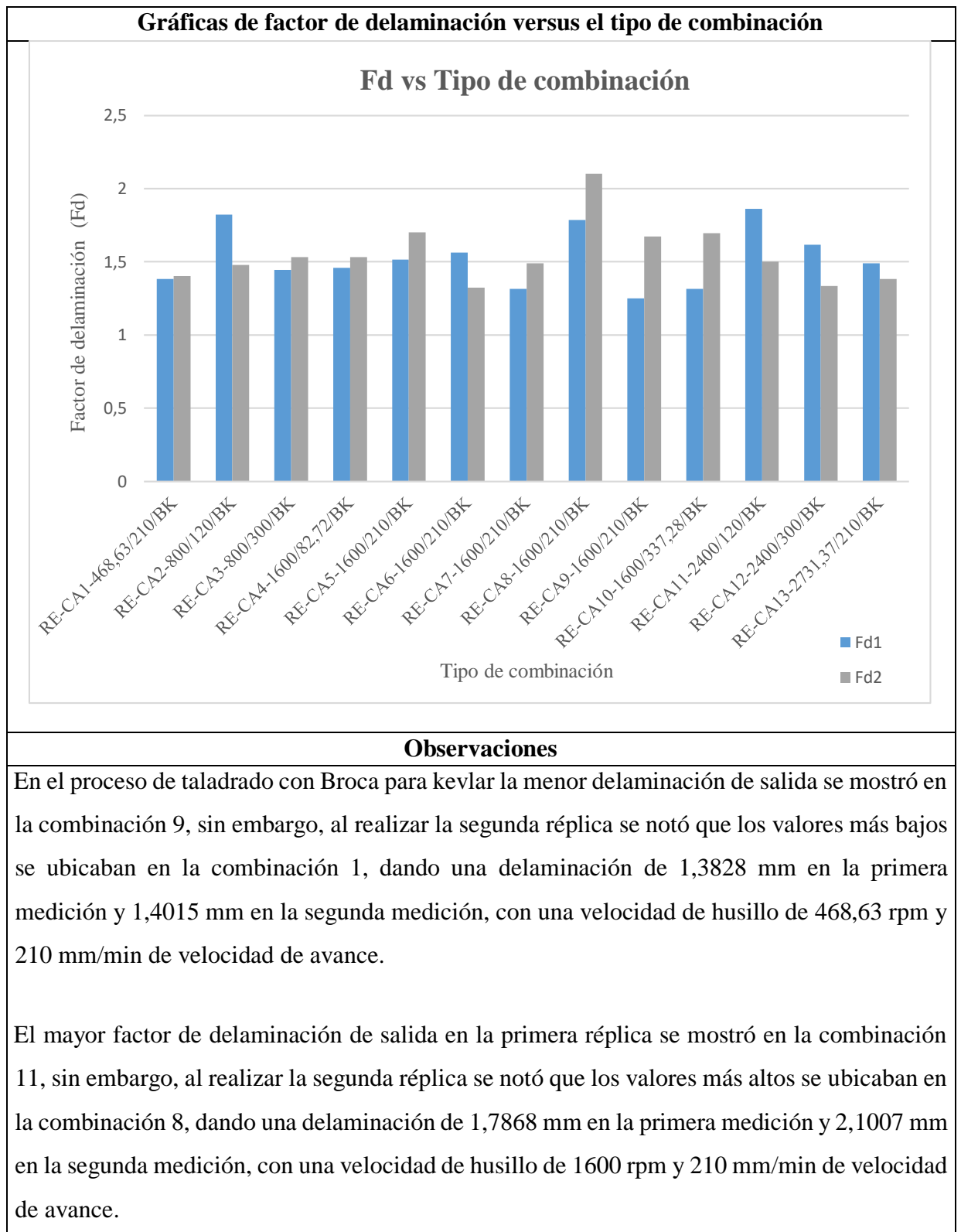
Código	R1	R2	Fd1	Fd2
RE-CA1-468,63/210/BK	13,828	14,015	1,3828	1,4015
RE-CA2-800/120/BK	18,212	14,779	1,8212	1,4779
RE-CA3-800/300/BK	14,457	15,331	1,4457	1,5331
RE-CA4-1600/82,72/BK	14,583	15,333	1,4583	1,5333
RE-CA5-1600/210/BK	15,154	17,014	1,5154	1,7014
RE-CA6-1600/210/BK	15,625	13,237	1,5625	1,3237
RE-CA7-1600/210/BK	13,162	14,892	1,3162	1,4892
RE-CA8-1600/210/BK	17,868	21,007	1,7868	2,1007
RE-CA9-1600/210/BK	12,500	16,729	1,2500	1,6729
RE-CA10-1600/337,28/BK	13,154	16,942	1,3154	1,6942
RE-CA11-2400/120/BK	18,622	15,000	1,8622	1,5000
RE-CA12-2400/300/BK	16,159	13,345	1,6159	1,3345
RE-CA13-2731,37/210/BK	14,886	13,832	1,4886	1,3832

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN



Delaminación RE-CA2-800/120/BK

Tabla 3. 10: Evaluación de delaminación de salida con broca para kevlar en material compuesto (RE+CA)



Fuente: Autor



Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación de salida
Fecha de ejecución:	08/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Cubierta de diamante Ø 10	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Poliéster	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%

REGISTRO DE MEDICIONES DE DELAMINACIÓN DE SALIDA (mm)

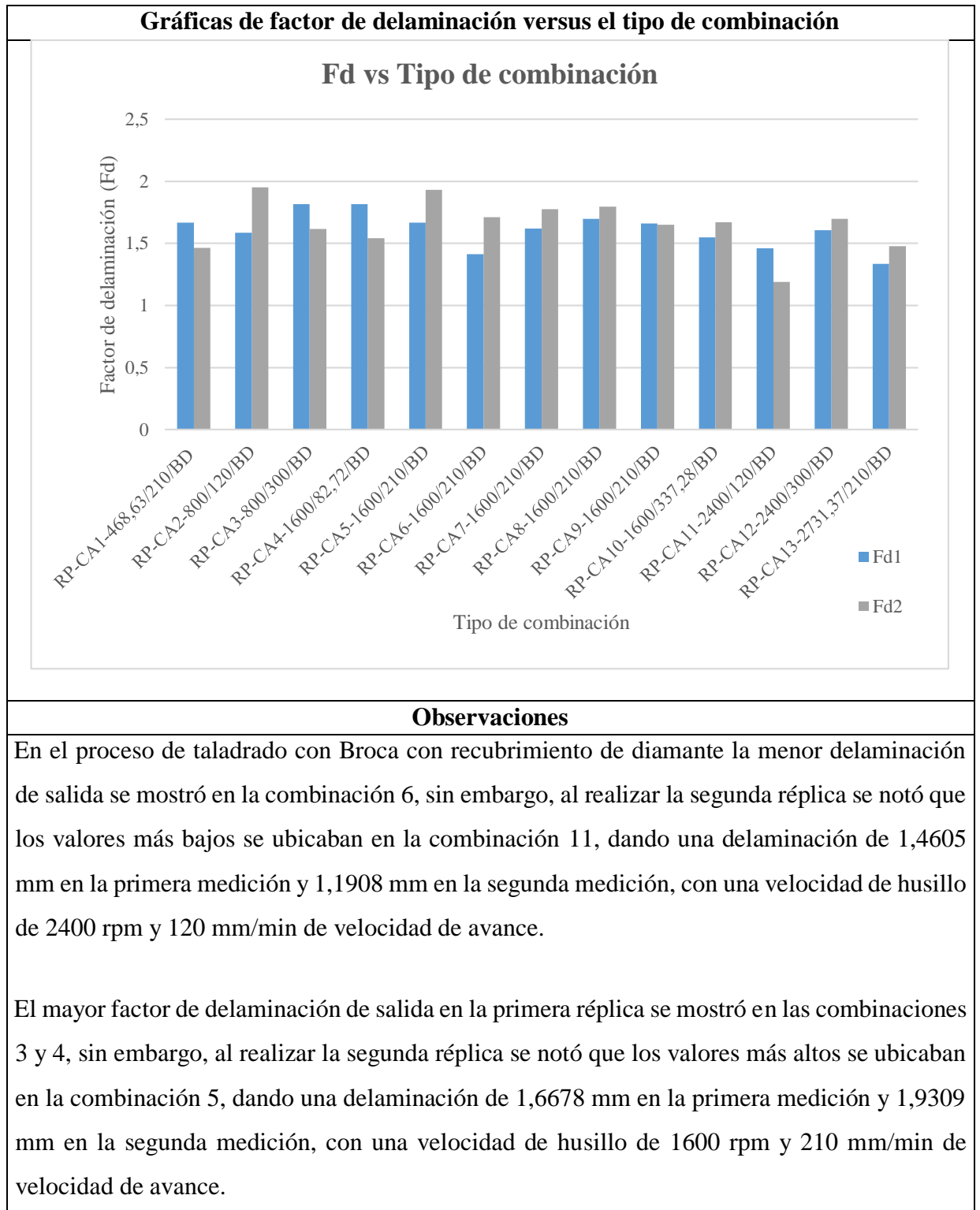
Código	R1	R2	Fd1	Fd2
RP-CA1-468,63/210/BD	16,678	14,631	1,6678	1,4631
RP-CA2-800/120/BD	15,855	19,530	1,5855	1,9530
RP-CA3-800/300/BD	18,158	16,151	1,8158	1,6151
RP-CA4-1600/82,72/BD	18,158	15,428	1,8158	1,5428
RP-CA5-1600/210/BD	16,678	19,309	1,6678	1,9309
RP-CA6-1600/210/BD	14,128	17,105	1,4128	1,7105
RP-CA7-1600/210/BD	16,184	17,765	1,6184	1,7765
RP-CA8-1600/210/BD	16,974	17,961	1,6974	1,7961
RP-CA9-1600/210/BD	16,611	16,513	1,6611	1,6513
RP-CA10-1600/337,28/BD	15,493	16,711	1,5493	1,6711
RP-CA11-2400/120/BD	14,605	11,908	1,4605	1,1908
RP-CA12-2400/300/BD	16,074	16,974	1,6074	1,6974
RP-CA13-2731,37/210/BD	13,355	14,770	1,3355	1,4770

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN



Delaminación RP-CA2-800/120/BD

Tabla 3. 11: Evaluación de delaminación de salida con broca de diamante en material compuesto (RP+CA)





Ficha de recolección de datos y evaluación del factor de delaminación (Fd)

DATOS INFORMATIVOS

Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Factor de delaminación de salida
Fecha de ejecución:	07/01/2019	Equipo:	Digital USB Microscope 1000x
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato		
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez

PARÁMETROS DE TALADRADO

Tipo de broca:	Para kevlar Ø 10mm	Estratificación:	Por compresión
Matriz:	Poliéster	F. Volumétrica	83%
Refuerzo:	Cascarilla de arroz	F. Volumétrica	17%

REGISTRO DE MEDICIONES DE DELAMINACIÓN DE SALIDA (mm)

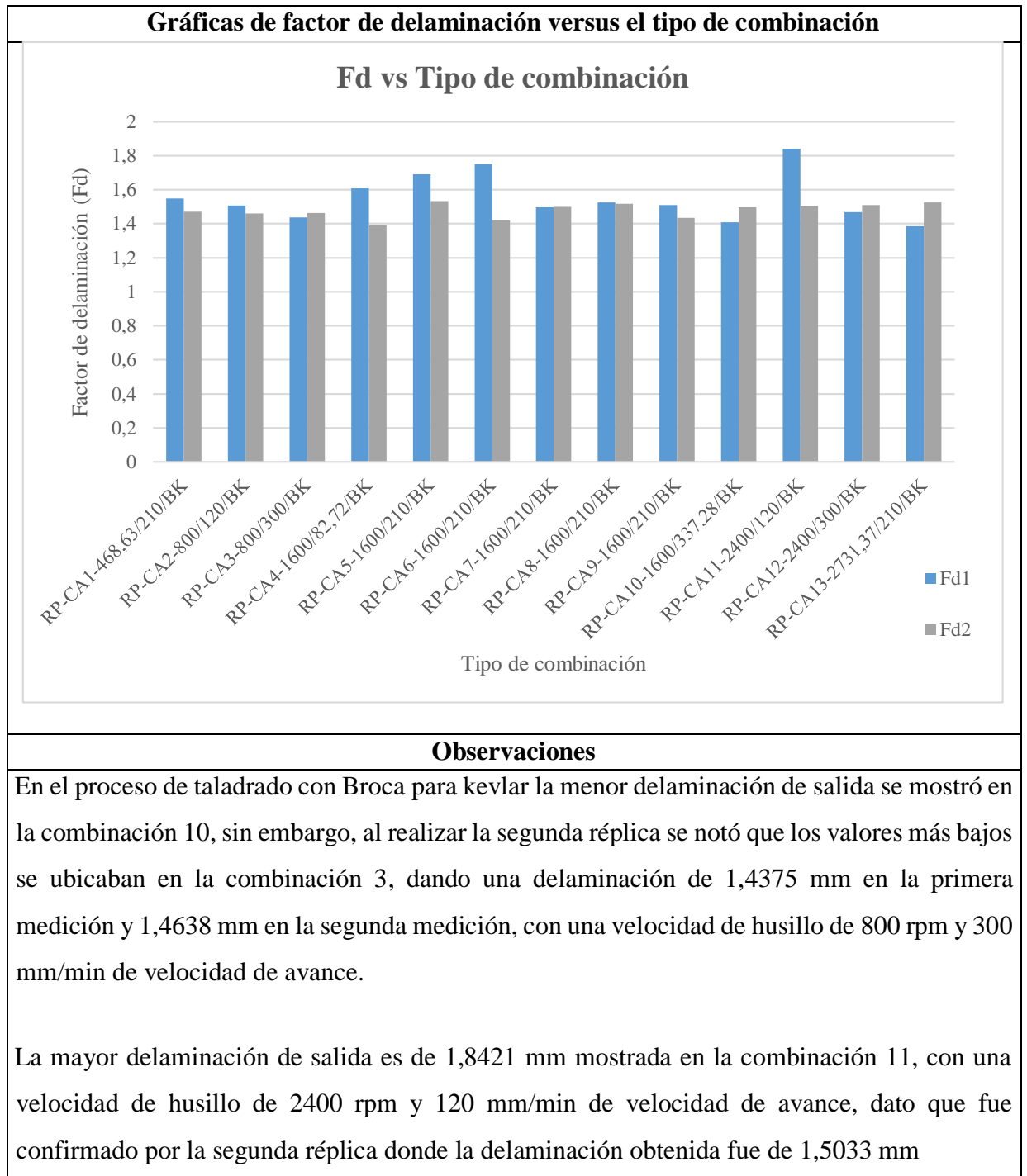
Código	R1	R2	Fd1	Fd2
RP-CA1-468,63/210/BK	15,493	14,704	1,5493	1,4704
RP-CA2-800/120/BK	15,066	14,605	1,5066	1,4605
RP-CA3-800/300/BK	14,375	14,638	1,4375	1,4638
RP-CA4-1600/82,72/BK	16,086	13,914	1,6086	1,3914
RP-CA5-1600/210/BK	16,908	15,329	1,6908	1,5329
RP-CA6-1600/210/BK	17,500	14,178	1,7500	1,4178
RP-CA7-1600/210/BK	14,967	15,000	1,4967	1,5000
RP-CA8-1600/210/BK	15,263	15,164	1,5263	1,5164
RP-CA9-1600/210/BK	15,099	14,342	1,5099	1,4342
RP-CA10-1600/337,28/BK	14,079	14,967	1,4079	1,4967
RP-CA11-2400/120/BK	18,421	15,033	1,8421	1,5033
RP-CA12-2400/300/BK	14,671	15,099	1,4671	1,5099
RP-CA13-2731,37/210/BK	13,849	15,263	1,3849	1,5263

FOTOGRAFÍA DE MEDICIÓN DE DELAMINACIÓN



Delaminación RP-CA2-800/120/BK

Tabla 3. 12: Evaluación de delaminación de salida con broca de kevlar en material compuesto (RP+CA)



3.1.2. Resultados

3.1.2.1 Análisis de datos de la rugosidad

Verificación de supuestos

Se tiene presente que la metodología de superficie de respuesta basa su aplicación en usar el ANOVA, por lo que es necesario que los datos cumplan con los supuestos paramétricos requeridos para la validez de los resultados. Esos supuestos son: normalidad en los datos, igualdad de varianza en los tratamientos e independencia en las mediciones.

Verificación del supuesto de normalidad

Para verificar este supuesto en los datos de la rugosidad se aplica la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Se concluye de la prueba que los datos originales superan el valor mínimo requerido para aceptar normalidad, siendo este el valor- p de 0,065; sin embargo, se requiere verificar nuevamente tras la transformación de los datos de la rugosidad debido al incumplimiento del supuesto de igualdad de varianza.

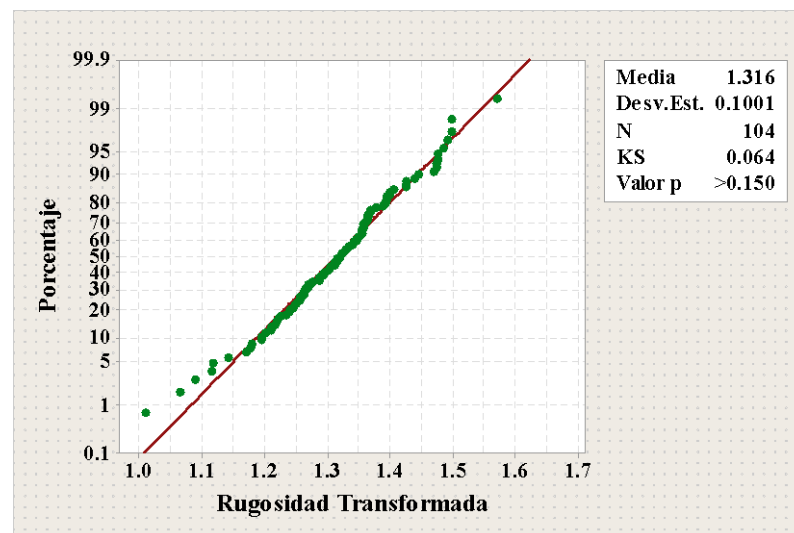


Figura 3. 1: Gráfica de probabilidad normal de la rugosidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Aplicando la transformación requerida se asegura nuevamente que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, esta vez con un valor- p mayor que 0.150, el estadístico evaluado se detalla en la figura 3.1

Verificación del supuesto de igualdad de varianza

La prueba aplicada para corroborar que los tratamientos de los datos de rugosidad tengan igual varianza, es la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

La rugosidad inicialmente no cumple con este supuesto, teniendo un valor- p igual a 0,009, por lo que se requiere transformar los datos originales mediante el parámetro λ igual a 0,3. Posterior a la transformación, se efectúa otra verificación en la cual la prueba nos indica un valor- p igual a 0,05, por lo que este es el valor mínimo aceptable para expresar que los tratamientos de la rugosidad si cumplen con este supuesto.

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 viable de corroborar independencia es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos de la rugosidad.

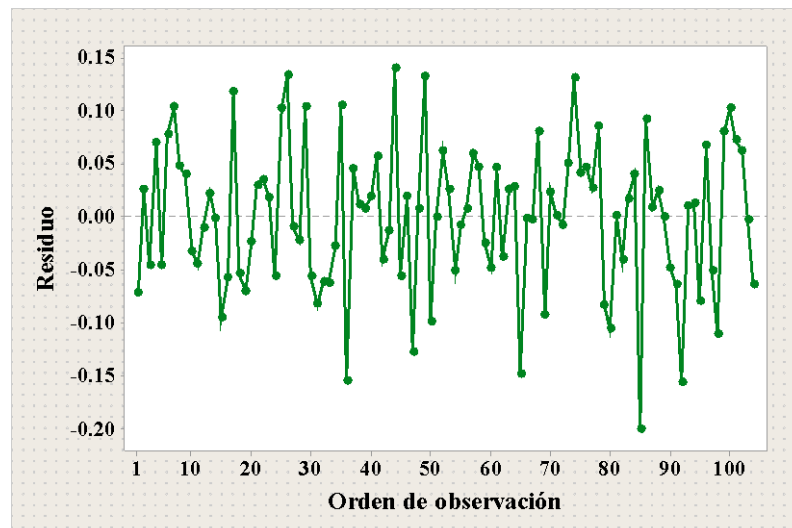


Figura 3. 2: Gráfica del Orden de observación vs. Residuos de la rugosidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.2 se visualiza que no existe ninguna tendencia o patrón definido, por lo que se afirma que existe independencia en los residuos de los datos transformados de la rugosidad, se evalúan los datos transformados debido al requerimiento de transformación para estabilizar varianza.

Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MRS)

Teniendo claro que los datos transformados cumplen con los supuestos se realiza un primer análisis en el que se involucra todos los términos de un modelo de segundo orden, del cual, tras la aplicación del ANOVA se enfoca el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la figura 3.3, esto se realiza para descartar los efectos que no influyen significativamente en la rugosidad.

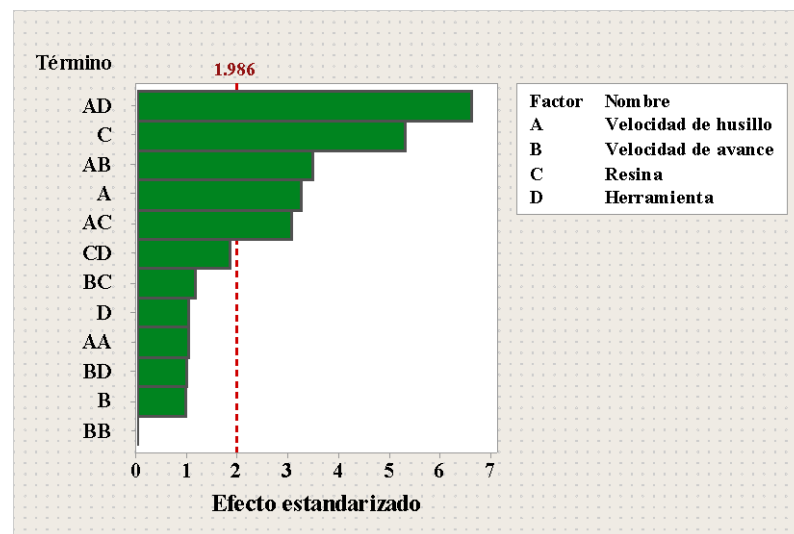


Figura 3. 3: Diagrama de Pareto de los efectos para la rugosidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Luego de depurar el modelo podemos efectuar un nuevo ANOVA de los efectos que se consideraron estadísticamente significativos, este análisis se describe en la Tabla 3.13, el modelo final describe en un 52.13% la variabilidad de la rugosidad y este se asemeja a un modelo de primer orden ya que no cuenta con la participación de 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 de 0,000, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05.

La falta de ajuste es estadísticamente significativa por lo que se puede aseverar que hay términos de mayor grado que no se están analizando o factores que no se incluyen en el modelo, incluirlos aumentaría en gran medida a la descripción de la variabilidad de la rugosidad.

Tabla 3. 13: ANOVA para la rugosidad.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrado medio	F₀	Valor-p
Modelo	0,5376	7	0,0768	14,94	0,000
Velocidad de husillo	0,0538	1	0,0538	10,46	0,002
Velocidad de avance	0,0048	1	0,0048	0,93	0,338
Resina	0,1421	1	0,1421	27,64	0,000
Herramienta	0,0054	1	0,0054	1,05	0,308
Vel husillo * Vel avance	0,0617	1	0,0617	11,99	0,001
Vel husillo * Resina	0,0477	1	0,0477	9,27	0,003
Vel husillo * Herram	0,2222	1	0,2222	43,22	0,000
Falta de ajuste	0,2482	28	0,0089	2,46	0,001
Error puro	0,2454	68	0,0036		
Total	1,0311	103			

Fuente: Autor

Para corroborar los efectos 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 3.4, donde se especifica que los efectos de la velocidad de husillo y la resina influyen positivamente en la rugosidad, haciendo que esta aumente a medida que se sube el nivel de dichos factores, asimismo se evidencia que los efectos de las interacciones entre la velocidad de husillo con la herramienta, la velocidad de husillo con la velocidad de avance y la velocidad de husillo con la resina; influyen negativamente a la rugosidad, haciendo que esta disminuya a medida que se aumenta el nivel de dichos factores.

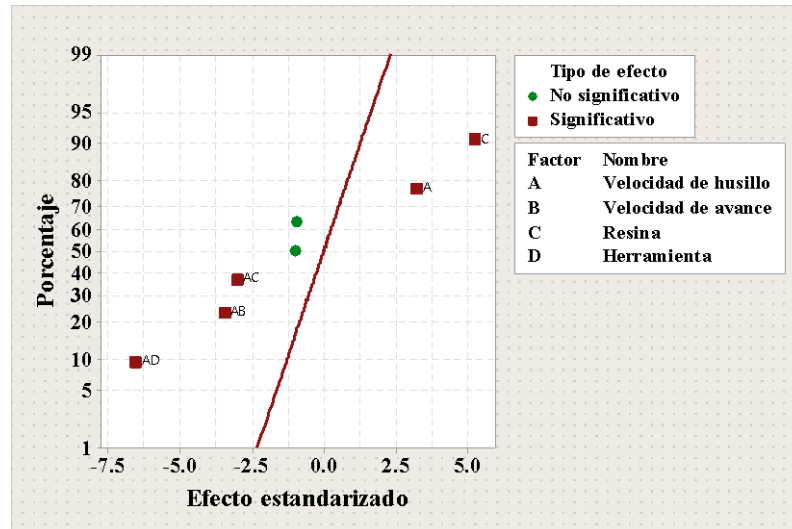


Figura 3. 4: Gráfica de probabilidad normal de los efectos de la rugosidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Teniendo un análisis más específico se trata la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la figura 3.5, esta indica que los efectos de la velocidad de husillo y la resina tienen efectos más grandes sobre la rugosidad, gráficamente se los compara tomando en consideración la considerable diferencia entre sus pendientes.

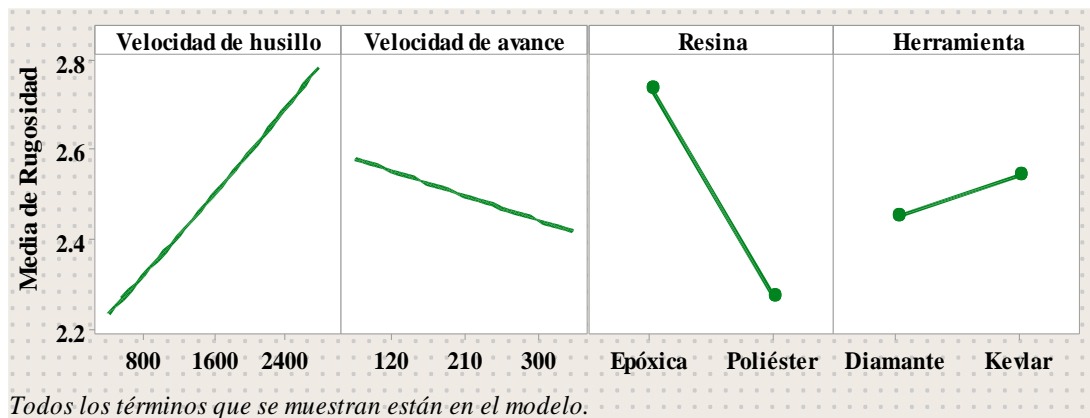


Figura 3. 5: Gráfica de efectos principales para la rugosidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la figura 3.6, todas las interacciones; sin embargo, de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa.

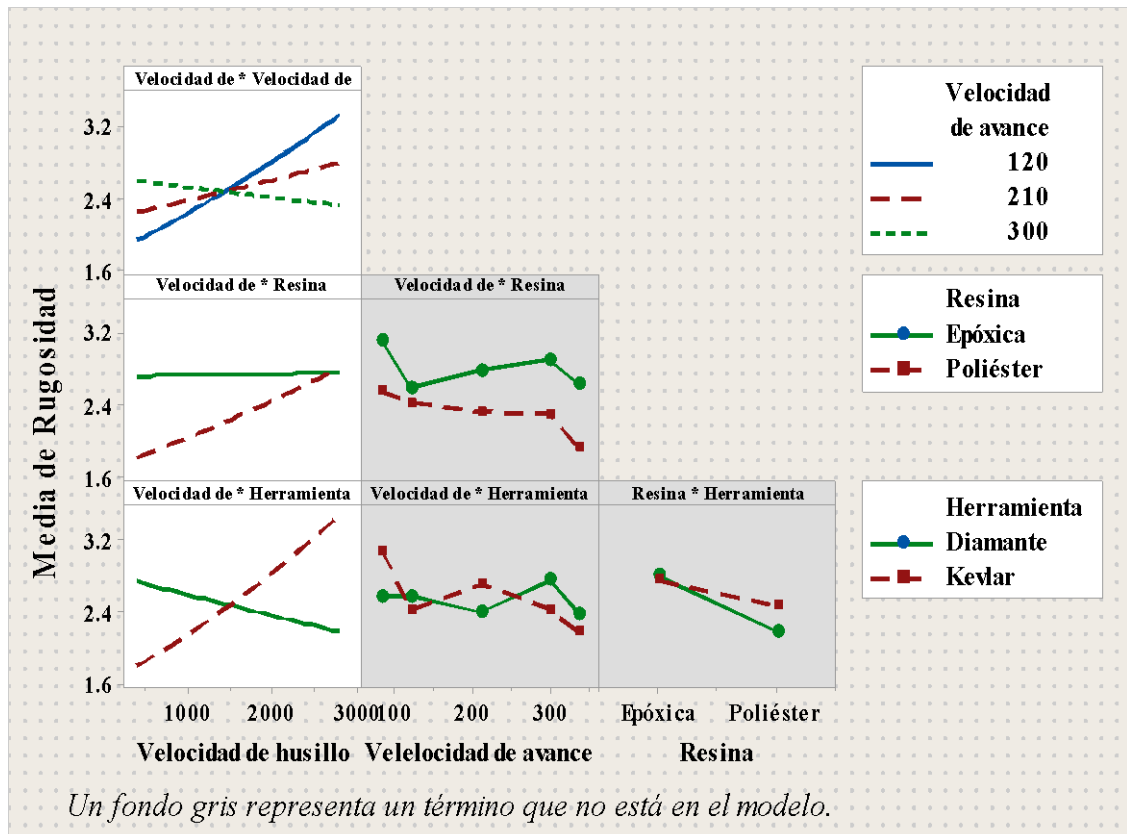


Figura 3. 6: Gráfica de interacción para la rugosidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se visualiza en la figura 3.6, que los efectos de las interacciones entre: la velocidad de husillo con la velocidad de avance, la velocidad de husillo con la resina y la velocidad de husillo con la herramienta influyen significativamente en la rugosidad.

De acuerdo al modelo analizado en el ANOVA, se obtienen cuatro ecuaciones de regresión debido a la combinación de factores categóricos, cada ecuación genera una superficie que se dispone en la figura 3.7, figura 3.8, figura 3.9, figura 3.10

En la figura 3.7, se presenta la rugosidad para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Epóxica y la herramienta con un recubrimiento de Diamante; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor de rugosidad es al emplear velocidades altas.

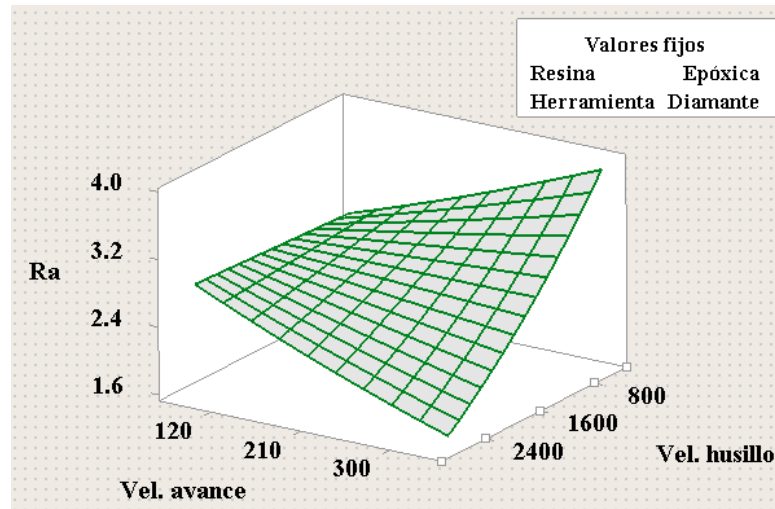


Figura 3. 7: Gráfica de superficie de rugosidad vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta con recubrimiento de Diamante.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se presenta la rugosidad en la figura 3.8, para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Epóxica y la herramienta con un recubrimiento de Kevlar; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor de rugosidad es al emplear velocidades bajas.

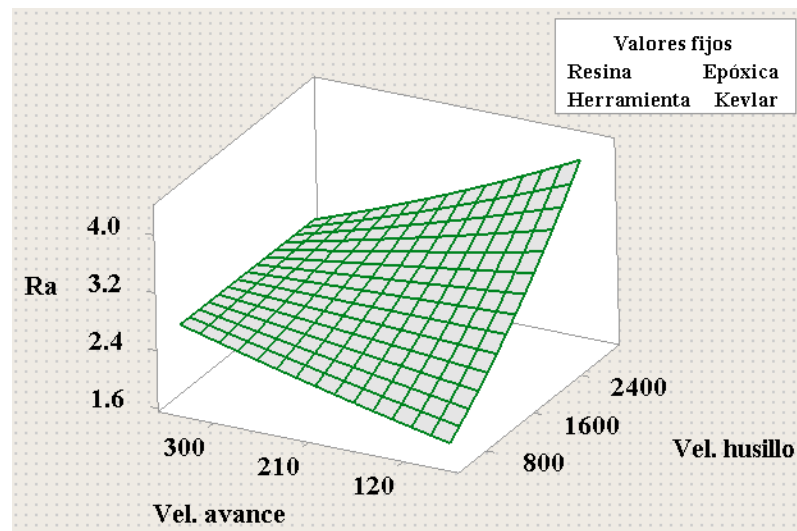


Figura 3. 8: Gráfica de superficie de rugosidad vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta para Kevlar.

Fuente: Minitab® Statistical Software

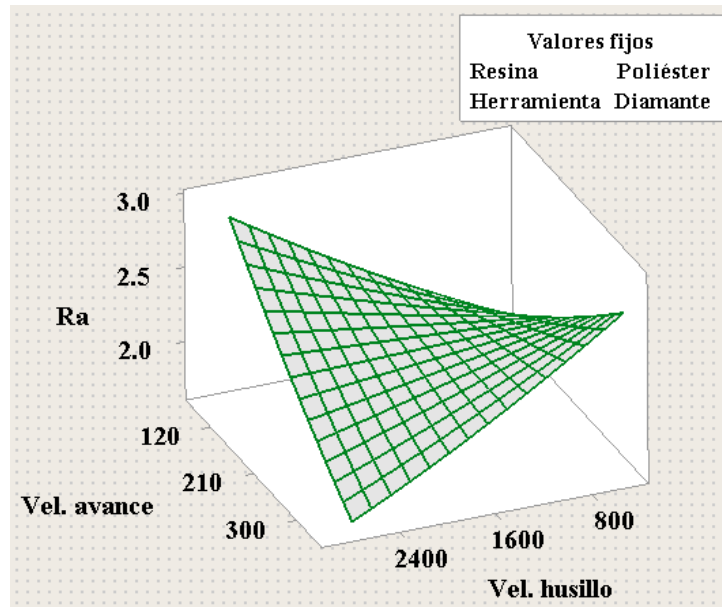


Figura 3. 9: Gráfica de superficie de rugosidad vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta con recubrimiento de Diamante.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se presenta la rugosidad en la figura 3.9, para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Poliéster y la herramienta con un recubrimiento de Diamante; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor de rugosidad es al emplear velocidades altas.

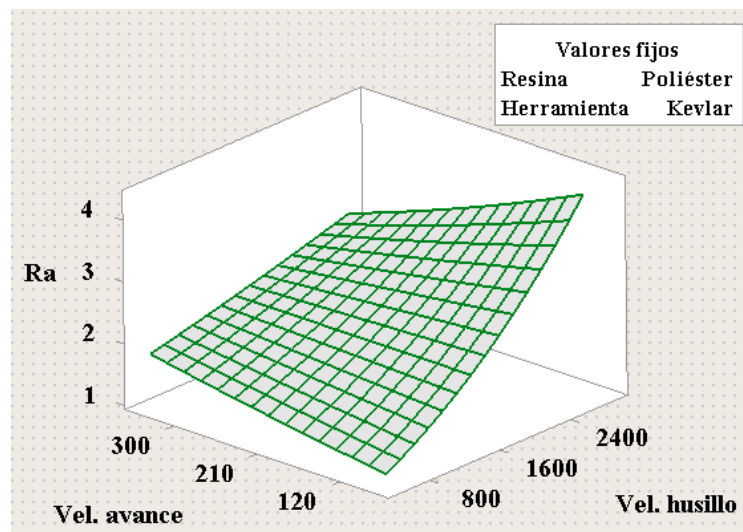


Figura 3. 10: Gráfica de superficie de rugosidad vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta para Kevlar.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.10, se presenta la rugosidad para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Poliéster y la herramienta para kevlar; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor de rugosidad es al emplear una velocidad baja.

Optimización individual de la rugosidad

El método empleado para encontrar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se especifica parámetros de acuerdo a los datos medidos de rugosidad y se tiene claro que el objetivo es minimizar la misma.

Los parámetros considerados se detallan en la figura 3.11, en la que también se especifica el punto óptimo para los 4 factores analizados: Velocidad de husillo, velocidad de avance, tipo de resina y recubrimiento de la herramienta.

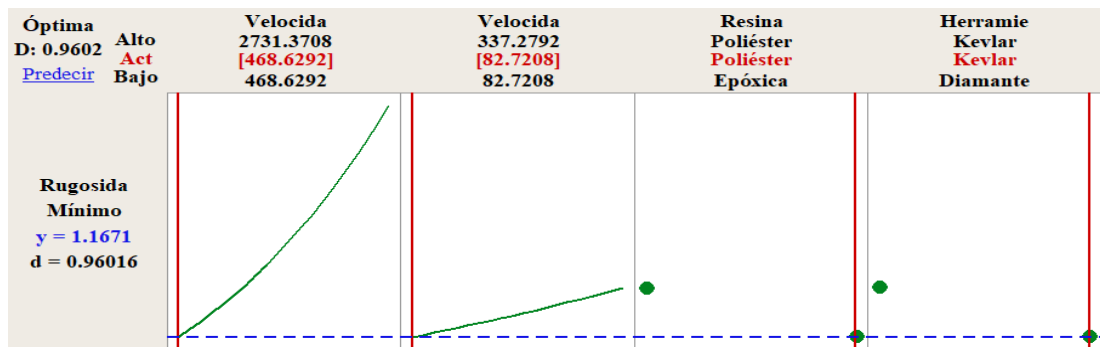


Figura 3. 11: Gráfica de optimización para la rugosidad.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan la rugosidad minimizando el valor de la misma, se detallan en la tabla 3.14, en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo.

Tabla 3. 14: Valores predichos para el punto óptimo.

Factores		Respuesta	
Velocidad de husillo	468,629 rpm	Rugosidad	1,1671 μm
Velocidad de avance	82,721 mm/min		
Resina	Poliéster		
Herramienta	Kevlar		

Fuente: Autor

3.1.2.2. Análisis de datos de la delaminación de entrada

Verificación del supuesto de normalidad

Para verificar este supuesto en los datos del factor de delaminación de entrada se aplica la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Se concluye de la prueba que los datos originales superan el valor mínimo requerido para aceptar normalidad, siendo este el valor- p mayor que 0,15; sin embargo, se requiere verificar nuevamente tras la transformación de los datos del factor de delaminación entrada debido al incumplimiento del supuesto de igualdad de varianza.

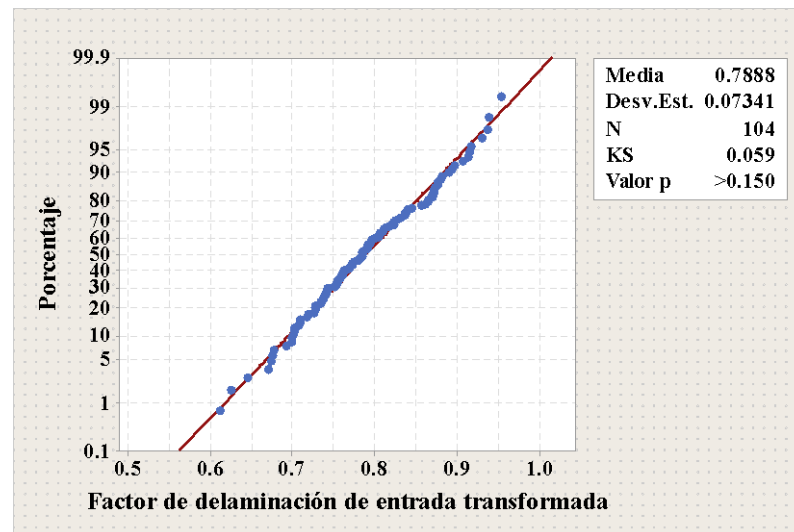


Figura 3. 12: Gráfica de probabilidad normal del factor de delaminación de entrada.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Aplicando la transformación requerida se asegura nuevamente que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, esta vez con un valor- p mayor que 0.150, el estadístico evaluado se detalla en la figura 3.12

Verificación del supuesto de igualdad de varianza

La prueba aplicada para corroborar que los tratamientos de los datos del factor de delaminación de entrada tengan igual varianza, es la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

El factor de delaminación de entrada inicialmente no cumple con este supuesto, teniendo un valor- p igual a 0,035, por lo que se requiere transformar los datos originales mediante el parámetro λ igual a -1. Posterior a la transformación, se efectúa otra verificación en la cual la prueba nos indica un valor- p igual a 0,051, por lo que este es el valor mínimo aceptable para expresar que el tratamiento del factor de delaminación de entrada si cumplen con este supuesto.

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 viable de corroborar independencia es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos del factor de delaminación de entrada.

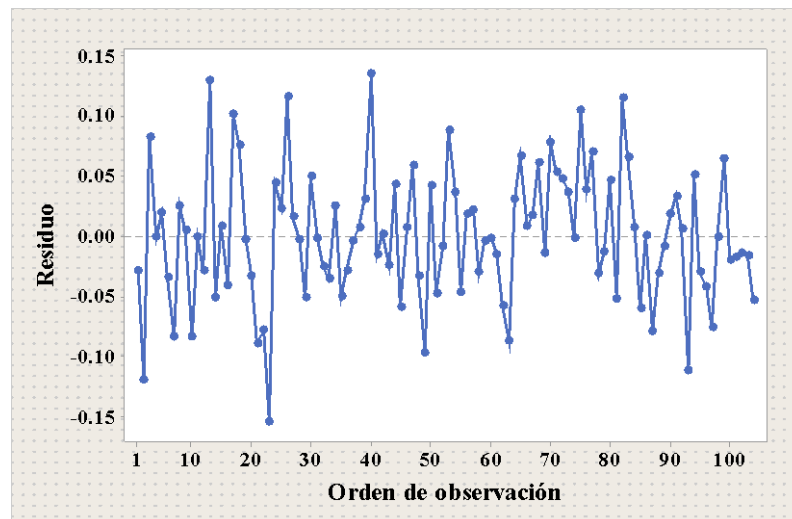


Figura 3. 13: Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del factor de delaminación de entrada.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MRS)

Teniendo claro que los datos transformados cumplen con los supuestos se realiza un primer análisis en el que se involucra todos los términos de un modelo de segundo orden, del cual, tras la aplicación del ANOVA se enfoca el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en la figura 3.14, esto se realiza para descartar los efectos que no influyen significativamente en el factor de delaminación de entrada.

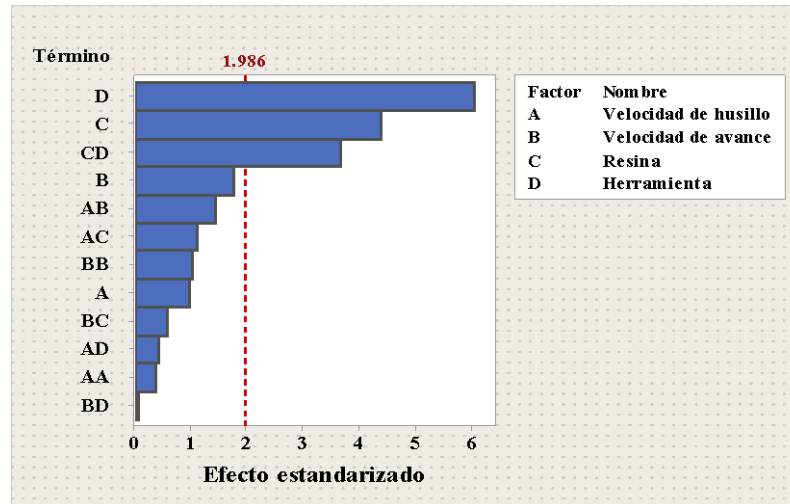


Figura 3. 14:Diagrama de Pareto de los efectos para el factor de delaminación de entrada.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Del ANOVA se puede destacar que al menos dos tratamientos del factor de delaminación de entrada tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,000, lo cual contrasta con la significancia predefinida de 0,05. La falta de ajuste es estadísticamente significativa por lo que se puede aseverar que hay términos de mayor grado que no se están analizando o factores que no se incluyen en el modelo, incluirlos aumentaría en gran medida a la descripción de la variabilidad del factor de delaminación.

Tabla 3. 15: ANOVA para el factor de delaminación de entrada.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrado medio	F_0	Valor- p
Modelo	0,2408	5	0,0482	15,02	0,000
Velocidad de husillo	0,0031	1	0,0031	0,97	0,326
Velocidad de avance	0,0102	1	0,0102	3,19	0,007
Resina	0,0629	1	0,0629	19,62	0,000
Herramienta	0,1201	1	0,1201	37,45	0,000
Resina * Herramienta	0,0445	1	0,0445	13,87	0,000
Falta de ajuste	0,1610	30	0,0054	2,38	0,002
Error puro	0,1533	68	0,0023		
Total	0,5551	103			

Fuente: Autor

Luego de depurar el modelo podemos efectuar un nuevo ANOVA de los efectos que se consideraron estadísticamente significativos, este análisis se describe en la Tabla 3.15, el modelo final describe en un 43,39% la variabilidad del factor de delaminación de entrada y este se asemeja a un modelo de primer orden ya que no cuenta con la participación de términos cuadráticos.

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el análisis final y de qué manera los mismos afectan al factor de delaminación de entrada, se detalla la gráfica de probabilidad normal de los efectos en la figura 3.15, donde se especifica que los efectos de la resina, de la herramienta y la interacción entre la resina y la herramienta; influyen negativamente al factor de delaminación de salida, haciendo que este disminuya a medida que se aumenta el nivel de dichos factores.

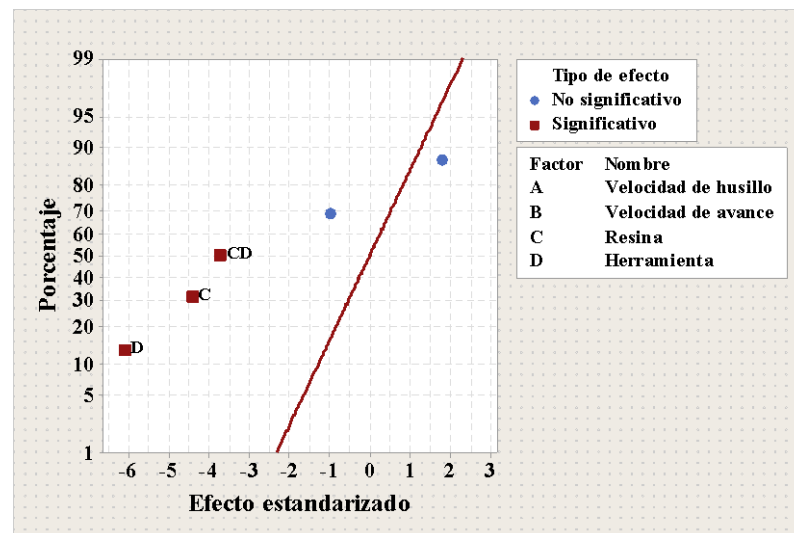


Figura 3. 15: Gráfica de probabilidad normal de los efectos del factor de delaminación de entrada.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Teniendo un análisis más específico se trata la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la figura 3.16, esta indica que los efectos del recubrimiento de la herramienta y la resina, son los más grandes sobre el factor de delaminación de entrada, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor.

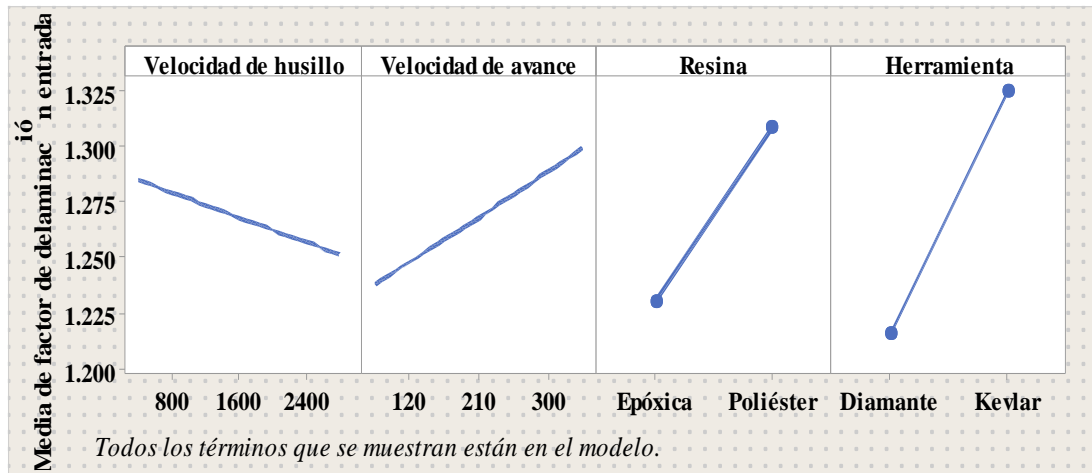


Figura 3. 16: Gráfica de efectos principales para el factor de delaminación de entrada.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la figura 3.17, todas las interacciones; sin embargo, de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa.

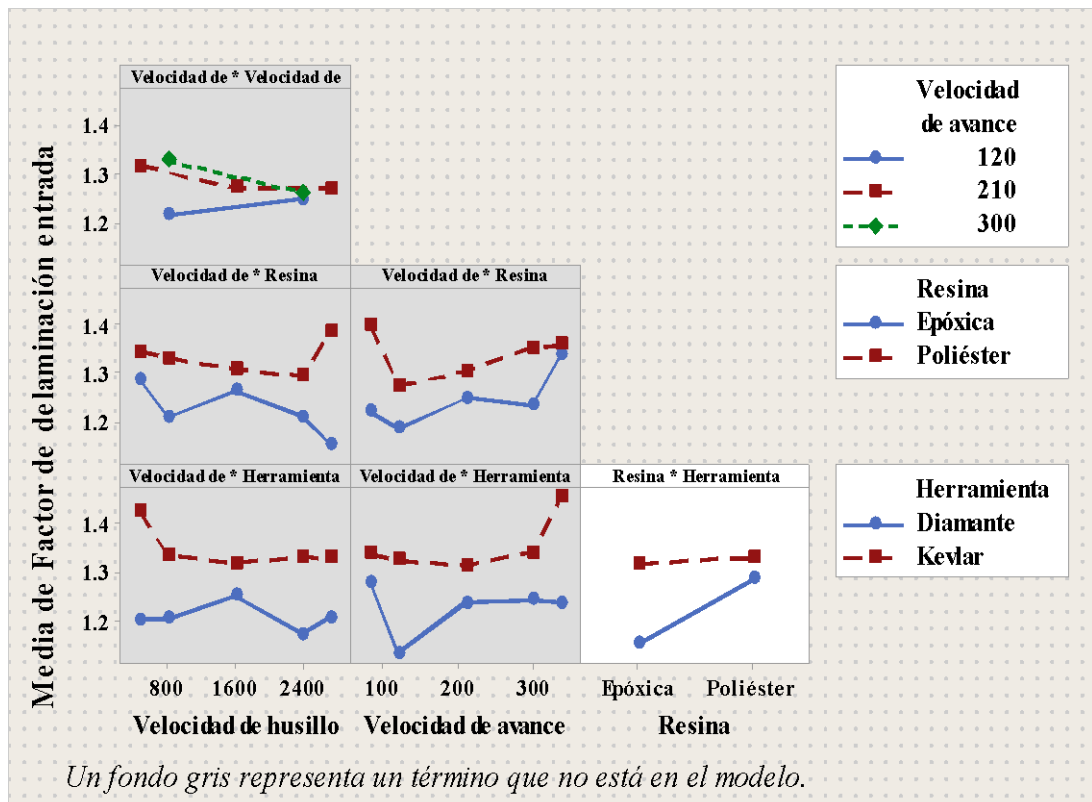


Figura 3. 17: Gráfica de interacción para el factor de delaminación de entrada.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se visualiza en la figura 3.17 que los efectos de las interacciones entre: la resina y el recubrimiento de la herramienta influyen significativamente en el factor de delaminación de entrada.

De acuerdo al modelo analizado en el ANOVA, se obtienen cuatro ecuaciones de regresión debido a la combinación de factores categóricos, cada ecuación genera una superficie que se dispone en la figura 3.18, figura 3.19, figura 3.20, figura 3.21

En la figura 3.18, se presenta el factor de delaminación de entrada para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Epóxica y la herramienta con un recubrimiento de Diamante; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor del factor de delaminación de entrada es al emplear una velocidad de husillo alta y una velocidad de avance baja.

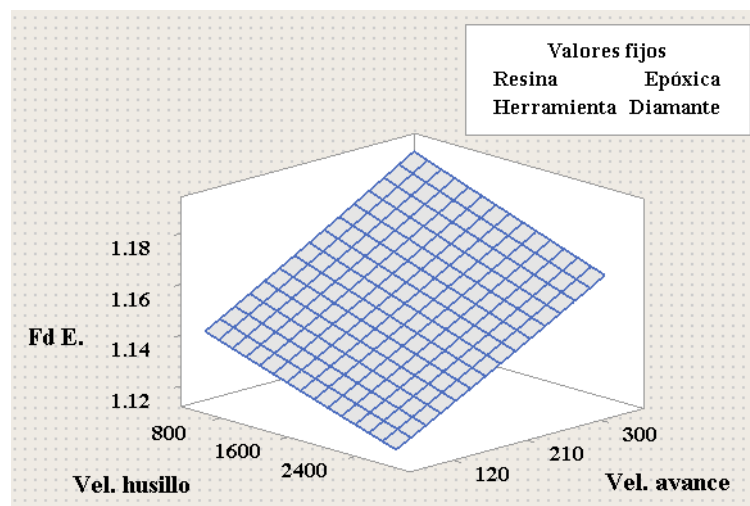


Figura 3. 18: Gráfica de superficie del factor de delaminación de entrada vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta con Diamante.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se presenta el factor de delaminación de entrada en figura 3.19, para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Epóxica y la herramienta con un recubrimiento de Kevlar; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor del factor de delaminación de entrada es al emplear una velocidad de husillo alta y una velocidad de avance baja.

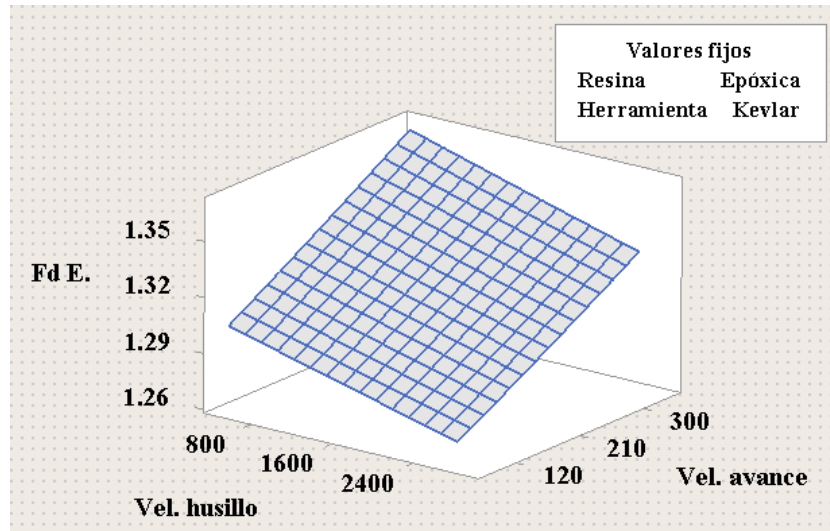


Figura 3. 19: Gráfica de superficie del factor de delaminación de entrada vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta para Kevlar.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se presenta el factor de delaminación de entrada en la figura 3.20, para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Poliéster y la herramienta con un recubrimiento de Diamante; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor del factor de delaminación de entrada es al emplear una velocidad de husillo alta y una velocidad de avance baja.

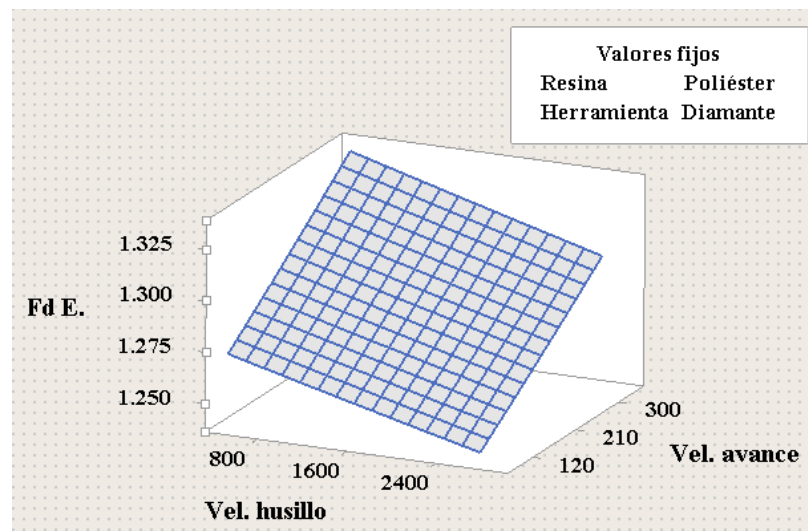


Figura 3. 20: Gráfica de superficie del factor de delaminación de entrada vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta con Diamante.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.21, se presenta el factor de delaminación de entrada para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Poliéster y la herramienta para kevlar; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor del factor de delaminación de entrada es al emplear una velocidad de husillo alta y una velocidad de avance baja.

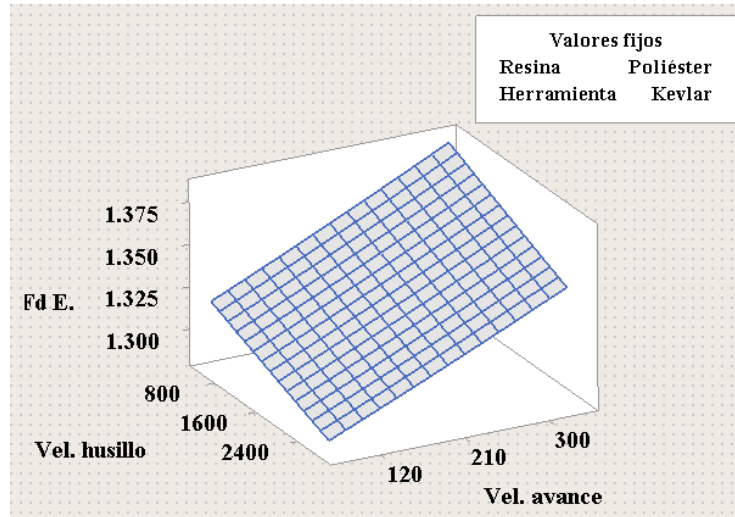


Figura 3. 21:Gráfica de superficie del factor de delaminación de entrada vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta para Kevlar.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Optimización individual de la rugosidad

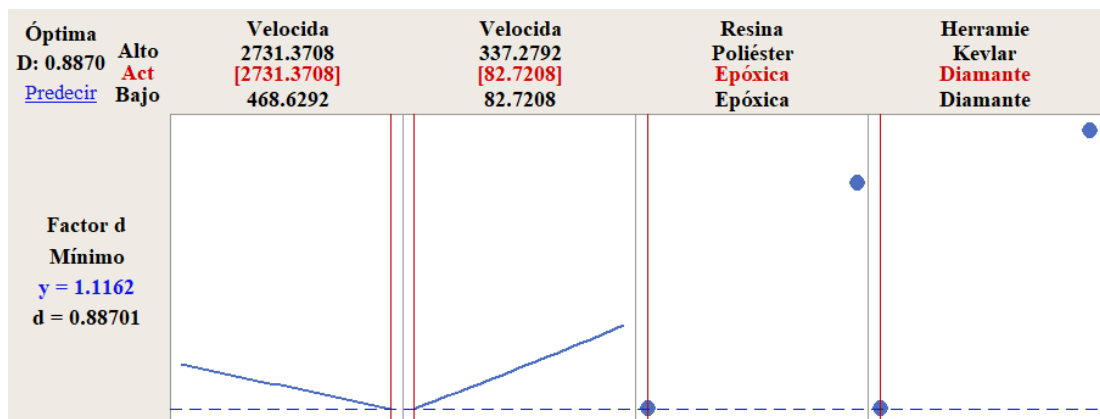


Figura 3. 22:Gráfica de optimización para el factor de delaminación de entrada.

Fuente: Minitab® Statistical Software

El método empleado para encontrar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se especifica parámetros de acuerdo a los datos medidos del factor de delaminación de entrada y se tiene claro que el objetivo es minimizar la misma.

Los parámetros considerados se detallan en la figura 3.21, en la que también se especifica el punto óptimo para los 4 factores analizados: Velocidad de husillo, velocidad de avance, tipo de resina y recubrimiento de la herramienta.

Los niveles de cada factor que optimizan el factor de delaminación de entrada minimizando el valor de la misma, se detallan en la tabla 3.16, en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo.

Tabla 3. 16: Valores predichos para el punto óptimo del factor de delaminación de entrada.

Factores		Respuesta	
Velocidad de husillo	2731,37 rpm	Factor de delaminación entrada	1.1162
Velocidad de avance	82.721 mm/min		
Resina	Epóxica		
Herramienta	Diamante		

Fuente: Autor

3.1.2.3 Análisis de datos de la delaminación de salida

Verificación del supuesto de normalidad

Para verificar este supuesto en los datos del factor de delaminación de salida se aplica la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov, en la que se contrasta las significancias de la prueba con la significancia preestablecida.

Se concluye de la prueba que los datos originales no superan el valor mínimo requerido para aceptar normalidad, siendo este el valor- p menor que 0,001; es así que se requiere verificar nuevamente tras la transformación de los datos del factor de delaminación salida, debido al incumplimiento del supuesto de normalidad.

Aplicando la transformación requerida se asegura que los datos cumplen con el supuesto de normalidad, esta vez con un valor- p de 0.148, el estadístico evaluado se detalla en la figura 3.23

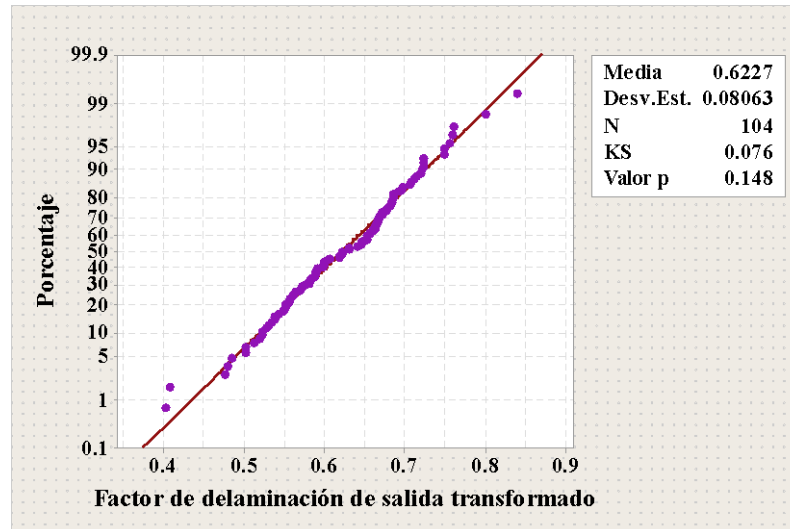


Figura 3. 23: Gráfica de probabilidad normal del factor de delaminación de salida.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Verificación del supuesto de igualdad de varianza

La prueba aplicada para corroborar que los tratamientos de los datos del factor de delaminación de salida tengan igual varianza, es la prueba de Levene, en la que se contrastan las significancias calcula y predefinida.

El factor de delaminación de salida inicialmente no cumple con este supuesto, teniendo un valor- p igual a 0,000, por lo que se requiere transformar los datos originales mediante el parámetro λ igual a -1. Posterior a la transformación, se efectúa otra verificación en la cual la prueba nos indica un valor- p igual a 0,051, por lo que este es el valor mínimo aceptable para expresar que los tratamientos del factor de delaminación de entrada si cumplen con este supuesto.

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 viable de corroborar independencia es efectuar un análisis de la información brindada por la gráfica del orden de observación contra los residuos del factor de delaminación de salida.

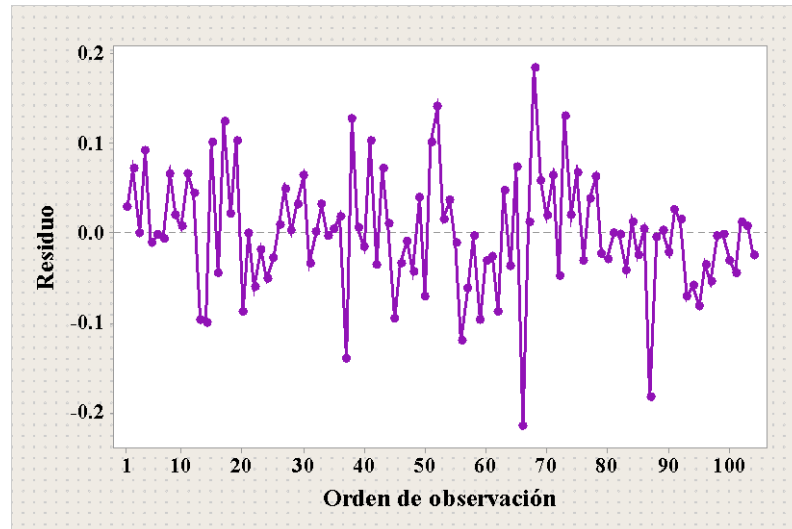


Figura 3. 24: Gráfica del Orden de observación vs. Residuos del factor de delaminación de salida.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.24, se visualiza que no existe ninguna tendencia o patrón definido, por lo que se afirma que existe independencia en los residuos de los datos transformados del factor de delaminación de salida, se evalúan los datos transformados debido al requerimiento de transformación para estabilizar varianza.

Aplicación de la metodología de superficie de respuesta (MRS)

Teniendo claro que los datos transformados cumplen con los supuestos se realiza un primer análisis en el que se involucra todos los términos de un modelo de segundo orden, del cual, tras la aplicación del ANOVA se enfoca el estudio en el diagrama de Pareto para los efectos, como se detalla en figura 3.25, esto se realiza para descartar los efectos que no influyen significativamente en el factor de delaminación de salida.

Luego de depurar el modelo podemos efectuar un nuevo ANOVA de los efectos que se consideraron estadísticamente significativos, este análisis se describe en la Tabla 3.17, el modelo final describe en un 34,57% la variabilidad del factor de delaminación de salida y este se asemeja a un modelo de primer orden ya que no cuenta con la participación de términos cuadráticos.

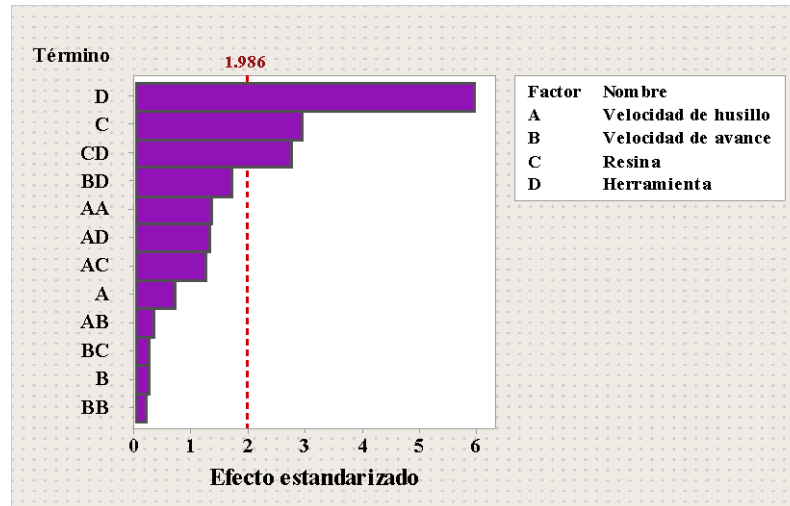


Figura 3. 25: Diagrama de Pareto de los efectos para el factor de delaminación de entrada.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Del ANOVA se puede destacar que al menos dos tratamientos del factor de delaminación de entrada tienen medias globales diferentes, ya que la significancia calculada es de 0,000, lo cual contrasta claramente con la significancia predefinida de 0,05.

La falta de ajuste es estadísticamente significativa por lo que se puede aseverar que hay términos de mayor grado que no se están analizando o factores que no se incluyen en el modelo, incluirlos aumentaría en gran medida a la descripción de la variabilidad del factor de delaminación de salida.

Tabla 3. 17: ANOVA para el factor de delaminación de salida.

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	G. L.	Cuadrado medio	F_0	Valor- p
Modelo	0,2315	5	0,0463	10,36	0,000
Velocidad de husillo	0,0022	1	0,0022	0,50	0,482
Velocidad de avance	0,0003	1	0,0003	0,06	0,809
Resina	0,0382	1	0,0382	8,54	0,004
Herramienta	0,1572	1	0,1572	35,16	0,000
Resina * Herramienta	0,0336	1	0,0336	7,53	0,007
Falta de ajuste	0,1460	30	0,1460	1,16	0,007
Error puro	0,2901	68	0,0049		
Total	0,6696	103			

Fuente: Autor

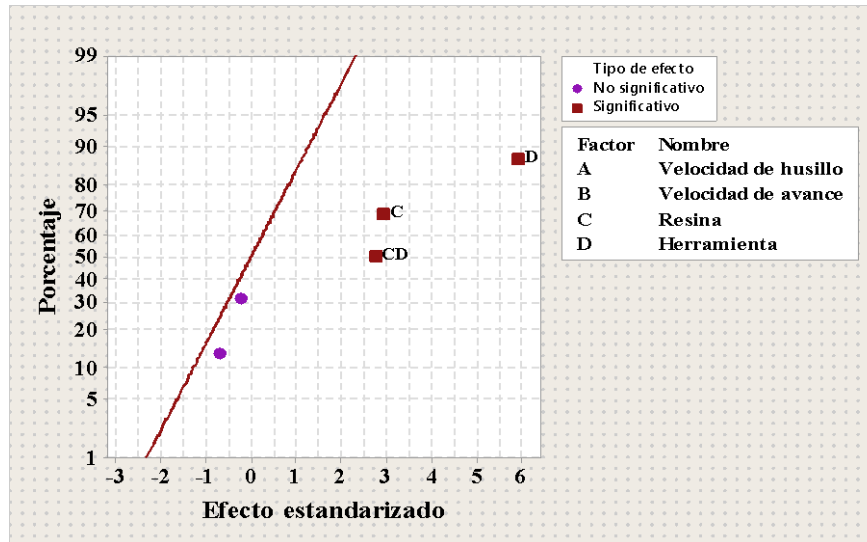


Figura 3. 26: Gráfica de probabilidad normal de los efectos del factor de delaminación de salida.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Para corroborar los efectos de los factores que se incluyen en el análisis final y de qué manera los mismos afectan al factor de delaminación de salida, se detalla la gráfica de probabilidad normal de los efectos en la figura 3.27, donde se especifica que los efectos del recubrimiento de la herramienta, el tipo de resina y la interacción entre la resina y la herramienta; influyen positivamente al factor de delaminación de salida, haciendo que este aumente a medida que se aumenta el nivel de dichos factores

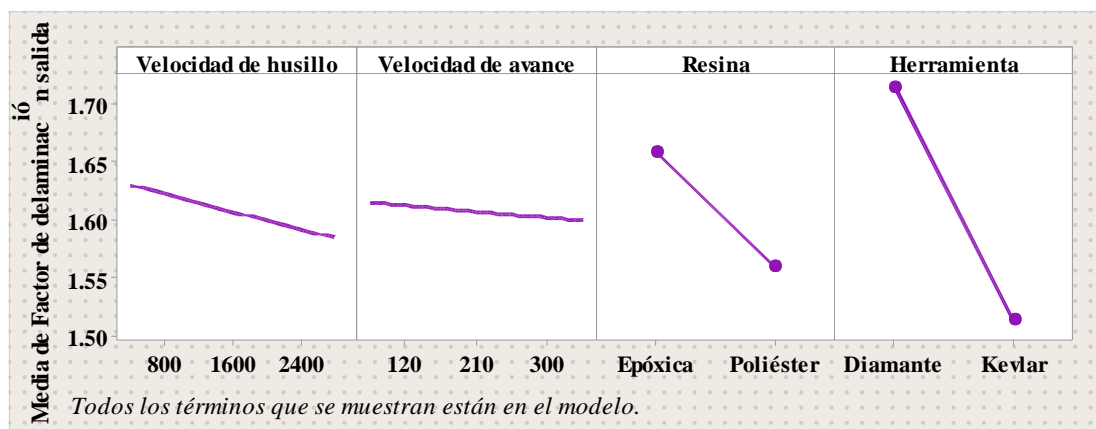


Figura 3. 27: Gráfica de efectos principales para el factor de delaminación de salida.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Teniendo un análisis más específico se trata la gráfica de efectos principales y de interacciones, la primera se detalla en la figura 3.28, esta indica que los efectos del recubrimiento de la herramienta y la resina, son los más grandes sobre el factor de delaminación de entrada, gráficamente se los compara tomando en consideración la pendiente de sus líneas, ya que mientras más pronunciada sea la pendiente, mayor será el efecto del factor.

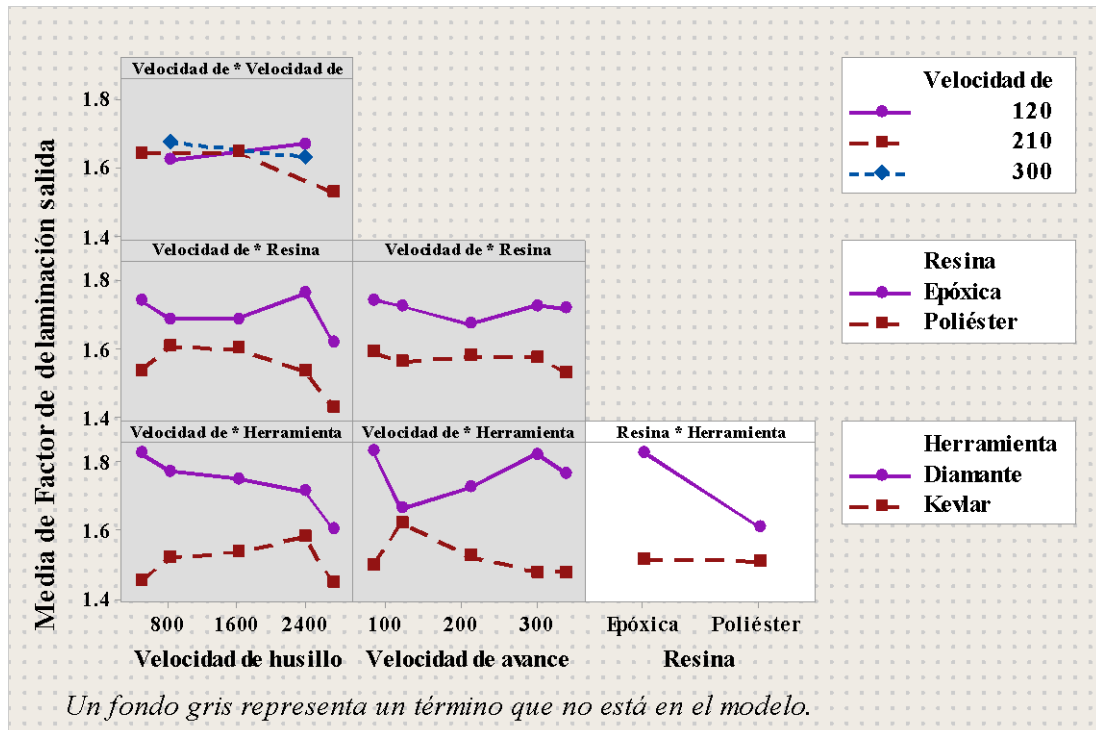


Figura 3. 28: Gráfica de interacción para el factor de delaminación de salida.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los efectos de la interacción de los factores muestran en la figura 3.28, todas las interacciones; sin embargo, de manera general una marcada diferencia entre las pendientes de cada línea correspondiente a un factor indica que esta interacción es estadísticamente significativa. Se visualiza en la figura 3.28, que los efectos de las interacciones entre: la resina y el recubrimiento de la herramienta influyen significativamente en el factor de delaminación de salida.

De acuerdo al modelo analizado en el ANOVA, se obtienen cuatro ecuaciones de regresión debido a la combinación de factores categóricos, cada ecuación genera una superficie que se dispone en la figura 3.29, figura 3.30, figura 3.31, figura 3.32

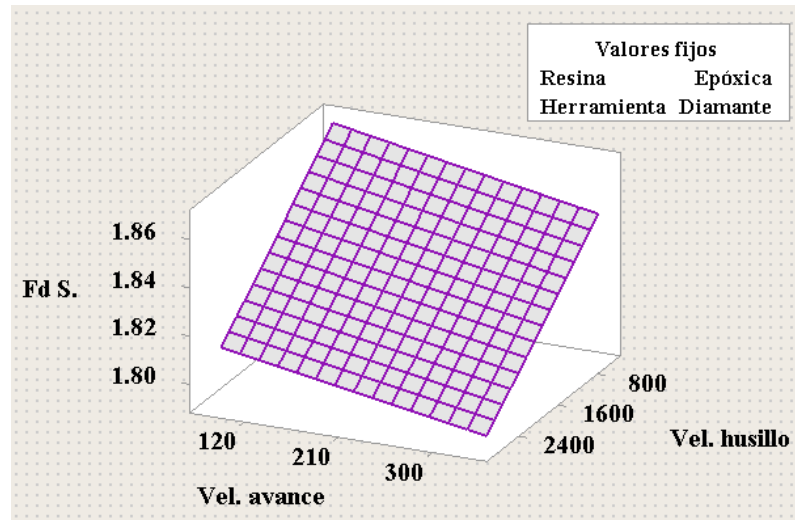


Figura 3. 29: Gráfica de superficie del factor de delaminación de salida vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta con Diamante.

Fuente: Minitab® Statistical Software

En la figura 3.29, se presenta el factor de delaminación de salida para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Epóxica y la herramienta con un recubrimiento de Diamante; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor del factor de delaminación de salida es al emplear una velocidad de husillo y una velocidad de avance altas.

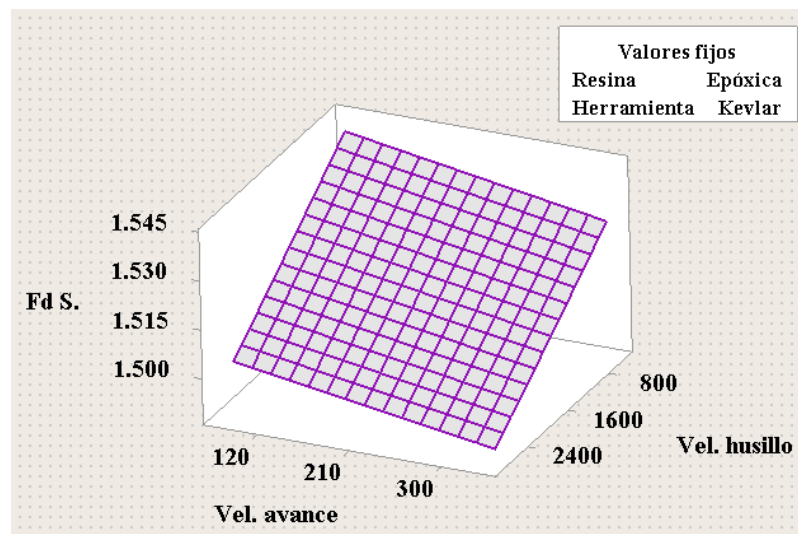


Figura 3. 30: Gráfica de superficie del factor de delaminación de salida vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Epóxica y herramienta con recubrimiento de Kevlar.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se presenta el factor de delaminación de salida en la figura 3.29, para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Epóxica y la herramienta para Kevlar; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor del factor de delaminación de salida es al emplear una velocidad de husillo y una velocidad de avance altas.

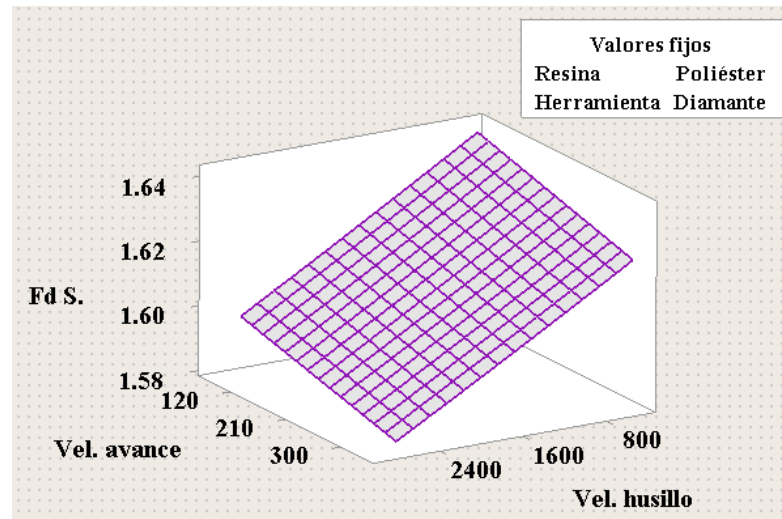


Figura 3. 31: Gráfica de superficie del factor de delaminación de salida vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta con Diamante.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Se presenta el factor de delaminación de salida en la figura 3.31, para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Poliéster y la herramienta con un recubrimiento de Diamante; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor del factor de delaminación de salida es al emplear una velocidad de husillo y una velocidad de avance altas.

En la figura 3.32, se presenta el factor de delaminación de salida para los diferentes niveles de la velocidad de husillo y la velocidad de avance, tomando en consideración la matriz de resina Poliéster y la herramienta para Kevlar; se puede definir de manera particular para este caso, que el punto en que se obtiene un menor valor del factor de delaminación de salida es al emplear una velocidad de husillo y una velocidad de avance altas.

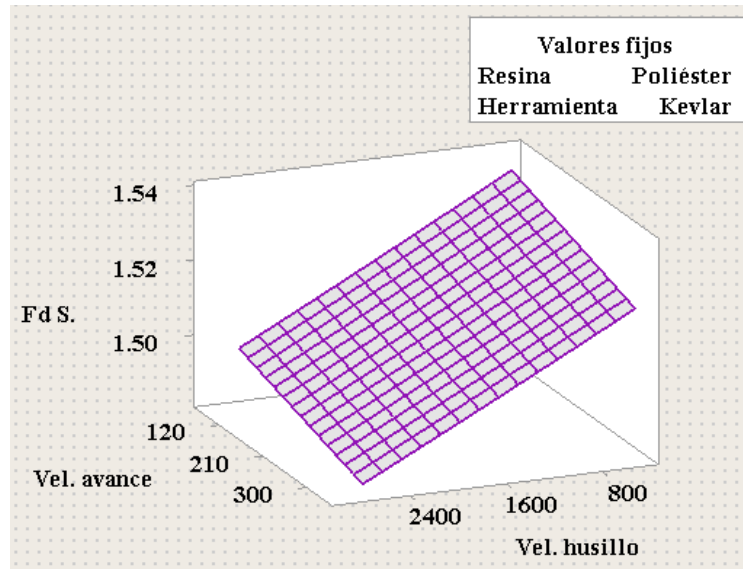


Figura 3. 32: Gráfica de superficie del factor de delaminación de salida vs velocidad de husillo, velocidad de avance; para resina Poliéster y herramienta para Kevlar.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Optimización individual de la delaminación de salida

El método empleado para encontrar el valor óptimo individual es el de la función de deseabilidad, en el que se especifica parámetros de acuerdo a los datos medidos del factor de delaminación de salida y se tiene claro que el objetivo es minimizar la misma.

Los parámetros considerados se detallan en la figura 3.33, en la que también se especifica el punto óptimo para los 4 factores analizados: Velocidad de husillo, velocidad de avance, tipo de resina y recubrimiento de la herramienta.

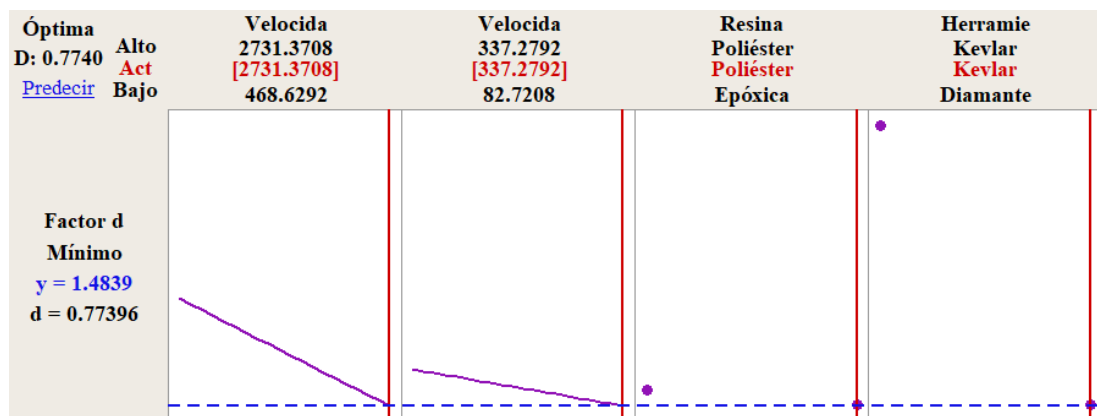


Figura 3. 33: Gráfica de optimización para el factor de delaminación de salida.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan el factor de delaminación de salida minimizando el valor de la misma, se detallan en la tabla 3.18, en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo.

Tabla 3. 18: Valores predichos para el punto óptimo del factor de delaminación de salida.

Factores		Respuesta	
Velocidad de husillo	2731,37 rpm	Factor de delaminación de salida	1.4839
Velocidad de avance	337,28 mm/min		
Resina	Poliéster		
Herramienta	Kevlar		

Fuente: Autor

Optimización simultanea

Para abarcar el valor de las deseabilidades individuales, estimadas en base a los valores predichos se emplea un único valor analizable objetivamente, este es la deseabilidad global, este se puede representar en la figura 3.34.

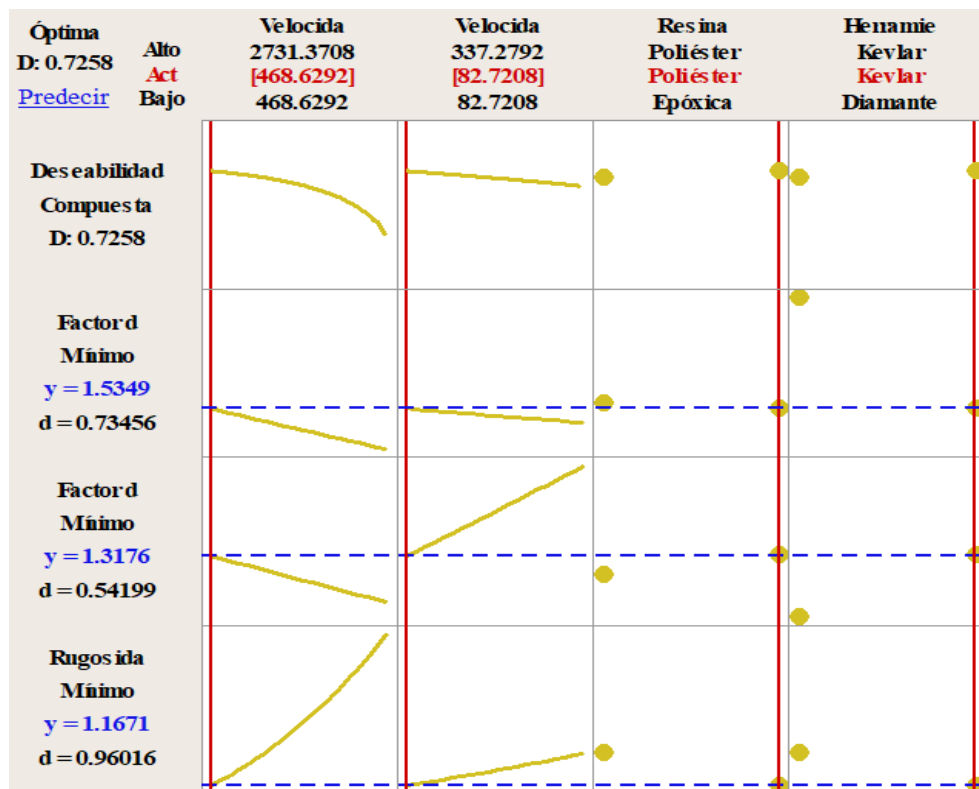


Figura 3. 34: Gráfica de optimización simultánea.

Fuente: Minitab® Statistical Software

Los niveles de cada factor que optimizan el factor de delaminación de salida minimizando el valor de la misma, se detallan en la tabla 3.19 en donde es preciso recalcar que el punto allí citado es producto de las respuestas predichas por el modelo.

Tabla 3. 19: Valores predichos para el punto óptimo global.

Factores	
Velocidad de husillo	468,629 rpm
Velocidad de avance	82,721 mm/min
Resina	Poliéster
Herramienta	Kevlar
Respuestas	
Rugosidad	1,1671 μm
Factor de delaminación de entrada	1,3176
Factor de delaminación de salida	1,5349

Fuente: Autor

3.2. Verificación de hipótesis

Para verificar la hipótesis “La variación de los parámetros de corte influye en la calidad superficial del taladrado”, es necesario examinar las significancias calculadas en el ANOVA de cada respuesta analizada, por lo que es pertinente considerar las hipótesis particulares para la verificación global, cada hipótesis se describe en la tabla 3.20.

Tabla 3. 20: Verificación de hipótesis.

Rugosidad	
Hipótesis:	<p>H_0: La variación de los parámetros de corte no influye en la rugosidad.</p> <p>H_1: La variación de los parámetros de corte influye en la rugosidad.</p>
Valor-p = 0,000	
Se rechaza la hipótesis nula, por lo que en base a la información recolectada, se puede afirmar que los parámetros de corte influyen significativamente en la rugosidad.	

Factor de delaminación de entrada	
Hipótesis:	<p>H_0: La variación de los parámetros de corte no influye en el factor de delaminación de entrada</p> <p>H_1: La variación de los parámetros de corte influye en el factor de delaminación de entrada</p>
Valor-p = 0,000	
Se rechaza la hipótesis nula, por lo que en base a la información recolectada, se puede afirmar que los parámetros de corte influyen significativamente en el factor de delaminación de entrada.	
Factor de delaminación de salida	
Hipótesis:	<p>H_0: La variación de los parámetros de corte no influye en el factor de delaminación de salida</p> <p>H_1: La variación de los parámetros de corte influye en el factor de delaminación de salida</p>
Valor-p = 0,000	
Se rechaza la hipótesis nula, por lo que en base a la información recolectada, se puede afirmar que los parámetros de corte influyen significativamente en el factor de delaminación de salida.	




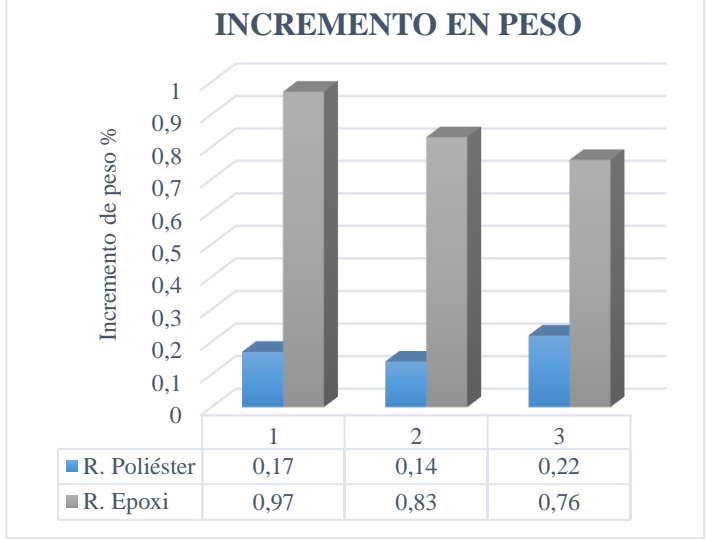
Fuente: Autor

Luego de contrastar las significancias en dada respuesta se llega a la conclusión final de que existe una marcada influencia de los parámetros de corte sobre la rugosidad y los factores de delaminación, los mismos que se traducen en la calidad del taladrado.

3.3. Desarrollo de prueba de humedad




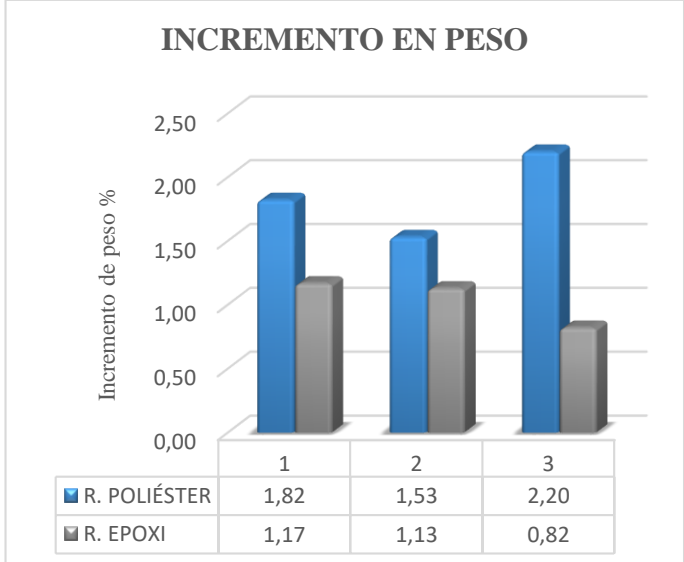
Los datos tomados sobre el incremento de peso en las probetas de material compuesto son mostrados en la tabla 3.21, tabla 3.22, tabla 3.23, tabla 3.24 y tabla 3.25

Tabla 3. 21: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE +CA y RP+CA)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE HUMEDAD								
DATOS INFORMATIVOS								
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Incremento de peso en porcentaje					
Fecha de ejecución:	6/12/2018	Equipo:	Balanza Mettler 0.001 g					
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato							
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez					
PARÁMETROS DE PRUEBA DE HUMEDAD DE ACUERDO A LA ASTM D570								
Dimensiones:	51 x 51 x 3,2 mm	T. de inmersión	2 horas					
Material:	Matriz polimérica (83%) y refuerzo de cascarilla de arroz (17%)							
Tiempo y temperatura de acondicionamiento:	24 horas a 50°C							
Procedimiento de inmersión:	Inmersión a largo plazo							
PESO DE PROBETAS ACONDICIONADAS (gr)								
Código	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio				
RP-CA	9,060	9,284	9,457	9,267				
RE-CA	11,145	10,826	12,452	11,474				
PESO DE PROBETAS HÚMEDAS (gr)								
Código	P1	I1	P2	I2	P3	I3	Pr.	% In
RP-CA	9,075	0,17 %	9,297	0,14 %	9,478	0,22 %	9,283	0,18
RE-CA	11,253	0,97%	10,916	0,83%	12,547	0,76%	11,572	0,85
RESULTADOS								
Pesaje de probetas		Gráfica de incremento de peso						
								
Observaciones: Las probetas no presentan fisuras o pérdidas de material en los bordes y caras.								




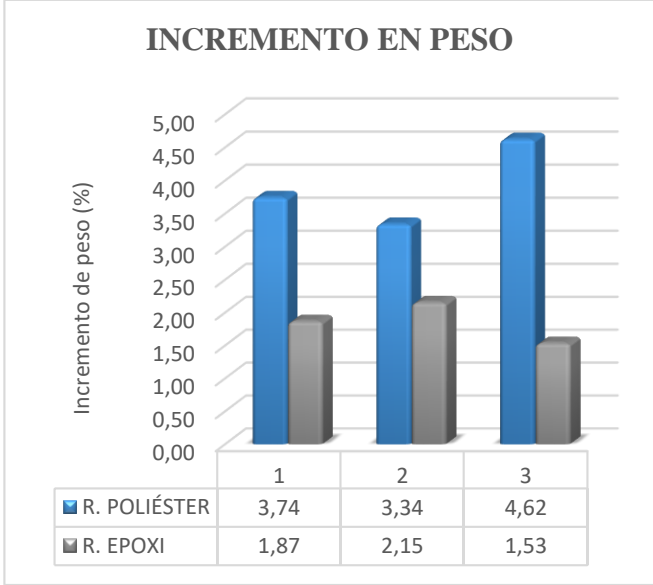
Fuente: Autor

Tabla 3. 22: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE+CA y RP+CA)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE HUMEDAD																				
DATOS INFORMATIVOS																				
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Incremento de peso en porcentaje																	
Fecha de ejecución:	7/12/2018	Equipo:	Balanza Mettler 0.001 g																	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato																			
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez																	
PARÁMETROS DE PRUEBA DE HUMEDAD DE ACUERDO A LA ASTM D570																				
Dimensiones:	51 x 51 x 3,2 mm	T. de inmersión	24 horas																	
Material:	Matriz polimérica (83%) y refuerzo de cascarilla de arroz (17%)																			
Tiempo y temperatura de acondicionamiento:	24 horas a 50°C																			
Procedimiento de inmersión:	Inmersión a largo plazo																			
PESO DE PROBETAS ACONDICIONADAS (gr)																				
Código	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio																
RP-CA	9,060	9,284	9,457	9,267																
RE-CA	11,145	10,826	12,452	11,474																
PESO DE PROBETAS HÚMEDAS (gr)																				
Código	P1	I1	P2	I2	P3	I3	Pr.	% In												
RP-CA	9,225	1,82 %	9,426	1,53 %	9,665	2,2 %	9,439	1,85												
RE-CA	11,275	1,17%	10,948	1,13%	12,554	0,82%	11,592	1,03												
RESULTADOS																				
Pesaje de probetas				Gráfica de incremento de peso																
				 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R. POLIÉSTER</td> <td>1,82</td> <td>1,53</td> <td>2,20</td> </tr> <tr> <td>R. EPOXI</td> <td>1,17</td> <td>1,13</td> <td>0,82</td> </tr> </tbody> </table>						1	2	3	R. POLIÉSTER	1,82	1,53	2,20	R. EPOXI	1,17	1,13	0,82
	1	2	3																	
R. POLIÉSTER	1,82	1,53	2,20																	
R. EPOXI	1,17	1,13	0,82																	
Observaciones: Las probetas no presentan fisuras o pérdidas de material en los bordes y caras.																				




Fuente: Autor

Tabla 3. 23: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE+CA y RP+CA)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE HUMEDAD																				
DATOS INFORMATIVOS																				
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Incremento de peso en porcentaje																	
Fecha de ejecución:	14/12/2018	Equipo:	Balanza Mettler 0.001 g																	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato																			
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez																	
PARÁMETROS DE PRUEBA DE HUMEDAD DE ACUERDO A LA ASTM D570																				
Dimensiones:	51 x 51 x 3,2 mm	T. de inmersión	192 horas																	
Material:	Matriz polimérica (83%) y refuerzo de cascarilla de arroz (17%)																			
Tiempo y temperatura de acondicionamiento:	24 horas a 50°C																			
Procedimiento de inmersión:	Inmersión a largo plazo																			
PESO DE PROBETAS ACONDICIONADAS (gr)																				
Código	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio																
RP-CA	9,060	9,284	9,457	9,267																
RE-CA	11,145	10,826	12,452	11,474																
PESO DE PROBETAS HÚMEDAS (gr)																				
Código	P1	I1	P2	I2	P3	I3	Pr.	% In												
RP-CA	9,399	3,74%	9,594	3,34%	9,894	4,62%	9,629	3,90%												
RE-CA	11,353	1,87%	11,059	2,15%	12,643	1,53%	11,685	1,85%												
RESULTADOS																				
Pesaje de probetas				Gráfica de incremento de peso																
				 <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>■ R. POLIÉSTER</td> <td>3,74</td> <td>3,34</td> <td>4,62</td> </tr> <tr> <td>■ R. EPOXI</td> <td>1,87</td> <td>2,15</td> <td>1,53</td> </tr> </tbody> </table>						1	2	3	■ R. POLIÉSTER	3,74	3,34	4,62	■ R. EPOXI	1,87	2,15	1,53
	1	2	3																	
■ R. POLIÉSTER	3,74	3,34	4,62																	
■ R. EPOXI	1,87	2,15	1,53																	
Observaciones: Las probetas presentan manchas blancas en ciertas zonas de la superficie																				




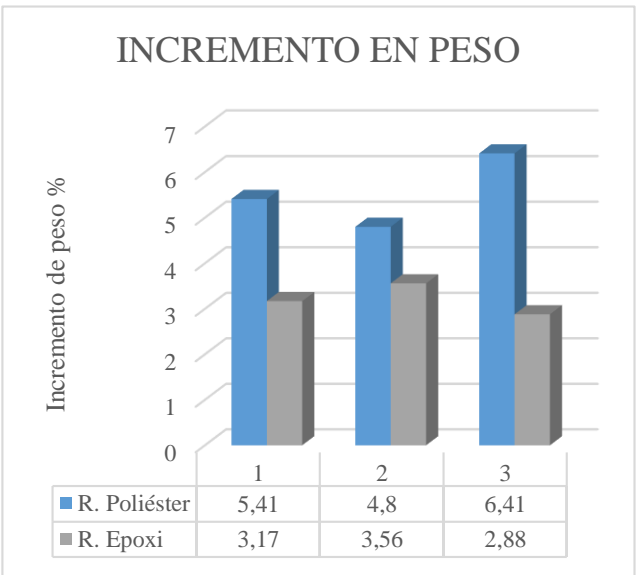
Fuente: Autor



Tabla 3. 24: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE+CA y RP+CA)

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA																				
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE HUMEDAD																				
DATOS INFORMATIVOS																				
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Incremento de peso en porcentaje																	
Fecha de ejecución:	28/12/2018	Equipo:	Balanza Mettler 0.001 g																	
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato																			
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez																	
PARÁMETROS DE PRUEBA DE HUMEDAD DE ACUERDO A LA ASTM D570																				
Dimensiones:	51 x 51 x 3,2 mm	T. de inmersión	528 horas																	
Material:	Matriz polimérica (83%) y refuerzo de cascarilla de arroz (17%)																			
Tiempo y temperatura de acondicionamiento:	24 horas a 50°C																			
Procedimiento de inmersión:	Inmersión a largo plazo																			
PESO DE PROBETAS ACONDICIONADAS (gr)																				
Código	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio																
RP-CA	9,060	9,284	9,457	9,267																
RE-CA	11,145	10,826	12,452	11,474																
PESO DE PROBETAS HÚMEDAS (gr)																				
Código	P1	I1	P2	I2	P3	I3	Pr.	% In												
RP-CA	9,536	5,25%	9,688	4,35%	10,010	5,85%	9,745	5,15%												
RE-CA	11,450	2,74%	11,211	3,24%	12,811	2,56%	11,840	2,85%												
RESULTADOS																				
Pesaje de probetas				Gráfica de incremento de peso																
				<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R. Poliéster</td> <td>5,25</td> <td>4,35</td> <td>5,85</td> </tr> <tr> <td>R. Epoxi</td> <td>2,74</td> <td>3,24</td> <td>2,56</td> </tr> </tbody> </table>						1	2	3	R. Poliéster	5,25	4,35	5,85	R. Epoxi	2,74	3,24	2,56
	1	2	3																	
R. Poliéster	5,25	4,35	5,85																	
R. Epoxi	2,74	3,24	2,56																	
Observaciones: Las probetas elaboradas con resina poliéster continúan presentando manchas blancas en ciertas zonas de la superficie																				

Fuente: Autor

Tabla 3. 25: Recolección de datos y evaluación del porcentaje de incremento de peso para la absorción de agua en material compuesto (RE+CA y RP+CA) y observaciones

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA								
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS Y EVALUACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE HUMEDAD								
DATOS INFORMATIVOS								
Tipo de estudio:	Experimental	Descripción:	Incremento de peso en porcentaje					
Fecha de ejecución:	11/01/2019	Equipo:	Balanza Mettler 0.001 g					
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato							
Realizado por:	Nataly Mena	Revisado por:	Ing. Mg. Cristian Pérez					
PARÁMETROS DE PRUEBA DE HUMEDAD DE ACUERDO A LA ASTM D570								
Dimensiones:	51 x 51 x 3,2 mm	T. de inmersión	864 horas					
Material:	Matriz polimérica (83%) y refuerzo de cascarilla de arroz (17%)							
Tiempo y temperatura de acondicionamiento:	24 horas a 50°C							
Procedimiento de inmersión:	Inmersión a largo plazo							
PESO DE PROBETAS ACONDICIONADAS (gr)								
Código	Probeta 1	Probeta 2	Probeta 3	Promedio				
RP-CA	9,060	9,284	9,457	9,267				
RE-CA	11,145	10,826	12,452	11,474				
PESO DE PROBETAS HÚMEDAS (gr)								
Código	P1	I1	P2	I2	P3	I3	Pr.	% In
RP-CA	9,550	5,41%	9,730	4,80%	10,063	6,41%	9,781	5,54
RE-CA	11,498	3,17%	11,211	3,56%	12,811	2,88%	11.,840	3,20
RESULTADOS								
Pesaje de probetas				Gráfica de incremento de peso				
								

Observaciones	
	<p>Las probetas 1 y 3 elaboradas con resina poliéster y cascarilla de arroz presentan manchas blancas en casi la totalidad de la cara frontal; dicho efecto se le adjudica al proceso de lijado que se realizó a las probetas para que cumplan con las dimensiones establecidas para el ensayo de humedad. Otra anomalía presentada en la probeta 3 es la pérdida de material en una de las esquinas, debido a que las restantes dos probetas no presentan daños, este defecto puede deberse al proceso de elaboración y obtención de probetas.</p>
	<p>En el caso de las probetas elaboradas con resina epoxi y cascarilla de arroz se presentó el mismo tipo de manchas blancas, pero en menor cantidad.</p> <p>Después de cinco semanas y un día u 864 horas de inmersión, ninguna de las seis probetas ha sufrido cambios en sus dimensiones.</p>

Fuente: Autor

En la tabla 3.26 se resumen los valores mostrados en las fichas de recolección de datos, en la misma se presenta los porcentajes de incremento de peso por probeta y un promedio entre las tres probetas estudiadas.

Tabla 3. 26: Tabla de resumen de incremento de peso

Material: Resina Epoxi (83%) + Cascarilla de arroz (17%)										
N°	Tiempo	T (horas)	Peso (g)				Índice de humedad			Índice de humedad promedio
			1	2	3	Pr	1	2	3	
1	0 horas	0	11,145	10,826	12,452	11,474	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	2 hora	2	11,253	10,916	12,547	11,572	0,97%	0,83%	0,76%	0,85%
3	1 día	24	11,275	10,948	12,554	11,592	1,17%	1,13%	0,82%	1,04%
4	1 sem.	192	11,353	11,059	12,643	11,685	1,87%	2,15%	1,53%	1,85%
5	3 sem.	528	11,450	11,177	12,771	11,799	2,74%	3,24%	2,56%	2,85%
6	5 sem	864	11,498	11,211	12,811	11,840	3,17%	3,56%	2,88%	3,20%
Material: Resina Poliéster (83%) + Cascarilla de arroz (17%)										
N°	Tiempo	T (horas)	Peso (g)				Índice de humedad			Índice de humedad promedio
			1	2	3	Pr	1	2	3	
1	0 horas	0	9,060	9,284	9,457	9,267	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
2	2 horas	2	9,075	9,297	9,478	9,283	0,17%	0,14%	0,22%	0,18%
3	1 día	24	9,225	9,426	9,665	9,439	1,82%	1,53%	2,20%	1,85%
4	1 sem.	192	9,399	9,594	9,894	9,629	3,74%	3,34%	4,62%	3,90%
5	3 sem.	528	9,536	9,688	10,010	9,745	5,25%	4,35%	5,85%	5,15%
6	5 sem.	864	9,550	9,730	10,063	9,781	5,41%	4,80%	6,41%	5,54%

Fuente: Autor

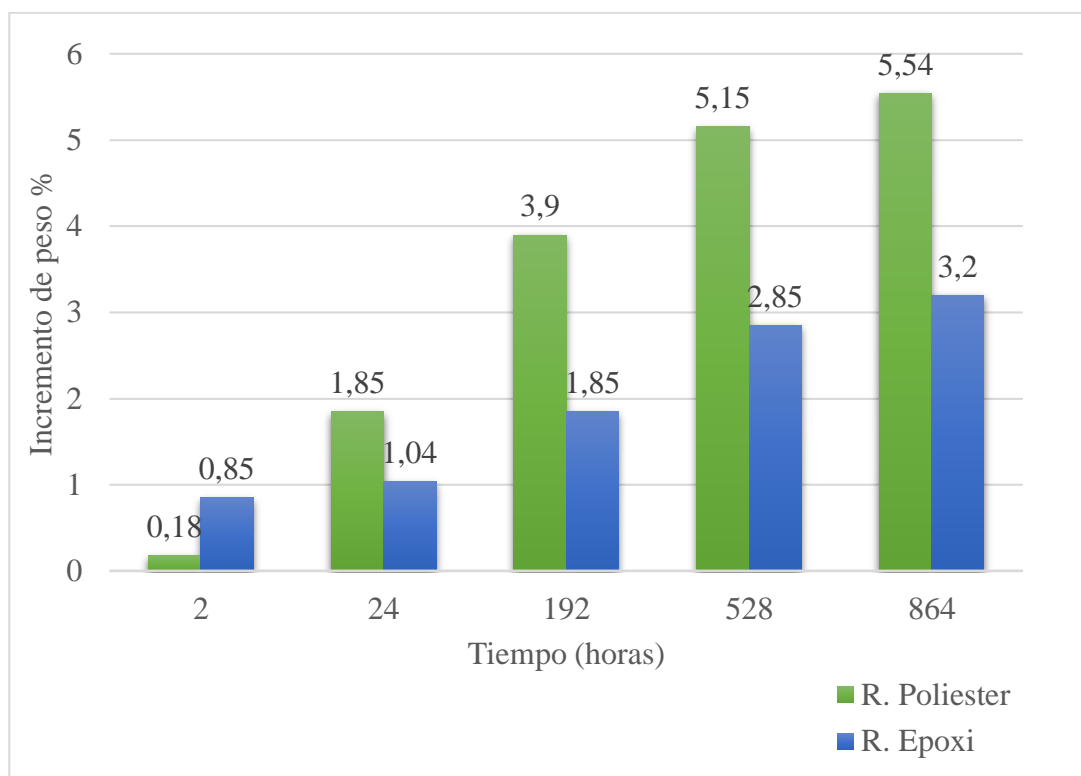


Figura 3. 35: Tasa relativa de absorción de agua en función del tiempo de inmersión

Fuente: Autor

En la figura 3.35 podemos observar que, durante las 2 primeras horas de inmersión, la matriz epoxi incrementa el peso del material en un 0,85%, mientras el aumento de peso de la matriz poliéster apenas alcanza el 0,18%; relación que cambia en función del tiempo de inmersión, pues al alcanzar las 864 horas de prueba se observa como las probetas elaboradas con resina epoxi presentan una mejor resistencia a la absorción de agua con un incremento de peso del 3,2% en comparación con la resina poliéster que muestra un incremento del 5,54%.

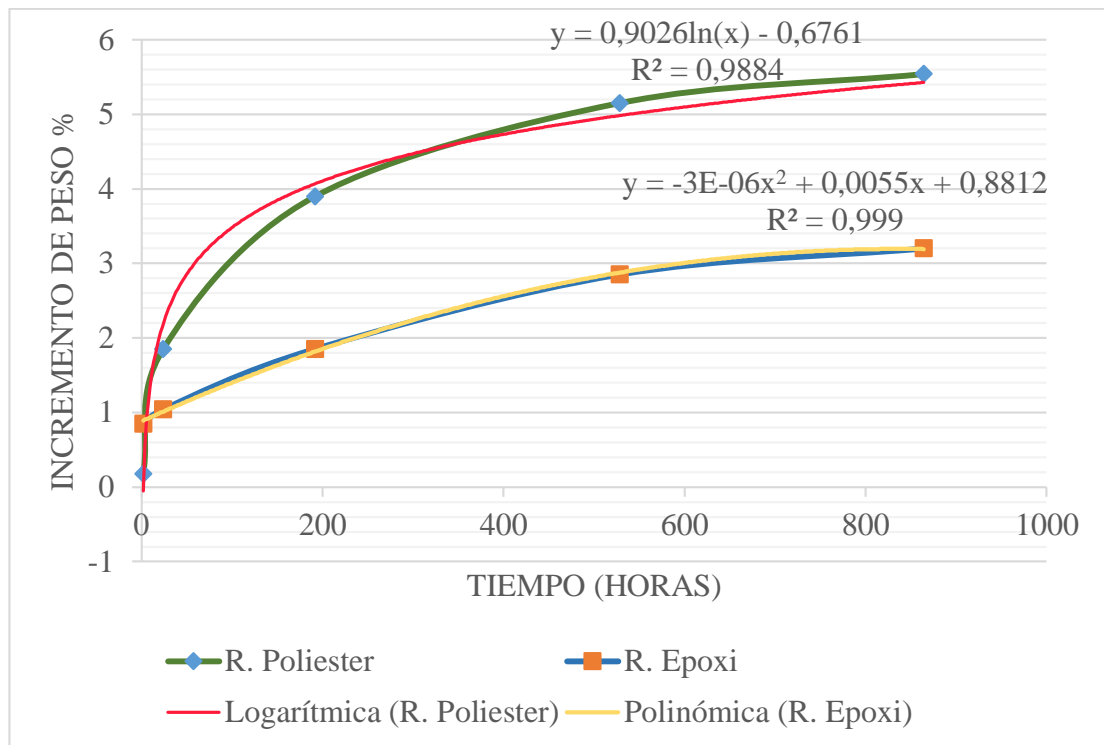


Figura 3. 36: Línea de tendencia del incremento de humedad en composite de resina polimérica y cascarilla de arroz

Fuente: Autor

De acuerdo a las curvas de regresión mostradas en la figura 3.36, con un coeficiente de determinación (R^2) del 0,9884 para el matriz poliéster y 0,999 para el matriz epoxi, se asume que el ajuste a las ecuaciones es aceptable; lo que permite su uso en trabajos futuros siempre y cuando las condiciones de fabricación y acondicionamiento sean las mismas a las expuestas en la presente investigación

El proceso no consiguió el equilibrio ya que durante todo el tiempo de estudio la absorción de agua no cesó en ningún momento, sino que el porcentaje de incremento de agua continuó aumentando, aunque en menor cantidad que durante las tres primeras mediciones. En este caso al tratarse de un composite el contenido de humedad en equilibrio (M_{∞}), puede expresarse referido a un contenido de resina del 40% v/v según la ecuación 12:

$$M_{\infty}(\text{volumen de resina } 40\%) = M_{\infty} * \frac{40}{V_r} * \frac{(V_r * \rho_r) + (V_f * \rho_f)}{(40 * \rho_r) + (60 * \rho_f)}$$

Este método da valores a priori, que representan un supuesto valor, en función de los datos recolectados, antes de llegar al objetivo planteado en este caso la saturación de las probetas.

Tabla 3. 27: Datos de entrada para el cálculo de contenido de humedad en equilibrio

Tipo de matriz	Densidad (kg/m ³)	Última pesada (gr)	M _∞ (%)	Desviación estándar σ
Poliéster	1270	9,550	5,54	0,213
		9,730		
		10,063		
Epoxi	1300	11,498	3,2	0,7
		11,211		
		12,811		

Fuente: Autor

Con los datos mostrados en la tabla 3.27 se procede a calcular el contenido de humedad para cada matriz polimérica. Las fracciones volumétricas de trabajo son 83% de matriz y 17% de refuerzo para ambos casos (resina poliéster y epoxi)

$$M_{\infty 40\%}(R. \text{poliéster}) = (M_{\infty} \pm 2\sigma) * \frac{40}{V_r} * \frac{(V_r * \rho_r) + (V_f * \rho_f)}{(40 * \rho_r) + (60 * \rho_f)}$$

$$M_{\infty 40\%}(R. \text{poliéster}) = (5,54 \pm 0,426) * \frac{40}{83} * \frac{(83 * 1270) + (17 * 750)}{(40 * 1270) + (60 * 750)}$$

$$M_{\infty 40\%}(R. poliéster) = 3,03$$

$$M_{\infty 40\%}(R. poliéster) = 3,55$$

De acuerdo a la ecuación de regresión para matriz polimérica, mostrada en la figura 3.36 se selecciona 3,55% de incremento de peso como el punto de saturación, ya que hasta este punto se absorbe la mayor cantidad de agua, posteriormente los incrementos se reducen en relación a los pesos registrados.

$$M_{\infty 40\%}(R. epoxi) = (M_{\infty} \pm 2\sigma) * \frac{40}{Vr} * \frac{(Vr * \rho r) + (Vf * \rho f)}{(40 * \rho r) + (60 * \rho f)}$$

$$M_{\infty 40\%}(R. epoxi) = (3,2 \pm 1,4) * \frac{40}{83} * \frac{(83 * 1300) + (17 * 750)}{(40 * 1300) + (60 * 750)}$$

$$M_{\infty 40\%}(R. epoxi) = 2,75 \%$$

$$M_{\infty 40\%}(R. epoxi) = 1,07\%$$

De acuerdo a la ecuación de regresión para matriz epoxi, mostrada en la figura 3.36 se selecciona 2,75% de incremento de peso como el punto de saturación, ya que hasta este punto se absorbe la mayor cantidad de agua, posteriormente los incrementos se reducen en relación a los pesos registrados.

Con los valores calculados se procede a realizar la curva de incremento de peso, con relación a la raíz cuadrada del tiempo, con la finalidad de entender el comportamiento del material en función del tiempo de exposición

La curva de A, perteneciente al composite con matriz poliéster tiene una tendencia pseudo – Fickiana ya que la ganancia de peso va en aumento, pero no se estabiliza en ningún momento. El valor de n (difusión del agua en el plástico será menor a 0,5)

Mientras que la curva de B, perteneciente al composite con matriz epoxi muestra dos tendencias diferentes ya que muestra dos etapas durante la absorción. En la primera

etapa se expone un incremento rápido de absorción de agua lo que podría convertirse en deformaciones, fallos mecánicos y descomposición del material, y en la segunda parte el material continúa absorbiendo agua, pero tampoco logra estabilizarse.

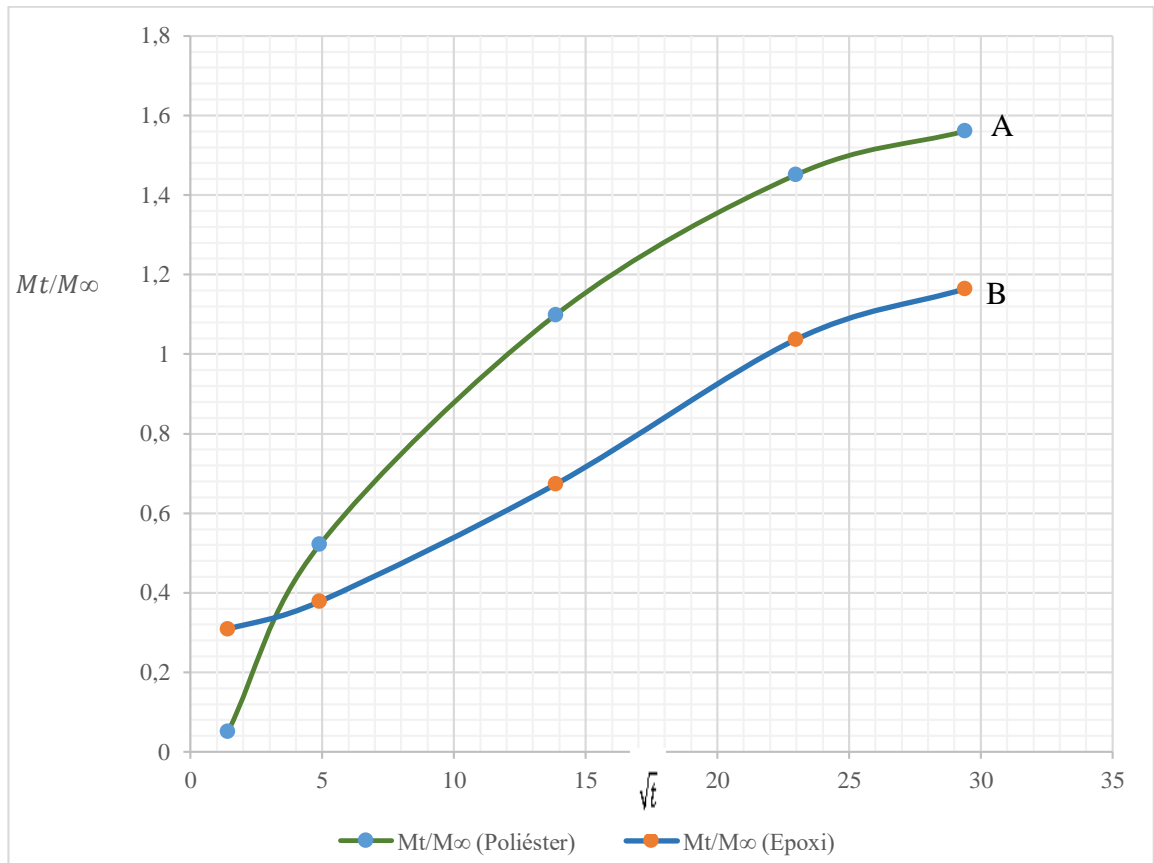


Figura 3. 37: Aumento de peso en función de la raíz cuadrada del tiempo

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se aplicó el diseño experimental denominado método de superficie de respuesta (MSR), para lo cual se definieron 4 factores, divididos en dos factores categóricos, y dos factores continuos; los primeros son concernientes a la matriz polimérica ocupada en la fabricación del material compuesto (epoxi y poliéster) y al tipo de herramienta (con recubrimiento de diamante y para kevlar), mientras que los dos segundos se refieren a la velocidad de husillo y de avance. Para los factores continuos se establecieron dos niveles (alto y bajo), sin embargo, se usaron valores axiales, para conocer el comportamiento del material en condiciones de trabajo que se encuentren fuera de su zona de confort. Adicional a lo anterior cabe mencionar que se realizaron dos réplicas y que la mayor concentración de puntos de situó con los valores medios ($N=1600$ rpm; $V_f=210$ mm /min). De acuerdo al diseño experimental se realizaron 104 perforaciones.
- Se utilizó como base práctica y teórica el trabajo experimental desarrollado por el Ing. Edison Lalaleo, ex estudiante de la Universidad Técnica de Ambato, quien analizó las propiedades mecánicas del composite de Resina Poliester + Cascarilla de arroz. El material de estudio se elaboró por compresión para eliminar el exceso de aire y formación de poros, en la formación del mismo se utilizó una fracción volumétrica del 83% para la matriz y 17% para el refuerzo, el curado se realizó colocando las planchas a temperatura ambiente durante 24 horas y 2 horas en horno a 50°C. Se empleó resina poliéster y epoxi como matriz, con la finalidad de comparar la conducta de los materiales ante iguales situaciones de trabajo.
- De acuerdo al diagrama de Pareto y con un 52,13% de variabilidad se concluye que la rugosidad depende mayormente de la relación que existe entre la velocidad de husillo y el tipo de herramienta. En la delaminación de entrada y

de salida con una variabilidad del 43,39% y 34,57% respectivamente se observó que el factor de mayor influencia es el tipo de herramienta, seguido del tipo de resina.

- De las figuras 3.7 y 3.9, referidas a las gráficas de superficie de respuesta se concluye que, al usar matriz epoxi o poliéster con una herramienta de diamante, la mejor opción para reducir la rugosidad es usar velocidades de husillo y de avance altas; mientras que de acuerdo a la figura 3.8 y 3.10 al ocupar una herramienta para kevlar se deben ocupar velocidades bajas. En las cuatro gráficas de superficie de respuesta (figura 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21) que relaciona el factor de delaminación de entrada con las velocidades de corte se visualizó que el punto óptimo se alcanza al trabajar con velocidades de husillo altas y velocidades de avance bajas; mientras que en las figuras 3.29, 3.30, 3.31 y 3.32 que relaciona el factor de delaminación de salida con las velocidades de trabajo se observa que el punto óptimo se consigue al trabajar con velocidades de husillo y avance altas.
- En la tabla 3.14 se observa que el punto óptimo para la rugosidad se consiguió al trabajar en un composite con matriz poliéster, haciendo uso de una herramienta para kevlar, los parámetros de mecanizado fueron $N = 468,629$ rpm y $V_f = 82,721$ mm/min; dando un valor de rugosidad de $1,167 \mu\text{m}$. En el caso del factor de delaminación de entrada la tabla 3.16 muestra que el punto óptimo se consiguió trabajando con una herramienta de diamante en matriz epoxi con $N = 2731,37$ rpm y $V_f = 82,72$ mm/min, en donde $F_d = 1,116$ mm. Finalmente para el caso del factor de delaminación de salida la tabla 3.18 muestra que el punto óptimo se alcanzó con una herramienta para kevlar en matriz poliéster con un $F_d = 1,483$; respetando las condiciones de corte $N = 2731,37$ rpm y $V_f = 337,23$ mm/min.
- En la tabla 1.1 se observa que la rugosidad recomendada para trabajos con taladro está en el rango de 1,6 a 6,3 micras; como el valor obtenido en el estudio es de $1,167 \mu\text{m}$ se considera que el mecanizado realizado es óptimo, con un estado superficial refinado en donde las estrías de fabricación no son visibles a simple vista y la calidad superficial es considerada como buena, por lo que el elemento mecanizado puede ser empleado para piezas fatigadas por flexión y torsión y en ajustes de deslizamiento y presión.

- En la tabla 3.19 podemos observar que el punto óptimo global se alcanzó al trabajar con una herramienta para kevlar en el composite elaborado con Resina poliéster + Cascarilla de arroz, en donde ocupando una velocidad de husillo de $N = 468,629$ rpm y velocidad de avance de $V_f = 82,721$ mm/min, se obtuvo una rugosidad de $1,167$ μm , un factor de delaminación de entrada de $1,317$ y un factor de delaminación de salida de $1,534$.
- Se usó la norma ASTM – D570 como base para el desarrollo de la prueba de absorción de humedad, aplicando el método a largo plazo 6 probetas de composite fueron introducidas en agua destilada durante 864 horas, en donde el incremento de peso registrado y mostrado en la figura 3.35 fue de $5,54\%$ para la matriz poliéster y $3,2\%$ para la matriz epoxi, señalando a esta última como un material más resistente ante exposiciones a la humedad. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que, de acuerdo a la gráfica de aumento de peso en función de la raíz cuadrada de tiempo, la curva de tendencia toma dos etapas pudiendo interpretarse como futuros problemas en las propiedades mecánicas del material. Visualmente las 6 probetas presentaron manchas blanquecinas ligadas al proceso de lijado y pulido que se les dio para cumplir con las especificaciones de medida.

4.2. Recomendaciones

- Si trabaja con puntos axiales, debe asegurarse que los mismos puedan ejecutarse, se encuentren en la región de interés y brinden datos adicionales sobre el estudio.
- La cascarilla debe estar libre de impurezas que generan concentraciones de aire que afecten a los tratamientos posteriores del material.
- El porcentaje de catalizador en la resina epoxi debe ser consultado en la ficha técnica del producto, de lo contrario el tiempo de curado podría extenderse a semanas.

4.3 BIBLIOGRAFÍA

- [1] V. Pascual, M. San Juan, F. Santos, Ó. Martín y M. De Tiedra, «Estudio de las fuerzas de corte axiales y el fenómeno de delaminación en la perforación de materiales compuestos de fibra de carbono,» ScienceDirect , Valladolid , 2017.
- [2] M. Choudhury, M. Srinivas y K. Debnath, «Experimental investigations on drilling of lignocellulosic fiber reinforced composite laminates,» Journal of Manufacturing Processes, India, 2018.
- [3] E. Moya, «ESTUDIO DE LOS PARÁMETROS DE TALADRADO EN UN COMPOSITE DE MATRIZ POLIÉSTER CON REFUERZO HÍBRIDO DE FIBRA DE VIDRIO MAS FIBRA DE CABUYA Y SU INCIDENCIA EN LAS CARACTERÍSTICAS DE ACABADO SUPERFICIAL,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2018.
- [4] M. Bassyouni y S. Waheed UI Hasan, «El uso de paja de arroz y fibras de cáscara como refuerzos en composites,» de *Refuerzos de biofibras en materiales compuestos*, Arabia Saudita, Elsevier Ltd, 2015, pp. 385-422.
- [5] W. Callister, Ciencia de los materiales e Ingeniería, Séptima ed., New York: Quebecor, 2007, p. 578.
- [6] D. Askeland, P. Fulay y W. Wright, Ciencia e ingeniería de materiales, Iztapalapa : Edamsa Impresiones, 2011, pp. 661-668.
- [7] C. Pérez, J. Paredes, E. Lalaleo, C. Arroba y D. Núñez, «Análisis numérico/experimental de las propiedades mecánicas del compuestos de matriz poliéster reforzado con cascarilla de arroz,» *Revista Ciencia*, vol. XIX, nº 4, pp. 503 - 515, 2017.

- [8] D. Martínez, «Proceso de arranque de viruta y no convencionales que se aplican en la industria metalmeccánica,» INTI - Mecánica, 2008.
- [9] J. Fenoli, J. Borja y J. Seco, «Técnicas de taladrado, roscado, torneado, rectificado y fresado,» de *Mecanizado Básico*, Macmillan Iberia, S.A., 2009, pp. 130 - 170.
- [10] J. Pastor de frutos, «Análisis de taladrado de fibra de carbono: Fuerzas de corte y delaminación,» Escuela de ingenierías industriales, Valladolid, 2016.
- [11] Z. Redouane, K. Vijayan y C. Francis, «Study of drilling of composite material and aluminium stack,» Elsevier, Toulouse, 2009.
- [12] M. Ramulu y J. Kramlich, «MACHINING OF FIBER REINFORCED COMPOSITES: REVIEW OF ENVIRONMENTAL AND HEALTH EFFECTS,» *International Journal of environmentally conscious design & manufacturing*, vol. XI, nº 04, pp. 1 - 5, 2004.
- [13] R. Siva, P. Asokan, K. S.R. y S. Prabhakaran, «Selección de parámetros de mecanizado para problemas de mecanizado restringido utilizando computación evolutiva,» Springer - Verlag, Londres, 2006.
- [14] L. Montero, «Estudio del mecanizado de materiales compuestos,» Universidad Carlos III de Madrid, Leganés, 2010.
- [15] P. Naveen, M. Yaraswi y R. Prasad, «Experimental Investigation of Drilling Parameters on Composite Materials,» *Journal of Mechanical and Civil Engineering*, vol. II, nº 3, pp. 30-37, 2012.
- [16] X. d. Galicia, «Calidad superficial ISO 1302 : 2002,» Portal institucional do goberno da Comunidade Autónoma de Galicia, 2002.

- [17] H. Taylor, «Rugosidad superficial,» Mitutoyo .
- [18] N. Larburu, «Calidades superficiales, tolerancias, ajustes,» de *Máquinas Prontuario*, España, Thomson Editores España, 2003, pp. 277-280.
- [19] X. Martínez, S. Oller y E. Barbero, «Caracterización de la delaminación en materiales compuestos mediante la teoría de mezclas serie/paralelo,» *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, vol. 27, nº 3, pp. 189 - 199, 2011.
- [20] H. Attia, A. Sadek y M. Meshreki, «Procesos de mecanizado de alta velocidad para materiales compuestos reforzados con fibra,» de *Tecnología de mecanizado para materiales compuestos*, Woodhead Publishing, 2012, pp. 333 - 364.
- [21] C. Pérez, J. Paredes, R. Valencia, W. Vaca y E. Vásquez, «IOPSCIENCE,» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. [En línea]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/446/1/012003>.
- [22] E. Greenhalgh, «Fallas dominadas por la deslaminación en compuestos de polímeros,» de *Análisis de fallos y fractografía de compuestos poliméricos*, Woodhead Publishing, 2009, pp. 164-237.
- [23] L. Granda, «Evaluación de las propiedades de materiales compuestos fabricados a partir de fibras semiquímicas de leucaena collinsii y polipropileno,» Universitat de Girona, España, 2016.
- [24] A. International, «Método de prueba estándar para la absorción de agua de plásticos,» PA, West Conshohocken, 2008.
- [25] S. Ortolá, «Ingeniería en materiales,» Norma I+D-E239, 18 Mayo 2009. [En línea]. Available: <https://ingenieriademateriales.wordpress.com>.

- [26] H. Gutiérrez y R. De la Vara, «Optimización de procesos con metodología de superficie de respuesta,» de *Análisis y diseño de experimentos*, México , McGraw - Hill, 2003, pp. 344 - 384.
- [27] J. Urquizo, H. Acero y J. Rodríguez, «Reemplazar el uso de diesel por cascarilla de arroz empleado para generación de vapor, aspectos técnicos y económicos,» *Revista Tecnológica ESPOL*, Guayaquil.
- [28] J. Sierra, «ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LA CASCARILLA DE ARROZ EN COLOMBIA,» Universidad de Sucre, Sincelejo, 2009.
- [29] A. López, «PPT - 4010,» *Reacciones Químicas* , Nueva León.
- [30] WordPress, «Abakan - Teach,» 15 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://abakan-teach.ru/resina-epoxi-propiedades/>.
- [31] C. Bixler, «Geniolandia,» Leaf Group Ltd. , 01 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.geniolandia.com/13164360/resina-poliester-frente-a-resina-epoxi>.
- [32] F. Lalaleo, «“CARACTERIZACIÓN MECÁNICA DEL MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ POLIÉSTER REFORZADA CON CASCARILLA DE ARROZ PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS EN APLICACIONES INDUSTRIALES”,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2016.

ANEXOS

ANEXO 1: Extracto de la norma ASTM D570

bordes cortados que a través de las superficies moldeadas. En consecuencia, los intentos de correlacionar la absorción de agua con el área superficial generalmente deben limitarse a materiales estrechamente relacionados y especímenes con formas similares: para materiales de densidad muy variable, la relación entre los valores de absorción de agua en un volumen así como una base en peso necesita ser considerado.

4. Equipo

4.1 *Balanza*: una balanza analítica capaz de leer 0.0001 g.

4.2 *Horno*, capaz de mantener temperaturas uniformes de 50 ± 3 °C (122 ± 5.4 °F) y de 105 a 110 °C (221 a 230 °F).

5. Muestra de prueba

5.1 La muestra de prueba para plásticos moldeados debe tener la forma de un disco de 50.8 mm (2 in.) de diámetro y 3.2 mm (1/8 in.) de espesor (ver Nota 2). Las variaciones permisibles en el espesor son ± 0.18 mm (± 0.007 in) para moldeado en caliente y ± 0.30 mm (± 0.012 in) para materiales moldeados o fundidos en frío.

Se puede encontrar información adicional sobre la difusión de líquidos en polímeros en las siguientes referencias: (1) Difusión, transferencia de masa en sistemas de fluidos, EL Cussler, Cambridge University Press, 1985, ISBN 0-521-29846-6, (2) Difusión en Polymers, J. Crank y GS Park, Academic Press, 1968, y (3) "Permeación, difusión y sorción de gases y vapores", RM Felder y GS Hivard, en Methods of Experimental Physics, Vol. 16C, 1980, Academic Press.

TABLE 1 Time to Saturation for Various Thickness of Nylon

Thickness, mm	Typical Time to 95 % Saturation, h
1	100
2	400
3.2	1 000
10	10 000
25	62 000

NOTA 2-El molde de disco prescrito en la Sección de moldes para muestras de prueba de disco de la práctica D 647 es adecuado para moldear muestras de prueba de disco de materiales termoplásticos pero no de materiales termoplásticos.

5.2 Muestra estándar ISO: la muestra de prueba para plásticos homogéneos debe ser de 60 por 60 por 1 mm.

La tolerancia para la dimensión de 60 mm es de ± 2 mm y ± 0.05 mm para el espesor de 1 mm. Este método de prueba e ISO 62 son técnicamente equivalentes cuando se utiliza la muestra de prueba descrita en 5.2.

5.3 La muestra de prueba para las láminas debe tener la forma de una barra de 76,2 mm (3 pulg.) De largo por 25,4 mm (1 pulg.) de ancho por el espesor del material. Cuando se desea comparar los valores de absorción con plásticos moldeados, se deben usar muestras de 3,2 mm (1/8 pulg.) De espesor. Las variaciones permisibles en el espesor deben ser de 0.20 mm (± 0.008 in), a excepción de los materiales laminados fenólicos a base de asbesto-tejido o de otros materiales que tengan mayores tolerancias comerciales estándar.

5.4 La muestra de ensayo para varillas deberá tener 25.4 mm (1 pulgada) de largo para varillas de 25.4 mm de diámetro o menos y 12.7 mm (1/2 pulg) de largo para varillas de mayor diámetro. El diámetro de la muestra debe ser el diámetro de la varilla terminada.

5.5 La muestra de prueba para tubos de menos de 76 mm (3 pulgadas) de diámetro interno debe ser la sección completa del tubo y de 25,4 mm (1 pulgada) de largo. Para tubos de 76 mm (3 pulg.) O más de diámetro interno, una probeta rectangular deberá cortarse 76 mm de longitud en la dirección circunferencial del tubo y 25.4 mm de ancho longitudinalmente del tubo.

5.6 Las probetas para láminas, varillas y tubos se deben mecanizar, serrar o cizallar de la muestra para tener bordes lisos libres de grietas. Los bordes cortados deben hacerse lisos terminando con el No. 0 o un papel de lija o tela de esmeril más fino. Las operaciones de aserrado, maquinado y lijado deben ser lo suficientemente lentas para que el material no se caliente de manera apreciable.

NOTA 3-Si hay algún aceite en la superficie de la muestra cuando se recibe o como resultado de operaciones de mecanizado, lavar la muestra con una tela mojada con gasolina para eliminar el aceite, limpie con un paño seco y deje en el aire por 2 h para permitir la evaporación de la gasolina. Si la gasolina ataca el plástico, usa algún solvente o detergente adecuado que evaporarse dentro del período de 2 h.

5.7 Las dimensiones enumeradas en la siguiente tabla para las distintas muestras deben medirse con la precisión de 0.025 mm (0.001 in). Las dimensiones que no se enumeran deben medirse dentro de 0,8 mm ($\pm 1/32$ in)

Tipo de muestra	Las dimensiones se medirán al más cercano 0.025 mm (0.001 in)
Disco moldeado	Espesor
Lámina	Espesor
Barra	Longitud y diámetro
Tubo	Diámetro interno y externo, y grosor de la pared

6. Acondicionamiento

6.1 Tres especímenes estarán acondicionados de la siguiente manera:

6.1.1 Las muestras de materiales cuyo valor de absorción de agua se vería afectado de manera apreciable por las temperaturas en los alrededores de 110 °C (230 °F), se secarán en un horno durante 24 horas a 50 ± 3 °C (122 ± 5.4 °F), se enfriarán en un desecador e inmediatamente se pesará al 0.001 g más cercano.

NOTA 4-Si una carga estática interfiere con el pesaje, frote ligeramente la superficie de las muestras con un conductor puesto a tierra.

6.1.2 Las muestras de materiales, tales como plásticos fenólicos laminados y otros productos cuyo valor de absorción de agua ha demostrado no ser apreciablemente afectado por temperaturas de hasta 110 °C (230 °F), se secarán en un horno durante 1 h a 105 ± 110 °C (221 ± 230 °F).

6.1.3 Cuando se desean datos para comparar con los valores de absorción para otros plásticos, las muestras deben secarse en un horno durante 24 horas a 50 ± 3 °C (122 ± 5.4 °F), enfriarse en un desecador e inmediatamente pesarse para el 0.001 g más cercano.

7. Procedimiento

7.1 Veinticuatro horas de inmersión: las muestras acondicionadas se colocarán en un recipiente con agua destilada mantenida a una temperatura de 23 ± 1 °C (73.4 ± 1.8 °F), descansando en el borde y completamente sumergidas. Al final de 24, + 1/2, -0 h, las muestras se eliminarán del agua, una a la vez, toda el agua de la superficie se limpiará con un paño seco, y se pesará con una precisión de 0.001 g inmediatamente. Si la muestra tiene un espesor de 1/16 pulgada o menos, se colocará en una botella de pesaje inmediatamente después de limpiarla y pesarse en la botella.

7.2 Inmersión de dos horas: para todos los espesores de materiales con una tasa de absorción relativamente alta, y para muestras delgadas de otros materiales que pueden mostrar un aumento de peso significativo en 2 h, las muestras se someterán a prueba como se describe en 7.1, excepto que el tiempo de inmersión se reducirá a 120 ± 4 min.

7.3 Inmersión repetida: una muestra se puede pesar al 0.001 g más cercano después de una inmersión de 2 h, se repone en el agua y se pesa nuevamente después de 24 h.

NOTA 5-Al usar este método de prueba, la cantidad de agua absorbida en 24 h puede ser menor de lo que hubiera sido si la inmersión no hubiera sido interrumpida.

7.4 Inmersión a largo plazo: para determinar el agua total absorbida cuando está sustancialmente saturada, las muestras acondicionadas deben probarse como se describe en 7.1, excepto que, al cabo de 24 h, deben eliminarse del agua, limpiarse sin humedad superficial con un paño seco, pesado al 0.001 g más cercano inmediatamente, y luego lo reemplazamos en el agua. Los pesajes deberán repetirse al final de la primera semana y cada dos semanas a partir de entonces hasta el aumento de peso por período de dos semanas, como lo muestran tres pesajes consecutivos, promedios inferiores al 1% del aumento total en peso o 5 mg, lo que sea mayor; el espécimen se considerará entonces sustancialmente saturado. La diferencia entre el peso sustancialmente saturado y el peso seco debe considerarse como el agua absorbida cuando está sustancialmente saturada.

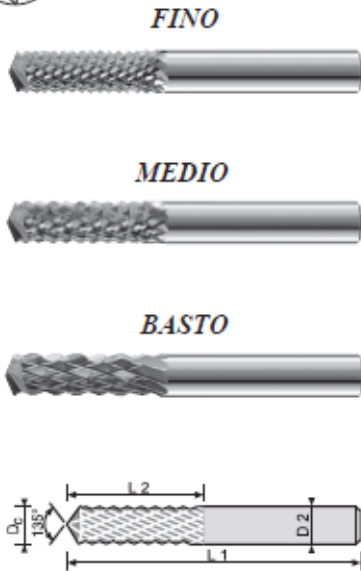
7.5 Inmersión en agua hirviendo de dos horas: las muestras acondicionadas se colocarán en un recipiente con agua destilada hirviendo, se apoyarán en el borde y se sumergirán por completo. Al final de 120 ± 4 minutos, las muestras serán removidas del agua y enfriadas en agua destilada mantenida a temperatura ambiente. Después de 15 ± 1 min, las muestras se extraerán del agua, una a la vez, toda el agua de la superficie se eliminará con un paño seco, y las muestras se pesarán con una precisión de 0.001 g inmediatamente. Si la muestra tiene un espesor de 1/16 pulgada o menos, se pesará en una botella de pesaje.

7.6 Inmersión en agua hirviendo de media hora: para todos los espesores de materiales con una tasa de absorción relativamente alta y para muestras delgadas de otros materiales que pueden mostrar un aumento de peso significativo en 1/2 h, las muestras se someterán a

ANEXO 2: Características del herramienta de acuerdo al catálogo Cerin para materiales compuestos y aleaciones ligeras

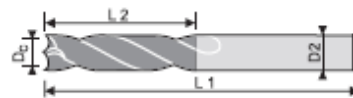


Ref: 109 (Dentado Diamante con corte frontal "Broca")



Dc h10	L2	L1	D2 h6	€
2	7	40	2	18,70
2	7	50	6	33,90
3	10	40	3	18,70
3	12	50	6	33,90
3,5	12	40	3,5	20,35
4	15	40	4	22,05
4	20	50	6	32,80
4,5	15	50	4,5	25,60
5	18	50	5	29,00
5	25	75	6	50,80
6	18	50	6	31,60
6	35	75	6	53,00
7	22	60	7	41,10
8	25	63	8	47,35
8	40	100	8	73,00
9	25	63	9	58,25
10	30	72	10	64,50
12	32	83	12	90,95
14	32	83	14	158,35
16	36	92	16	216,70
18	40	92	18	255,65
20	45	104	20	307,95

Ref: 118 (Broca para KEVLAR)



Dc h6	L2	L1	D2 h6	€	BORO "E"	Dc h6	L2	L1	D2 h6	€	BORO "E"
2,38	12	40	2,38	22,00	Sobre Pedido	6,5	31	70	6,5	51,00	Sobre Pedido
3	12	40	3	24,60		7	34	74	7	53,50	
3,17	12	40	3,17	29,00		7,93	37	79	7,93	58,50	
4	18	55	4	38,00		8	37	79	8	58,50	
4,76	24	58	4,76	39,50		8,5	37	79	8,5	61,50	
5	26	62	5	39,50		9	40	84	9	66,00	
5,55	28	66	5,55	43,00		9,52	40	84	9,52	71,00	
6	28	66	6	45,50		10	48	89	10	79,00	
6,35	31	70	6,35	49,00		12	50	102	12	106,50	

ANEXO 3: Licencia del software estadístico Minitab 18

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>

Todos los detalles sobre su pedido, incluido cualquier clave del producto, código de activación o vínculo de descarga necesarios (si es el caso), están disponibles en su tienda web en [Su cuenta/Pedidos](#).

Si es redirigido a la página de inicio de sesión interna de su organización, tendrá que iniciar sesión con las credenciales proporcionadas por su organización.

Resumen de pedido

Información del pedido

Número de pedido: 100652081023	Nombre: cristian perez
Fecha del pedido: 2019-02-01 11:39	Correo electrónico: cf.perez@uta.edu.ec
Hora estándar del Este	Tarjeta de crédito: MasterCard *****5407
	Esta transacción puede reflejarse como "estore.onthehub.com" en su estado de su cuenta.

Dirección de facturación

2 de 4

01/02/2019 11:46

cristian perez
Avenida Los Chasquis y Rio Payamino
Tungurahua 180150
Ecuador

Items (Todos los precios están en Dólares estadounidenses)

Vea los detalles para recubrir los artículos de su pedido.

	Cantidad	Precio unitario	Importe
1. Minital 18 (Multilinguaje) (26 Month Rental) - Descargar	1	\$29.99	\$29.99
2. Extensión Acceso Guacatemal (24 meses)	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



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 Lb1-0005-2019

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 10 de enero de 2019, la Srta. Nataly Mena, domiciliado en la ciudad de Ambato – Tungurahua, 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 52 muestras o probetas, bajo el nombre de: **(Resina epóxica combinado con cascarilla de arroz)** 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: **10 mm** de diámetro y espesor de **10 mm**.

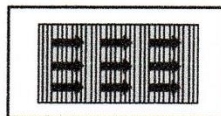
PROCESO GENERAL:

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: 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 del Equipo

Con la medición se puede verificar un error de 0.001 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 Surfrest SJ-210					
Realizado por:	Gustavo Pomaquero	Revisado por:	Ing. Sebastián Villegas			
Tipo de material:	Material compuesto (Resina epóxica combinado con cascarilla de arroz)				Orden: 16	
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de Medición:	Medición de rugosidad (Ra)	Norma:	ISO 4287-1997			
Dimensiones (mm):	Ø10mm x 10mm	Nº de probetas:	52			
						
Resultados de la medición de rugosidad con broca con diamante(um)						
Nº	Código	0°		180°		Medición promedio
		Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	
1	RE -CA	3,229	2,171	2,903	3,307	2,9025
2	RE -CA	2,384	1,638	2,854	1,964	2,21
3	RE -CA	4,255	3,244	4,184	3,755	3,8595
4	RE -CA	1,897	2,934	2,415	3,337	2,64575
5	RE -CA	3,792	3,962	3,62	3,286	3,665
6	RE -CA	2,235	3,141	1,564	3,723	2,66575
7	RE -CA	3,132	2,097	1,885	2,505	2,40475
8	RE -CA	2,616	3,601	2,832	2,06	2,77725
9	RE -CA	2,407	2,31	3,188	2,577	2,6205
10	RE -CA	2,248	1,683	3,315	1,476	2,1805
11	RE -CA	1,978	2,558	3,372	3,37	2,8195
12	RE -CA	2,969	3,046	2,448	2,803	2,8165

13	RE -CA	1,536	1,696	2,36	4,53	2,5305
14	RE -CA	3,278	3,785	3,895	3,469	3,60675
15	RE -CA	2,344	2,347	2,389	2,423	2,37575
16	RE -CA	4,01	2,125	4,089	2,053	3,06925
17	RE -CA	3,091	2,631	2,24	3,384	2,8365
18	RE -CA	3,121	3,565	4,623	4,126	3,85875
19	RE -CA	2,773	2,674	1,682	1,641	2,1925
20	RE -CA	3,041	3,068	2,274	2,625	2,752
21	RE -CA	3,321	3,133	2,875	2,804	3,03325
22	RE -CA	3,8	2,062	3,474	2,055	2,84775
23	RE -CA	2,057	1,974	2,162	2,507	2,175
24	RE -CA	2,229	1,338	1,359	3,258	2,046
25	RE -CA	1,398	2,974	3,559	3,277	2,802
26	RE -CA	2,454	4,241	3,248	3,098	3,26025

27	RE -CA	1,837	0,546	2,688	2,157	1,807
28	RE -CA	4,267	2,089	5,13	3,458	3,736
29	RE -CA	1,336	1,872	3,275	2,973	2,364
30	RE -CA	3,65	2,323	3,126	2,005	2,776
31	RE -CA	1,489	2,225	1,405	1,745	1,716
32	RE -CA	3,355	4,019	4,823	2,991	3,797
33	RE -CA	2,53	3,717	5,081	3,278	3,6515
34	RE -CA	3,279	1,779	3,735	2,618	2,85275
35	RE -CA	3,057	1,715	1,704	3,476	2,488
36	RE -CA	3,454	4,106	2,312	2,4	3,068
37	RE -CA	3,48	2,866	2,709	2,047	2,7755
38	RE -CA	2,476	2,055	1,933	2,287	2,18775
39	RE -CA	3,074	4,456	2,544	2,371	3,11125
40	RE -CA	0,806	1,722	1,198	1,187	1,22825
41	RE -CA	3,355	3,985	2,268	1,623	2,80775
42	RE -CA	2,728	4,48	3,106	2,764	3,2695
43	RE -CA	2,389	1,286	3,051	2,583	2,32725
44	RE -CA	1,572	2,175	3,986	2,718	2,61275
45	RE -CA	3,614	3,288	2,213	3,02	3,03375
46	RE -CA	3,35	4,815	2,013	4,481	3,66475
47	RE -CA	2,025	1,761	1,843	1,719	1,837
48	RE -CA	3,789	2,078	2,517	2,411	2,69875
49	RE -CA	3,734	1,862	1,579	2,524	2,42475
50	RE -CA	2,948	2,77	2,68	2,515	2,72825
51	RE -CA	4,35	4,065	3,566	1,494	3,36875
52	RE -CA	3,508	3,021	3,093	4,019	3,41025



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





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 **Lb1-0006-2019**

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 $0,03 \mu m$ y $20 \mu m$.

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

ANTECEDENTES:

Con fecha 10 de enero de 2019, la Srta. Nataly Mena, domiciliado en la ciudad de Ambato – Tungurahua, 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 52 muestras o probetas, bajo el nombre de: **(Resina poliéster combinado con cascarilla de arroz)** 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: **10mm** de diámetro y **10 mm** de espesor

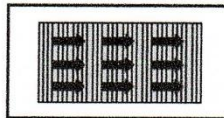
PROCESO GENERAL:

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 $2,94 \mu m$ (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: 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 del Equipo

Con la medición se puede verificar un error de 0.001 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:	10/01/2019	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 poliéster combinado con cascarilla de arroz)			Orden:		
PARÁMETROS DE ENSAYO						
Tipo de Medición:	Medición de rugosidad (Ra)	Norma:	ISO 4287-1997			
Dimensiones (mm):	Ø10mm x 10mm	Nº de probetas:	52			
						
Resultados de la medición de rugosidad (um)						
Nº	Código	Longitud: 40 mm		Longitud: 20 mm		Medición promedio
		Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	
1	RP -CA	1,98	2,079	2,25	2,256	2,14125
2	RP -CA	2,88	2,59	2,827	2,744	2,76025
3	RP -CA	2,959	2,912	2,655	2,539	2,76625
4	RP -CA	2,308	1,889	1,941	1,721	1,96475
5	RP -CA	2,846	2,398	2,663	2,063	2,4925
6	RP -CA	2,345	2,066	2,246	2,344	2,25025
7	RP -CA	2,692	2,379	2,135	3,022	2,557
8	RP -CA	1,658	2,042	1,988	1,876	1,891
9	RP -CA	2,099	1,911	1,636	2,064	1,9275
10	RP -CA	1,799	2,366	1,763	2,431	2,08975
11	RP -CA	2,587	2,045	1,727	2,027	2,0965
12	RP -CA	2,117	2,033	1,796	1,586	1,883
13	RP -CA	1,47	1,156	1,502	1,651	1,44475

14	RP -CA	2,391	1,098	2,227	2,439	2,03875
15	RP -CA	2,98	2,084	2,628	2,412	2,526
16	RP -CA	2,85	2,115	2,402	1,469	2,209
17	RP -CA	2,597	1,955	2,326	3,967	2,71125
18	RP -CA	2,248	2,043	2,651	2,305	2,31175
19	RP -CA	2,45	2,116	2,186	1,897	2,16225
20	RP -CA	2,707	2,42	2,588	2,655	2,5925
21	RP -CA	1,897	1,564	1,837	1,951	1,81225
22	RP -CA	2,668	2,635	2,237	2,772	2,578
23	RP -CA	1,778	1,918	2,11	1,973	1,94475
24	RP -CA	1,684	1,627	1,784	1,824	1,72975
25	RP -CA	2,595	2,309	1,904	2,142	2,2375
26	RP -CA	1,601	1,169	1,511	1,48	1,44025

27	RP -CA	1,096	1,109	1,047	0,862	1,0285
28	RP -CA	4,124	4,97	5,565	3,369	4,507
29	RP -CA	1,485	1,736	1,858	2,99	2,01725
30	RP -CA	2,86	2,156	2,374	2,271	2,41525
31	RP -CA	2,125	2,24	2,249	1,938	2,138
32	RP -CA	3,836	2,098	2,609	3,522	3,01625
33	RP -CA	2,391	3,636	1,734	2,475	2,559
34	RP -CA	1,642	1,882	2,187	1,963	1,9185
35	RP -CA	2,117	2,492	2,469	2,797	2,46875
36	RP -CA	2,408	2,678	2,932	3,007	2,75625
37	RP -CA	2,92	3,167	3,703	2,178	2,992
38	RP -CA	2,02	1,887	2,191	2,4	2,1245
39	RP -CA	1,83	2,506	2,907	2,742	2,49625
40	RP -CA	1,227	2,135	1,109	0,819	1,3225
41	RP -CA	3,682	3,328	3,234	1,798	3,0105
42	RP -CA	1,471	1,163	1,815	1,773	1,5555
43	RP -CA	3,042	2,588	2,416	2,723	2,69225
44	RP -CA	1,366	1,89	1,795	1,69	1,68525
45	RP -CA	4,756	3,236	3,145	3,443	3,645
46	RP -CA	2,059	2,369	2,659	2,77	2,46425
47	RP -CA	2,145	1,866	2,117	2,194	2,0805
48	RP -CA	2,799	3,457	3,094	3,713	3,26575
49	RP -CA	2,424	2,26	3,06	1,704	2,362
50	RP -CA	3,494	2,306	1,79	2,267	2,46425
51	RP -CA	1,86	2,155	3,012	2,227	2,3135
52	RP -CA	3,09	2,679	2,4	2,783	2,738



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

