



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA JUNTA TRASLAPADA SIMPLE,
ENTRE EL ACERO ESTRUCTURAL, RESINA EPÓXICA Y FIBRA DE CARBONO
UNIDIRECCIONAL, UTILIZANDO MÉTODOS DE LIMPIEZA SUPERFICIAL
ALTERNATIVOS.”

Autores: Jordi Javier Escobar Altamirano

Tutor: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc., Mg

AMBATO – ECUADOR

2023

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor de Trabajo Experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA JUNTA TRASLAPADA SIMPLE, ENTRE EL ACERO ESTRUCTURAL, RESINA EPÓXICA Y FIBRA DE CARBONO UNIDIRECCIONAL, UTILIZANDO MÉTODOS DE LIMPIEZA SUPERFICIAL ALTERNATIVOS.”**, elaborado por el señor Jordi Javier Escobar Altamirano, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 1803994720, estudiante de la Carrera de Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad

Ambato, junio 2023



Ing. Francisco Agustín Peña Jordán, MSc

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Jordi Javier Escobar Altamirano, portador de la cedula de ciudadanía C.I. 1803994720, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente trabajo experimental con el tema: **“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA JUNTA TRASLAPADA SIMPLE, ENTRE EL ACERO ESTRUCTURAL, RESINA EPÓXICA Y FIBRA DE CARBONO UNIDIRECCIONAL, UTILIZANDO MÉTODOS DE LIMPIEZA SUPERFICIAL ALTERNATIVOS”**, así como también los gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias citadas en el mismo.

Ambato, junio 2023



Jordi Javier Escobar Altamirano

C.I. 1803994720

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

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

Cedo los Derechos en línea primordial de mi Trabajo 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, junio 2023



Jordi Javier Escobar Altamirano

C.I. 1803994720

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Jordi Javier Escobar Altamirano, de la Carrera de Mecánica, bajo el tema: “DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE LA JUNTA TRASLAPADA SIMPLE, ENTRE EL ACERO ESTRUCTURAL, RESINA EPÓXICA Y FIBRA DE CARBONO UNIDIRECCIONAL, UTILIZANDO MÉTODOS DE LIMPIEZA SUPERFICIAL ALTERNATIVOS”.

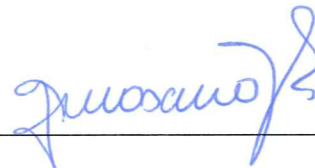
Ambato, junio 2023

Por constancia firman:



Ing. Mg. Gonzalo Eduardo López Villacis

MIEMBRO CALIFICADOR



Ing. José Luis Yunapanta Velasteguí MSc

MIEMBRO CALIFICADOR

AGRADECIMIENTO

A mi madre, que sin su apoyo incondicional nunca habría logrado ninguna de mis metas, hermanos y familia por su incesante apoyo durante toda esta trayectoria y poder llegar a este punto, por no solo dejarme seguir mis sueños sino exigiéndome y por darme una razón de seguir cuando ya no podía.

Lucho, gordita, Sebas y Marcos por formar parte de esta historia, que me animaban cuando todo parecía perdido, me ayudaban a estudiar cuando debía y me obligaban a distraerme cuando lo necesitaba, un hogar lejos de casa. Y a todos aquellos hombros con los que pude apoyarme para llegar tan lejos, no solo como estudiante sino también como persona.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPITULO I.....	1
1.1 Antecedentes Investigativos.....	1
1.1.1. Justificación.....	4
1.1.2. Fundamento Teórico	6
1.1.2.1. Mecanizado	6
1.1.2.2. Topografía de superficies	9
1.1.2.3. Definiciones fundamentales de las superficies	10
1.1.2.4. Parámetros de textura superficial	11
1.1.2.5. Medición de rugosidad.....	14
1.1.2.6. Graduación de rugosidad.....	16
1.1.2.7. Uniones adhesivas.....	17

1.1.2.8. Adhesión y Cohesión	22
1.1.2.9. Módulos de fallo en uniones adhesivas.....	22
1.1.2.10. Herramientas para validar la hipótesis	24
1.2 Objetivos	26
1.2.1 Objetivo General	26
1.2.2 Objetivos Específicos.....	26
1.3 Planteamiento de hipótesis.....	27
1.3.1 Distinción de variables de la hipótesis	27
CAPÍTULO II	28
2.1. Materiales.....	28
2.1.1. Descripción de equipos e instrumentos aplicados.....	31
2.2. Métodos.....	39
2.2.1. Tipo de investigación	39
2.2.2. Población y muestra	40
2.2.3. Proceso para el ensayo	40
2.2.4. Determinación de dimensiones de las probetas de acero A36 y Fibra de carbono unidireccional	42
2.2.5 Determinación de la presión	44
2.2.6. Identificación de las probetas	46
2.2.7 Preparación de las probetas	47
2.2.8 Proceso de corte y codificación de las probetas de acero A36	48
2.2.9 Proceso de corte de la fibra de carbono	50
2.2.10 Limpieza superficial.....	52

2.2.10.1 Limpieza por disco de cerdas de acero	52
2.2.10.2 Limpieza por lijadora rectangular con lija para metal grado 30	55
2.2.11 Medición de la rugosidad	57
2.2.12 Preparación y aplicación de la resina epóxica	58
2.2.13 Montaje de la unión solapada simple	61
2.2.14 Aplicación del ensayo a tracción.....	63
CAPÍTULO III	65
3.1 Análisis y discusión de los resultados	65
3.1.1 Resultados de rugosidad de las probetas	65
3.1.2 Resultados del ensayo D1002 de las probetas	82
3.2 Verificación de hipótesis.....	119
CAPITULO IV	125
4.1 Conclusiones	125
4.2 Recomendaciones.....	126
MATERIALES DE REFERENCIA	127
Referencias Bibliográficas	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Función del sistema tribológico.....	9
Figura 2. Perfil de rugosidad y parámetros de amplitud.....	13
Figura 3. Set de muestras de rugosidad para comparación tacto/visual RB-set130	14
Figura 4. Rugosímetro de palpador mecánico de laboratorio SE-1200 KOSAKA	15
Figura 5. Tipos de unión a top. (a) unión a tope común, (b) unión biselada, (c) junta macho-hembra.....	19
Figura 6. Unión a solape	19
Figura 7. Unión en T y en esquina.....	20
Figura 8. Dimensiones de acuerdo con la norma ASTM D1002	42
Figura 9. Dimensiones finales de la probeta según norma ASTM D1002.	44
Figura 10. Flujograma de procesos para la preparación de probetas	47
Figura 11. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-01	84
Figura 12. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-02.....	86
Figura 13. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-03.....	88
Figura 14. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-04.....	90
Figura 15. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-05.....	92
Figura 16. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-06.....	94
Figura 17. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-07.....	96

Figura 18. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-08.....	98
Figura 19. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-01	100
Figura 20. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-02	102
Figura 21. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-03	104
Figura 22. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-04	106
Figura 23. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-05	108
Figura 24. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-06	110
Figura 25. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-07	112
Figura 26. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c)Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-08	114
Figura 27. Distribución Normal de la rugosidad obtenida mediante el proceso de limpieza con disco de cerdas de acero.	116
Figura 28. Distribución Normal de la rugosidad obtenida mediante el proceso de limpieza con lijadora recta.	116
Figura 29. Distribución Normal de la fuerza máxima obtenida mediante el proceso de limpieza con disco de cerdas de acero.	117
Figura 30. Distribución Normal de la fuerza máxima obtenida mediante el proceso de limpieza con lijadora rectangular.	117
Figura 31. Distribución Normal del esfuerzo máximo de corte obtenido mediante el proceso de limpieza con disco de cerdas de acero.	118
Figura 32. Distribución Normal del esfuerzo máximo de corte obtenido mediante el proceso de limpieza con lijadora rectangular.....	118

Figura 33. Diagrama caja y bigotes de los resultados de rugosidad con los métodos de limpieza manual, sandblasting, disco de cerdas de acero y lijadora rectangular 123

Figura 34. Diagrama caja y bigotes de los resultados de fuerza maxima con los métodos de limpieza manual, sandblasting, disco de cerdas de acero y lijadora rectangular 123

Figura 35. Diagrama caja y bigotes de los resultados de esfuerzo cortante maximo con los métodos de limpieza manual, sandblasting, disco de cerdas de acero y lijadora rectangular..... 124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de remoción de material.....	7
Tabla 2. Resumen de parámetros aritméticos	12
Tabla 4. Comparación de la desviación aritmética Ra y el grado de rugosidad	16
Tabla 5. Tipos de cargas en uniones adhesivas.....	21
Tabla 6. Principales fallos producidos en uniones adhesivas	23
Tabla 7. Propiedades y composición del acero ASTM A36.....	29
Tabla 8. Propiedades de la Resina Epóxica	30
Tabla 9. Resistencia a la tracción con respecto al tiempo y temperatura de secado.....	30
Tabla 10. Propiedades de la fibra de carbono	31
Tabla 11. Herramientas utilizadas.....	32
Tabla 12. Maquinas utilizadas	34
Tabla 13. Consumibles utilizados	38
Tabla 14. Descripción del número de probetas respecto al método de limpieza utilizado.	40
Tabla 15. Codificación de las probetas	46
Tabla 16. Proceso de preparación de las probetas de acero A36	48
Tabla 17. Proceso de corte de la fibra de carbono unidireccional Sika Carbodur S512..	50
Tabla 18. Limpieza superficial mediante disco de cerdas de acero.....	52
Tabla 19. Limpieza por lijadora rectangular con lija para metal grado 30.	55
Tabla 20. Proceso para la medición de rugosidad.....	57
Tabla 21. Preparación y aplicación de la resina epóxica.	58
Tabla 22. Proceso de montaje	62

Tabla 23. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero A36_FCU_CA_01.	66
Tabla 24. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero A36_FCU_CA_02.	67
Tabla 25. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero A36_FCU_CA_03.	68
Tabla 26. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero A36_FCU_CA_04.	69
Tabla 27. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero A36_FCU_CA_05.	70
Tabla 28. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero A36_FCU_CA_06.	71
Tabla 29. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero A36_FCU_CA_07.	72
Tabla 30. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero A36_FCU_CA_08.	73
Tabla 31. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular A36_FCU_LR_01.	74
Tabla 32. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular A36_FCU_LR_02.	75
Tabla 33. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular A36_FCU_LR_03.	76
Tabla 34. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular A36_FCU_LR_04.	77
Tabla 35. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular A36_FCU_LR_05.	78
Tabla 36. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular A36_FCU_LR_06.	79
Tabla 37. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular A36_FCU_LR_07.	80

Tabla 38. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular A36_FCU_LR_08.....	81
Tabla 39. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_01.	83
Tabla 40. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_02.	85
Tabla 41. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_03.	87
Tabla 42. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_04.	89
Tabla 44. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_06.	93
Tabla 45. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_07.	95
Tabla 46. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_08.	97
Tabla 47. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_01.....	99
Tabla 48. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_02.....	101
Tabla 49. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_03.....	103
Tabla 50. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_04.....	105
Tabla 51. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_05.....	107
Tabla 52. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_06.....	109
Tabla 53. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_07.....	111
Tabla 54. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_08.....	113
Tabla 55. Resumen de resultados obtenidos	115
Tabla 56. Determinación del valor t calculado para rugosidad.....	119
Tabla 56. Determinación del valor t calculado para rugosidad (continuación)	120
Tabla 57. Determinación del valor t calculado para la fuerza máxima.....	121
Tabla 58. Determinación del valor t calculado para el esfuerzo cortante máximo.	122

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Abrasivo: material utilizado para pulir, lijar, tallar o desgastar otro elemento mediante fricción.

Adhesivo: material utilizado para crear una unión fuerte y permanente entre dos superficies mediante adherencia.

Adherencia: fuerza de atracción entre dos objetos.

Cizallamiento: resistencia de un material a la deformación en dirección transversal a su eje longitudinal.

Deformación plástica: proceso mediante el cual un material se estira o deforma permanentemente bajo la acción de una tensión o esfuerzo, sin producirse rotura o fractura.

Desviación estándar: medida de dispersión de un conjunto de datos en torno a su media

Disnea: Dificultad para respirar

PIB: Producto Interno Bruto

Tracción: fuerza aplicada en dirección opuesta a la resistencia o fricción de un objeto que tiene como objetivo moverlo o deformarlo.

Velocidad periférica: o tangencial es la velocidad lineal exterior de una zona sometida a rotación y se expresa en unidad de longitud sobre tiempo.

Velocidad de cruce libre: se obtiene al multiplicar la velocidad de deformación por la longitud paralela.

RESUMEN

El sandblasting es un proceso de limpieza y texturización que se basa en la proyección de un material abrasivo sobre una superficie, con un amplio uso industrial en procesos de remoción de óxidos, impurezas y suciedad. Sin embargo, es una operación con ciertas desventajas, como su alto costo, elevada generación de desechos y el riesgo a la salud de los operarios. Se investigó que existe una relación directamente proporcional entre la rugosidad y el esfuerzo máximo de corte que soporta una unión adhesiva. Debido a que esta técnica ha dado uno de los mejores resultados, se utilizó métodos alternativos como un disco de cerdas de acero a 2300 rpm y lijadora rectangular equipada con una lija de grado 30, con el fin de conseguir datos similares, esto se desarrolló en probetas de acero estructural A36 y fibra de carbono unidireccional, dimensionadas según la norma ASTM D1002 y adheridas mediante resina epóxica en una unión solapada simple. Los resultados fueron obtenidos al aplicarse ensayos de tracción, obteniendo un mejor resultado en las probetas tratadas con disco de cerdas de acero, obteniendo valores promedios de 10,522 micrómetros en rugosidad, 8262,5 N en fuerza máxima y 9,6 MPa en el esfuerzo cortante máximo. Al comparar y aplicar una prueba estadística paramétrica entre los resultados obtenidos con la información rescatada de investigaciones previas, se comprobó que no existe diferencia significativa entre ambas técnicas.

Palabras clave: sandblasting, métodos alternativos, rugosidad, disco de cerdas, unión adhesiva.

ABSTRACT

Sandblasting is a cleaning and texturing process based on the projection of an abrasive material on a surface, with a wide industrial use in oxide, impurities and dirt removal processes. However, it is an operation with certain disadvantages, such as its high cost, high waste generation and risk to the health of operators. It was investigated that there is a directly proportional relationship between roughness and the maximum shear stress that an adhesive bond can withstand. Since this technique has given one of the best results, alternative methods such as a steel bristle disc at 2300 rpm and rectangular sander equipped with a 30 grade sandpaper were used in order to obtain similar data. This was developed on A36 structural steel and unidirectional carbon fiber specimens, sized according to ASTM D1002 and bonded with epoxy resin in a simple overlapped joint. The results were obtained by applying tensile tests, obtaining a better result in the specimens treated with steel bristle disc, obtaining average values of 10.522 micrometers in roughness, 8262.5 N in maximum force and 9.6 MPa in maximum shear stress. When comparing and applying a parametric statistical test between the results obtained with the information obtained from previous research, it was found that there is no significant difference between the two techniques.

Keywords: sandblasting, alternative methods, roughness, steel bristle disc, adhesive bonding.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

TEMA

DETERMINACION DE LA RESISTENCIA DE LA JUNTA TRASLAPADA SIMPLE, ENTRE EL ACERO ESTRUCTURAL, RESINA EPÓXICA Y FIBRA DE CARBONO UNIDIRECCIONAL, UTILIZANDO METODOS DE LIMPIEZA SUPERFICIAL ALTERNATIVOS.

1.1 Antecedentes Investigativos

En la actualidad, la industria de construcciones metálicas se enfrenta a nuevos retos enfocados en mejorar la resistencia estructural de obras debilitadas por el tiempo, junto con factores como la corrosión acelerada por efecto de tensiones, fatiga inducida por el uso o exposición a cargas cíclicas repetidas (fatiga cíclica), cargas dinámicas o fenómenos naturales como temblores repentinos e intensos, especialmente en Ecuador debido al contacto entre tres placas tectónicas [1], [2], [3].

En respuesta a esto, existen diversas técnicas que se aplican en el refuerzo estructural, diferenciadas principalmente por el material de adición. La más común es el reforzamiento con perfiles metálicos unidos mediante soldadura o anclajes. Existe el reforzamiento con fibras de carbono unido mediante algún tipo de adhesivo especial, el reforzamiento utilizando inyección de resina epóxica en grietas o fisuras y el fortalecimiento añadiendo cables de acero tensado unidos mediante anclajes y tensores, con el fin de crear compresión en la estructura [4]–[8].

Una técnica mayormente utilizada en el reforzamiento de puentes o torres consiste en utilizar pernos de alta resistencia; sin embargo, representan un alto riesgo de falla debido a sobreajustes durante el montaje, cargas de fatiga y corrosión [9].

La alternativa más ecológica al uso de los habituales elementos metálicos de refuerzo ha sido la utilización de materiales compuestos, como fibra de vidrio o basalto plástico, conservando similares características de durabilidad y fiabilidad [10].

Para la selección de un material de refuerzo se deben considerar varios factores, entre los cuales se encuentra el análisis del ambiente en el que se construyó la estructura, las características mecánicas, la naturaleza e identificación del problema y el costo [11]. Asimismo, cada material tiene sus ventajas y desventajas, por ejemplo, la fibra de carbono y los polímeros reforzados con fibras son ligeros y resistentes, pero resultan costosos y requieren cierto conocimiento específico para su instalación. Por otro lado, los pernos metálicos son la opción más económica y fácil de instalar, sin embargo, requieren una mayor área de aplicación y generan agujeros adicionales en la construcción.

Se han realizado estudios enfocados en determinar el comportamiento de las estructuras expuestas a reforzamiento. Entre estos se puede destacar el mejoramiento de la resistencia al corte en vigas de hormigón a las que se aplicó un polímero reforzado con fibra de basalto, el fortalecimiento torsional de vigas mediante polímeros reforzados con fibra, la rehabilitación de vigas de hormigón utilizando inyección de resina epóxica reforzadas con bandas de fibra de carbono y la relación que existe entre el sistema de fortalecimiento con el modo de falla de los refuerzos [12]–[15].

En el trabajo, “Propuesta de reforzamiento de vigas de alma llena de puentes metálicos con fibra de carbono y Resina epóxica” de Francisco Peña y Jose Luis Yunapanta, se plantea el reforzamiento de vigas mediante fibra de carbono y resina epóxica. Los autores concluyen que este proceso disminuye los esfuerzos y deflexiones, obteniendo una reducción significativa del 45,714% entre vigas IPE [16].

Sin embargo, varios estudios han demostrado la importancia de los procesos de limpieza superficial en la generación de superficies de anclaje entre el revestimiento y el sustrato evitando la presencia de contaminantes en la superficie, como aceites, grasas, polvo o

humedad. Estos contaminantes pueden reducir significativamente la adhesión y la fuerza de unión entre los materiales [17].

Este proceso comienza realizando una evaluación de las condiciones iniciales de la superficie, abarcando variables como las propiedades del sustrato, humectabilidad, ángulo de contacto, entre otros [18]. Los procesos más comúnmente utilizados se resumen a continuación:

- Limpieza mecánica, principalmente granallado, que se utiliza como proceso antes de aplicar algún tipo de revestimiento. Se ha demostrado que el incremento en la presión y el uso de un abrasivo de mayor tamaño durante el granallado beneficia la humectabilidad superficial, aumenta el rendimiento del adhesivo y mejora la resistencia al corte de la unión [19]
- Limpieza química, mediante la aplicación de productos químicos como ácido clorhídrico y fosfatos.
- Limpieza por inmersión, que consiste en sumergir las piezas de metal en un fluido limpiador como solventes orgánicos o alcalinos.
- Electro-limpieza, que consiste en aplicar una corriente eléctrica en la superficie, con el fin de provocar un proceso electroquímico.

Entre estos procesos podemos destacar los más innovadores, como la limpieza con láser de onda continua de alta potencia en miembros corroídos, que logra una excelente limpieza microscópica y prolonga el tiempo de re-corrosión, evitando los residuos del medio y la limpieza metálica utilizando microburbujas en un medio de agua desionizada enfocada en eliminar el aceite de la superficie [20], [21].

Como muestra de lo mencionado, estudios experimentales concluyeron que el tratamiento de las superficies utilizando sandblasting obtiene los mejores resultados de resistencia al corte debido a que genera un alto nivel de rugosidad, aproximadamente de $10.79 \mu\text{m}$ [22].

1.1.1. Justificación

En el país, la sección del mercado ocupado por la construcción representa el 40% de las inversiones [23]. De acuerdo con el Banco Central del Ecuador, este sector se proyecta a crecer un 2,9% durante el año 2022, manteniendo la aportación al PIB de 6,4%. En promedio, ingresa alrededor de 2 020 millones de dólares en ventas del sector edificaciones y obras de construcción durante el primer semestre [24]. Como muestra de la importancia de este segmento del mercado, en el año 2019 se registraron alrededor de 153 empresas dedicadas a esta actividad, con el mayor porcentaje ubicado en la provincia de Pichincha, resultando en 2.047 plazas de empleo distribuidas entre grandes, medianas, pequeñas y microempresas [25]. Sin embargo, como material, el metal solo representa el 6,9% de participación en estructuras, muy por debajo del hormigón armado [26].

Como se ha podido evidenciar, en el país la construcción de estructuras metálicas como base para la edificación de viviendas y edificios ha tomado una notable alza en su demanda, aunque estos armazones presenten varias ventajas, no hay que descartar la posibilidad de fallas. Según estudios realizados en Japón, la causa principal de fractura en estructuras es la generación de grietas en zonas en donde se acumulan las deformaciones producidas por deformaciones plásticas. Así mismo, plantea que una fisura producida por un fuerte sismo se denomina dúctil y la velocidad en la que se desarrolla es proporcional a la penetración que haya producido [27].

Los sismos no son los únicos causantes de fallas, dado que las estructuras coexisten con varios factores, como por ejemplo variaciones climáticas, acumulación de tierra o la incidencia de la flora y fauna cercana [28]. Esto genera la necesidad de reforzar las zonas más críticas en una estructura, incrementando las secciones o el material para aumentar la resistencia del elemento con el fin de elevar la calidad, rendimiento y la resistencia a la flexión de los elementos[29]–[31].

Además, los gastos que implica la demolición y reconstrucción de estructuras antiguas o en mal estado son frecuentemente mayores que los beneficios que se obtienen, ya que estos procesos suelen tener un alto costo y requieren un tiempo prolongado [4].

Con esta base, se propone el uso de fibra de carbono como material de refuerzo, debido a su alta resistencia mecánica, bajo peso y densidad [28]. Asimismo, se sugiere emplear un adhesivo a base de resina epóxica, el cual ha demostrado ser cinco veces más resistente al cizallamiento y a la tracción que el hormigón [29]. Para este refuerzo, debemos considerar la relación de proporcionalidad directa que existe entre la tensión necesaria para desgarrar la unión adhesiva y la rugosidad de una superficie, considerando que se logra una mayor tensión cuando se produce una longitud de rugosidad menor [30].

De los trabajos presentados en los antecedentes podemos rescatar que el método que ha obtenido uno de los resultados más eficientes ha sido el uso de sand-blasting que consiste en el arrastre de partículas abrasivas, arena o granalla de acero, mediante aire comprimido o utilizando la fuerza centrípeta que se produce en un rotor [31], sin embargo, este proceso necesita de instalaciones especializadas y equipo sofisticado, desfavoreciendo su aplicación en estructuras que ya se encuentren en uso.

Basado en la naturaleza abrasiva de la operación, si no se mantiene un programa de mantenimiento adecuado y riguroso, la eficiencia decrecería gradualmente, lo que resultaría en un aumento de costos debido al desgaste prematuro de algunos componentes [31], además es necesario contar con un espacio adecuado y equipado con un sistema presurizado, para evitar la contaminación ambiental. Sumado a un sistema de reutilización de granalla acorde al volumen de trabajo [32]. Debido a esto, el presupuesto para la construcción de una cabina de 14x7x7m, incluyendo los gastos producidos por el proceso de diseño, materiales y construcción estaría rondando los 40 719, 39 dólares.

Una de las variables que puede llegar a afectar el costo del proceso es el tipo de abrasivo que se utilice, este se puede clasificar en tipos, clases y grados [33].

El proceso presenta una desventaja importante: el riesgo que implica para el personal debido a la exposición constante a partículas abrasivas o polvo. Es responsabilidad de los empleadores garantizar que las medidas de protección en materia de salud y bienestar de sus trabajadores, según lo establecido en el artículo 12 de la Decisión 584 del Instrumento Andino de Seguridad y Salud en el Trabajo [34]. Según la referencia [35], se consideran enfermedades profesionales aquellas afecciones causadas directamente por el desarrollo de una ocupación o la exposición a algún tipo de factor riesgo.

Durante el proceso, la exposición a partículas abrasivas o polvo sin un equipo de protección adecuado puede provocar enfermedades respiratorias como la silicosis, caracterizada por el desarrollo de nódulos fibróticos que reducen gradualmente la respiración [36]. Además, esta exposición también puede derivar en otras afecciones como asma bronquial crónica, rinitis crónica e infiltración eosinofilia pulmonar [37]. Es importante destacar que la falta de medidas de seguridad en el uso prolongado de abrasivos puede causar laceraciones, quemaduras en la piel, lesiones en los ojos y daño en los oídos [38].

1.1.2. Fundamento Teórico

1.1.2.1. Mecanizado

El mecanizado consiste en una serie de operaciones y procesos de conformado que se caracterizan por la eliminación de material excedente con el objetivo de lograr ciertas condiciones o geometrías [39]. En la Tabla 1 se resumen los principales métodos de remoción de material, incluyendo las herramientas y la rugosidad resultante del proceso

Tabla 1. Métodos de remoción de material [39]–[43]

Remoción de material		
Método	Descripción Herramientas	Rugosidad [μm]
Procesos abrasivos		
Esmerilado	Es un proceso de corte que produce arranque de viruta, similar al rectificado, cuya diferencia únicamente se encuentra en el objetivo de cada uno. Mientras que el esmerilado se encarga de optimizar la terminación de la pieza, el rectificado se encarga de disminuir la rugosidad. El trabajo se realiza por raspado, resultando en conseguir espesores de corte en milímetros. Para este proceso se utiliza una herramienta radial, normalmente una amoladora, y un disco de esmeril o muela, conformada por granos abrasivos y un aglutinante.	0,1 – 3,2
Bruñido	Similar al esmerilado, utiliza bajas revoluciones para mantener el calor y la presión en lo más mínimo, logrando un mejor control en la geometría de la pieza. Normalmente se utiliza en diámetros interiores. Se utiliza herramientas conocidas como bruñidoras acompañadas de husillos equipadas con piedras abrasivas	0,1 – 0,8
Pulido	Es un proceso que prácticamente no libera material, dejando la superficie libre de rasguños, rebordes y lisa. Esto se logra mediante herramientas de altas revoluciones (2300 m/min) y ruedas abrasivas flexibles.	0,1 – 0,5
Superacabado	Consiste en un proceso similar al lapeado bajo ciertas condiciones, estas son: utilización de muelas duras y abrasivos aluminosos, un gran volumen de lubricante para evitar que la temperatura se eleve excesivamente, bajas presiones y durante periodos cortos de tiempo.	0,05 – 0,2
Procesos No tradicionales		
Granallado	También denominado maquinado con chorro abrasivo, es un proceso agresivo de eliminación de material, producto de exponer la superficie a una corriente combinada de partículas abrasivas, como granalla metálica o de acero y gas a alta presión.	2 – 10
Sandblasting	Es un proceso de tratamiento superficial similar al granallado, pero que se distingue por el tipo de abrasivo empleado la forma en que se ejecuta. Utiliza arena como abrasivo, lo que resulta en un perfil mas suave que el granallado.	2 – 15

Tabla 1. Métodos de remoción de material (continuación)

Electroquímico	Es un proceso que remueve material superficialmente de un material metálico conductor expuesto a una disolución anódica. Principalmente se utiliza para eliminar los recubrimientos galvánicos de las superficies. Se utiliza una herramienta compuesta de electrodos y un electrolito, que, al fluir a altas velocidades entre los polos de la herramienta, separa el material de la superficie.	0,2 – 2
Descarga eléctrica	Se conoce también como electro remoción y es un proceso que utiliza una sucesión intermitente de descargas eléctricas con la fuerza necesaria para elevar la temperatura hasta el punto de vaporizar el metal. la principal limitante de este proceso es que solo se puede aplicar en materiales electro-conductores. Las herramientas principales usadas en este proceso son: electrodos, fluido dieléctrico, sistema de filtrado y bombeo y un generador de corriente.	1,5 – 15
Haz de electrones	Es un tratamiento que utiliza un flujo enfocado de electrones a alta velocidad, los cuales, fundiendo y vaporizan el material. La velocidad de operación es aproximadamente el 75% de la velocidad de la luz y se focaliza mediante un lente electromagnético de un diámetro de alrededor 0,025 mm.	1,5 – 15
Haz de laser	Similar al haz de electrones, emplea la energía luminosa para tratar la superficie de un material mediante vaporización y desgaste. Principalmente se utiliza un láser de gas de dióxido de carbono. Esta operación también se utiliza en procesos de taladrado, corte, ranurado y grabado debido a su exactitud y la capacidad de generar orificios de diminutas dimensiones.	1,5 – 15

1.1.2.2. Topografía de superficies

La textura y topografía en las superficies son resultantes de la aplicación de los diferentes procesos utilizados para la obtención de la pieza, deben estar dentro de la tolerancia dimensional solicitada por el diseño, cumplir con los requisitos de calidad superficial y dependen de las herramientas empleadas. Obtener una textura superficial adecuada puede ser un desafío debido a la necesidad de equilibrar la calidad de la superficie con su función prevista, así como a la necesidad de seleccionar y aplicar los procesos y parámetros más eficaces y óptimos. [44]

La medición y evaluación de la textura presenta un reto metrológico, cuando se deben cumplir con requisitos extremadamente precisos. Normalmente se utiliza como un indicativo para el proceso, puesto que refleja el nivel de desgaste que tiene una herramienta. También puede indicar la variación en las vibraciones de una máquina o herramienta, lo que podría ayudar a diagnosticar en caso de existir alguna pieza dañada o la necesidad de realizar un mantenimiento, entre otros.

Un factor importante en la generación de una textura superficial son las respuestas que se obtienen del sistema tribológico que se forma entre los materiales, estas son fricción y desgaste, influenciados por una gran variedad de factores. Este sistema se resume en la Figura 1.

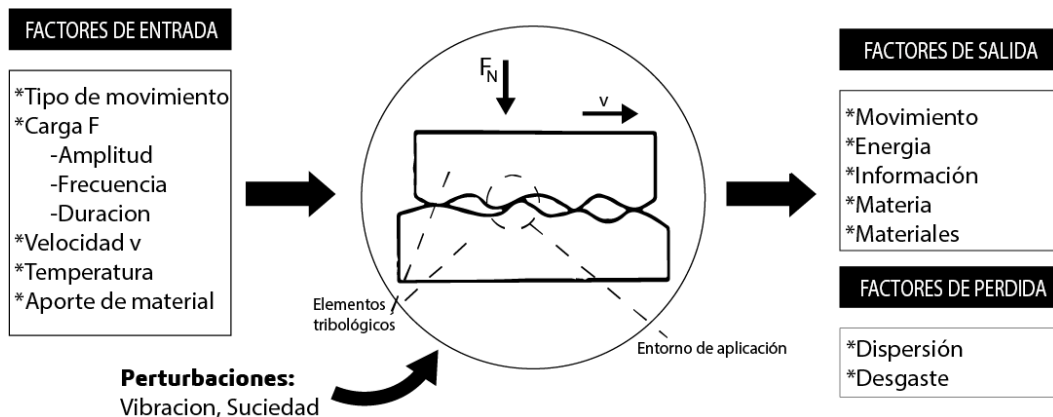


Figura 1. Función del sistema tribológico [45]

De este sistema podemos rescatar los siguientes conceptos:

Se conoce como desgaste a la remoción de porciones diminutas, con una variación de tamaños, desde atómico hasta micro, de material como consecuencia del movimiento de una superficie en contacto con otra. El material de descarte puede ser expulsado o ser transferido a otra superficie, en este último caso, la pérdida de masa sería cero [46].

1.1.2.3. Definiciones fundamentales de las superficies

En la fabricación de componentes mecánicos, la calidad de la superficie es uno de los factores críticos que afectan directamente el rendimiento y la durabilidad de la pieza. En el artículo "Surface Integrity in Machining" y en la norma ASME B46.1 se definen los conceptos fundamentales de la superficie, así como los procedimientos de medición y evaluación de la calidad de la superficie. La rugosidad, forma y otras características de la superficie son factores críticos para la vida útil de la pieza y pueden afectar su capacidad para resistir la fatiga, la corrosión y el desgaste. Por lo tanto, es esencial comprender las definiciones y técnicas de medición de la superficie para garantizar la calidad y el rendimiento de los componentes mecánicos [47], [48].

Superficie tecnológica o de ingeniería. – cualquier segmento superficial que se obtuvo como resultado de un proceso de fabricación, por ejemplo, mediante corte o rectificado.

Integridad superficial. – en relación con la pieza inicial, constituye todas las propiedades alcanzadas posterior a la aplicación de un proceso y se refiere a las características geométricas y físico químicas, cristalografía y propiedades mecánicas como dureza o tensión superficial.

Superficie nominal. - constituida por la forma y dimensiones de una pieza sin considerar las alteraciones en la superficie.

Perfil real. – representación de una superficie que se obtiene como resultado de la medición mediante herramientas mecánicas y ópticas, las mismas que se realizan en dirección normal al eje del proceso.

Rugosidad. - consiste en las irregularidades presentes en una superficie, principalmente asociada con la composición química del material, aunque también depende del acabado superficial que reciba. La topografía se encarga de describir las particularidades geométricas, ya sea de origen natural o artificial, que otorgan cierta característica a la superficie.

La rugosidad puede ser tanto útil como indeseable, dependiendo del objetivo que se persiga. En algunos casos, se busca obtener el índice de rugosidad más bajo posible para mejorar la estética del elemento. Este objetivo se logra principalmente mediante la utilización de herramientas y técnicas de mecanizado de alta precisión. Por otro lado, la rugosidad alta puede resultar útil en la disminución de la fricción superficial, reduciendo el desgaste y la corrosión [49].

En la industria metalúrgica, la cuantificación de perfiles de altura es el método mas utilizado para medir el valor de la rugosidad, y se lleva a cabo mediante el uso de un rugosímetro o perfilómetro. En ambos casos, la evaluación de la rugosidad es fundamental para garantizar la calidad y el rendimiento de los componentes mecánicos [49].

1.1.2.4. Parámetros de textura superficial

Las normas internacionales establecen una amplia gama de parámetros superficiales para describir detalladamente los perfiles de las superficies. Estos parámetros se han desarrollado en respuesta a la complejidad de las superficies y se han utilizado en numerosos estudios. La mayoría de estos parámetros se pueden encontrar en la norma ISO 13565-2:1997 “Surface texture: Profile method”.

En la Tabla 2 se resumen los parámetros aritméticos que se pueden diferenciar en una textura superficial. [47], [48]

Tabla 2. Resumen de parámetros aritméticos

Parámetros Aritméticos	
Parámetros de Amplitud	
Ra [Rugosidad media aritmética]	Se determina a partir de las variaciones que tiene el perfil frente a la línea media central. Es el parámetro más fácil de medir y se considera el parámetro de mayor importancia en los procesos de mecanizado y control de calidad. No brinda información acerca de longitud o presencia de épicos y valles.
Rt [altura máxima entre picos y valles]	O profundidad total, se calcula al medir la distancia vertical entre la punta del pico mas alto y el valle más bajo. Este parámetro es extremadamente sensible a las variaciones en la línea media y a los arañazos. Sirve como un indicador general.
Zi [rugosidad parcial]	Representa la magnitud en valor absoluta obtenida al sumar los valores de las ordenadas que se miden en los puntos más lejanos de la línea media. Esto se hace mediante la segmentación de la longitud de medición en secciones L_e .
Rz [altura media de pico a valle]	Es la media o promedio de los valores parciales de rugosidad.
Rq [media cuadrática o RMS]	Consiste en la media cuadrática de las ordenadas del perfil. Se obtiene mediante la sumatoria de los valores de rugosidad elevadas al cuadrado y posteriormente aplicando la raíz cuadrada.
Rp [valor del pico más alto medido desde la línea media]	Medida del punto mas alto tomado desde la línea central
Rpm [profundidad media de nivelación]	Promedio de los puntos más altos
Rv [valor del valle más profundo debajo de la línea central]	Medida del punto mas bajo tomado desde la línea central
Parámetros de espaciado	
Sm [distancia media de las asperezas]	Magnitud calculada por la distancia que existe entre picos sucesivos
λ_a [longitud de onda media]	Se relaciona con las características del mecanizado

Tabla 2. Resumen de parámetros aritméticos (continuación)

m [cantidad de picos]	Numero de crestas por unidad de longitud, se utiliza principalmente en aplicaciones de revestimientos y adhesivos.
n(0) [cantidad de intersecciones]	Brinda un acercamiento aproximado a la forma de las crestas
Parámetros híbridos	
R Δ a [pendiente media]	Se relaciona con la fricción y la lubricación del mecanizado.
R Δ q [pendiente cuadrática media]	Se altera con mayor facilidad cuando existe cambios drásticos producidos por desgaste
rp [radio medio de las asperezas]	Se relaciona con el desgaste, la fatiga y la mecánica de contacto
Rlo [longitud desarrollada]	Se calcula mediante la apertura del perfil y su relación con la pendiente de este. Importante en el análisis para la aplicación de revestimiento

Ondulaciones de la superficie Se considera como el producto de una falla de funcionamiento de la máquina o un proceso ineficiente de mecanizado.

Entre sus características se encuentra el Wt o valor máximo de ondulación sin filtrar del perfil, esta medida se debe tener en cuenta dado que puede significar la presencia de vibraciones intensas, dentro o fuera de la máquina herramienta.

La Figura 2 representa un perfil de rugosidad y algunas de los parámetros más importantes revisados en la Tabla 2.

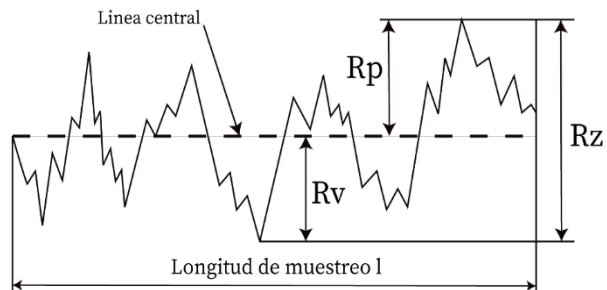


Figura 2. Perfil de rugosidad y parámetros de amplitud [50]

1.1.2.5. Medición de rugosidad

En principio, la medición consiste en la comparación de dos cantidades, de las cuales una se utiliza como referencia fija. En materia del trabajo experimental, existen varias formas de medir una superficie, cada método con diferentes eficiencias y utilizadas en contextos diferentes, las más utilizadas se describen a continuación:

- **Comparadores visotáctiles**

Este método se basa en la comparación táctil y visual de los acabados de una superficie con respecto a probetas de superficies que se hayan obtenido utilizando un proceso de fabricación similar.

En la Figura 5, se muestra un ejemplo de comparador táctil/visual, en el cual podemos distinguir que los procesos de mecanizado utilizado en cada muestra han sido lapeado plano esmerinado, esmerilado, fresado horizontal, fresado vertical y torneado.



Figura 3. Set de muestras de rugosidad para comparación tacto/visual RB-set130 [51].

- **Rugosímetro de palpador mecánico**

Su funcionamiento se basa en la conversión de las alteraciones superficiales en ampliaciones eléctricas de la señal producida por un palpador. En la actualidad, permiten obtener el dato de varios parámetros.

En la Figura 6 se muestra un ejemplo de rugosímetro de palpador mecánico utilizado en laboratorio, el cual puede tomar las mediciones de ondulación y utilizarse como perfilómetro



Figura 4. Rugosímetro de palpador mecánico de laboratorio SE-1200 KOSAKA [52].

- **Rugosímetro de palpador inductivo y capacitivo**

Este tipo de rugosímetro genera una señal eléctrica como respuesta a la variación del flujo magnético que se logra al variar la dimensión del entrehierro, producto del desplazamiento de la aguja. Por otro lado, el rugosímetro de palpador capacitivo es similar al palpador inductivo, con la diferencia de que en este caso la señal se modifica como resultado del acercamiento de dos placas en el condensador [53].

- **Rugosímetro de patín mecánico**

Este tipo de rugosímetro tiene la singularidad de separar mecánicamente los conceptos de ondulación y rugosidad. El patín se desplaza a lo largo de la superficie, registrando las irregularidades de la misma.

- **Rugosímetro de Filtrado eléctrico**

Este rugosímetro tiene la capacidad de disminuir la amplitud de la señal a partir de una longitud de onda, logrando así eliminar los datos innecesarios de ondulaciones.

1.1.2.6. Graduación de rugosidad

De acuerdo con la norma ISO 1302:2002, referente a las especificaciones geométricas de los productos, específicamente en la textura de la superficie [54], del anexo C podemos destacar la siguiente Tabla 4 acerca de la comparación de la variante aritmética y el grado de rugosidad.

Tabla 4. Comparación de la desviación aritmética Ra y el grado de rugosidad [54].

Rugosidad Ra [μm]	Grado de rugosidad [ISO 1302:1992]
50	N 12
25	N11
12,5	N 10
6,3	N 9
3,2	N 8
1,6	N 7
0,8	N 6
0,4	N 5
0,2	N 4
0,1	N 3
0,05	N 2
0,025	N 1

1.1.2.7. Uniones adhesivas

Para diseñar una unión adhesiva que soporte la máxima carga posible, es importante considerar todos los posibles esfuerzos a los que puede estar expuesta [55]. Es recomendable que la mayoría de las cargas sean de corte y se eviten los esfuerzos de pelado.

Una forma de prevenir esto es asegurarse de que línea de aplicación de la fuerza no tenga desviaciones, lo que impide la generación de momentos flectores [56]. Para lograr esto, es necesario tener en cuenta algunas consideraciones al momento de escoger el adhesivo, como por ejemplo que sea apto para el tipo de sustrato que se vaya a utilizar, tenga una gran capacidad de transmisión de cargas de trabajo, y que pueda soportar las condiciones ambientales y climáticas a las que puede estar sometido.

La referencia [57] destaca las siguientes ventajas de las uniones adhesivas:

- **Distribución de tensiones uniforme en la superficie**, esto se logra al distribuir equitativamente el adhesivo en los sustratos, además evita la concentración de tensiones en razón de que no genera orificios.
- **Uniones selladas, aisladas y rígidas.**
- **Evita la distorsión de los sustratos**, al contrario que en otro tipo de uniones en las que existe un excedente que modifica la superficie de los sustratos, en el caso de los adhesivos, si existe un exceso se puede limpiar con mayor facilidad sin comprometer la eficiencia de la unión.
- **Unión ligera**, al tratarse de polímeros de baja densidad

Asimismo, existen desventajas en este tipo de uniones, entre las más importantes tenemos:

- **Unión permanente**, en caso de ser necesario es desgarrar la unión para separar los sustratos.

- **Material perecedero**, el material principal utilizado para este tipo de uniones cumple con un límite de vida útil, afectando en su eficiencia.
- **Durabilidad limitada**, este tipo de uniones, dependiendo de las condiciones ambientales a las que se someta, puede absorber humedad o desgastarse al sol, ocasionando que sea más probable que falle.
- **Tratamiento previo**, para mejorar la eficiencia de la unión es necesario tratar superficialmente el área en la que se vaya a aplicar.

Existen tres grandes tipos de uniones más comúnmente utilizadas, estas se resumen a continuación.

- **A tope**

A la hora de diseñar, se debe tener en cuenta que este tipo de uniones no puede soportar esfuerzos de tracción, debido a que la zona en donde se aplica el adhesivo estará expuesta a esfuerzos de rotura. Las uniones biseladas o juntas macho-hembra son utilizadas para mejorar la eficiencia de estas uniones, ayudando a reducir el riesgo de desgarros al mismo tiempo que aumentan el área de junta [56].

En la Figura 7 se muestra la unión a tope más común que consiste en los extremos cortados en ángulo recto y unidos perpendicularmente, seguida de las dos variantes que aumentan su eficiencia, una unión biselada, conformada por extremos cortados en un ángulo agudo oblicuo para formar biseles y una junta macho-hembra, misma que posee una forma cónica en la que el extremo macho se inserta en el extremo hembra..

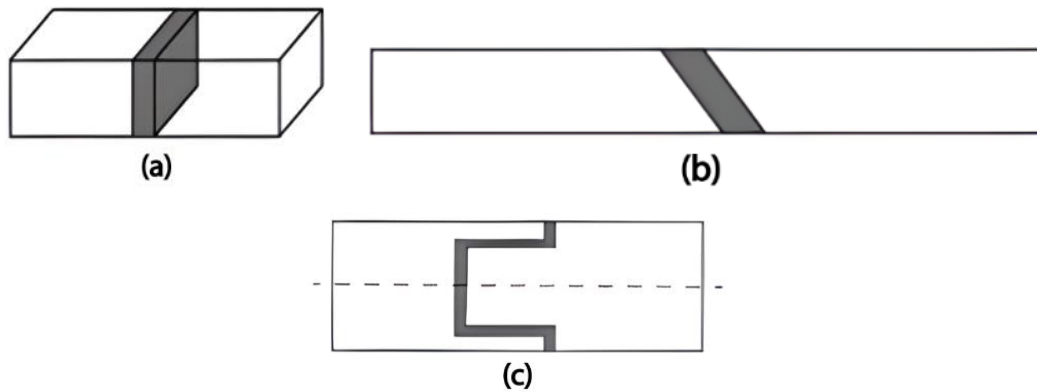


Figura 5. Tipos de unión a top. (a) unión a tope común, (b) unión biselada, (c) junta macho-hembra [56].

- **A solape**

Consiste en una unión antisimétrica de materiales, se considera el método más utilizado debido a su facilidad y la capacidad de unir elementos con bajos espesores. Tienen la característica de estar unidas en la misma dirección que la máxima resistencia del adhesivo, aunque sufren de una acumulación de tensiones, esto debido a la desviación de las cargas provocando el inicio de la rotura [56], [58].

Las propiedades de los materiales sometidos a este tipo de unión condicionan la distribución de tensiones. Para mejorar la resistencia se recomienda alinear la unión, reforzar los sustratos mediante el incremento de espesores evitando el sobrepeso y biselar el área de unión para disminuir los esfuerzos de pelado. En la Figura 8 se muestra la estructura más simple de una unión a solape simple [58].



Figura 6. Unión a solape [56].

- **En T y en esquina**

Se trata de una variación de unión a tope, delicado a los esfuerzos de desgarro, transversales de compresión [56]. En la Figura 9, se muestra la típica unión adhesiva en T y en esquina.

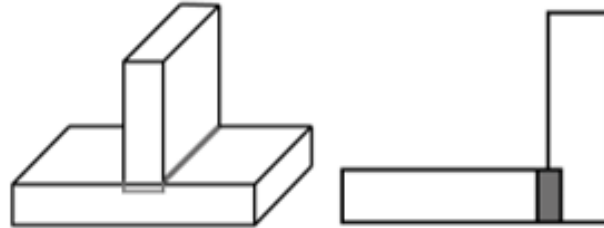


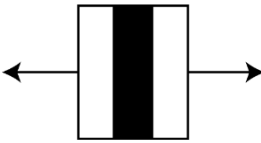
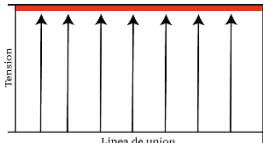
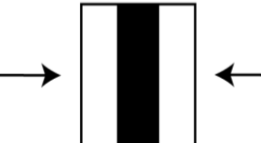
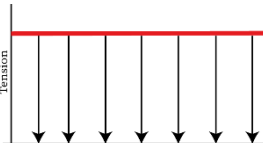
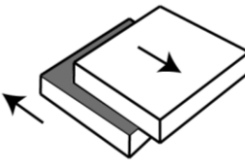
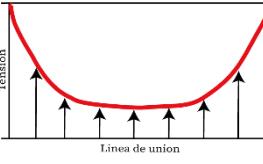
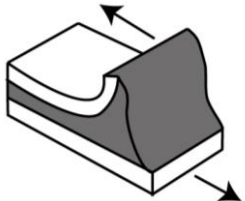
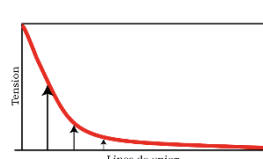
Figura 7. Unión en T y en esquina [56].

Además, entre las consideraciones necesarias al momento de diseñar una unión adhesiva es necesario identificar el tipo de esfuerzo o carga al cual será sometido. Inicialmente los clasificaremos por la dirección de aplicación. Las estrategias utilizadas para obtener una distribución constante de estrés es el mejoramiento de la longitud de superposición y el espesor de la zona adhesiva con la implementación de chaflanes.

Una estrategia que ha venido teniendo pequeñas pero significativas mejoras ha sido el uso de dos adhesivos, uno flexible en los extremos y uno rígido en el centro [56], [59].

En la Tabla 5 que se muestra a continuación, están resumidos los tipos de carga (fuerza externa que se ejerce sobre un elemento) que pueden sufrir las uniones adhesivas.

Tabla 5. Tipos de cargas en uniones adhesivas.

Tipo de carga	Definición	Grafico	Distribución de tensiones
Tracción	La fuerza actúa perpendicularmente al área de unión. También conocida como resistencia máxima a la tracción.		
Compresión	Fuerzas perpendiculares que tienden a reducir las dimensiones de las probetas, además son poco probables que fallen.		
Cizallamiento	Fuerzas paralelas al área de unión, si se distribuyen correctamente, llegan a afectar completamente la superficie		
Pelado	Se da cuando existe flexibilidad de un sustrato y consiste en ejercer la tensión en un extremo de la unión.		

1.1.2.8. Adhesión y Cohesión

El término adhesión se refiere a la acción entre fuerzas físico/químicas que se resisten a la separación molecular entre diferentes cuerpos (adhesivo/adherente) [60]. Los tipos básicos de uniones adhesivas pueden ser de carácter específico (atracción molecular), mecánico (asentamiento entre adhesivo y superficie) y eficaz (unión equilibrada entre mecánico y específico).

Durante la adhesión, intervienen fuerzas moleculares y ciertos mecanismos de anclaje como la rugosidad, la adsorción y la difusión. La adsorción es cuando el adhesivo se une superficialmente sin penetrar en los sustratos, mientras que en la difusión el adhesivo atraviesa la estructura. Por otro lado, la cohesión es diferente a la adhesión ya que se refiere a la unión de un mismo cuerpo homogéneo. Las fuerzas de cohesión incluyen enlaces químicos y mecánicos, y afectan la consistencia y viscosidad del adhesivo dependiendo de las condiciones de curado [61], [62].


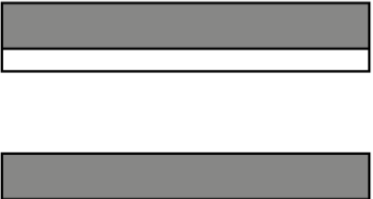
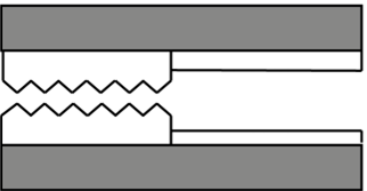
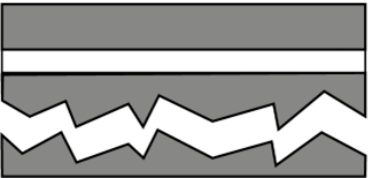
1.1.2.9. Módulos de fallo en uniones adhesivas

Con base a los conceptos antes mencionados, una unión puede fallar de forma adhesiva o cohesiva y pueden ser resultado de varios procesos ejecutados inadecuadamente, como por ejemplo un tratamiento superficial ineficiente o inapropiada mezcla de adhesivo. Así como, imperfecciones o defectos propios del material como poros o huecos.

En el caso de grietas en los sustratos pueden ser la fuente que origina desgarros en la unión, sin embargo, también pueden encontrarse en el adhesivo, produciendo un quiebre en los enlaces cohesivos del compuesto.

Los modos de fallo más comunes son descritos en la Tabla 6.

Tabla 6. Principales fallos producidos en uniones adhesivas

Tipo de fallo	Descripción	Representación grafica
Cohesivo	Sencillo de calcular si se conoce las características del adhesivo, la unión puede ser desarmada con dificultad y es el tipo de fallo más deseado	
Adhesivo	Es el mas indeseable, en vista de que es un fenómeno difícil de predecir debido a todos los factores que intervienen en la unión.	
50% cohesivo – 50% adhesivo	Un tipo intermedio entre las descritas anteriormente.	
Del Sustrato	Como se puede observar en la representación gráfica, el primero en fallar y quebrarse es el sustrato. Una posible causa es que el adhesivo no hay sido correctamente escogido y este sobredimensionado.	

1.1.2.10. Herramientas para validar la hipótesis

La verificación de la hipótesis planteada se hará mediante una prueba estadística, para elegir la más apropiada. Inicialmente se debe considerar los siguientes aspectos:

- Diseño de la investigación, en este se describe que para estudios descriptivos con un solo grupo, solo se necesita estadística descriptiva. En estudios comparativos con mas de dos grupos, se usan pruebas estadísticas para evaluar la utilidad de una intervención o factores de riesgo [63].
- Número de mediciones, se puede examinar las variaciones a lo largo del tiempo, con una sola medición previa y posterior o una secuencia de mediciones relacionadas a lo largo de un periodo [63].
- Escala de medición de las variables, estas mediciones se pueden dividir en cualitativas y cuantitativas. Las variables cualitativas se dividen en nominales y ordinales, mientras que las cuantitativas en continuas y discontinuas. En este aspecto es importante definir la naturaleza de los datos para realizar in análisis adecuado [63]

Estadística paramétrica y no paramétrica

Una vez definido los aspectos planteados anteriormente, se debe establecer si el estudio pertenece al grupo paramétrico o no paramétrico. Considerando la escala de las mediciones, las pruebas paramétricas abarcan las variables cuantitativas continuas, por otro lado, las no paramétricas incluyen las variables cualitativas nominales, ordinales y discontinuas [63].

Un aspecto importante para aplicar una prueba estadística paramétrica es la necesidad de que los datos sigan una distribución normal, que se caracteriza por tener una forma de campana de Gauss.

Con base a esto, se presentan las siguientes pruebas estadísticas utilizadas en la comparación de dos o mas grupos.

- Correlación de Pearson: medida de relación lineal entre dos variables, utilizada para estimar la fuerza y dirección de una correlación.
- Prueba t para grupos independientes: utilizada para comparar la media de dos grupos independientes de información, empleada en definir la existencia de una variación significativa entre estas medidas.
- Análisis de varianza: conocida también como ANOVA, especialmente aplicada cuando existe más de dos grupos independientes y nos refleja la existencia de alguna diferencia significativa.
- Prueba de correlación de Spearman: a diferencia de la revisada anteriormente, esta correlación es no lineal.

Prueba t de Student para grupos independientes del mismo tamaño

Durante el presente trabajo experimental se ha escogido la prueba estadística t de Student para grupos independientes como herramienta para validar las hipótesis. Es una técnica utilizada para comparar las medias de dos grupos independientes, se basa en el análisis de la diferencia entre las medias muestrales y su variabilidad, con el objetivo de determinar la existencia de una diferencia significativa entre los grupos de estudio [64]. En esta sección se describirá en detalle el proceso de cálculo que se va a aplicar de manera efectiva y obtener resultados precisos y confiables.

Inicialmente definimos la hipótesis nula y alternativa para cada variable en cada grupo independiente. Calculamos el valor cuadrático de cada dato y el promedio de cada grupo para posteriormente utilizar la siguiente Ecuación 5 para definir la desviación estándar.

$$S_1 = \sqrt{\frac{\sum x_1^2}{n} - (\bar{x}_1)^2} \quad (5)$$

Hallamos el error estándar, aplicando la siguiente Ecuación 6 :

$$\sigma_{x_1} = \frac{S_1}{\sqrt{n-1}} \quad (6)$$

A continuación, determinamos el error estándar de la diferencia, en donde se incluye el error de cada muestra mediante la siguiente Ecuación7.

$$\sigma_{\text{dif}} = \sqrt{\sigma_{x_1}^2 + \sigma_{x_2}^2} \quad (7)$$

Finalmente, encontramos el valor de t calculado mediante la siguiente Ecuación8:

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sigma_{\text{dif}}} \quad (8)$$

Contrastamos este valor con el descrito por las Tablas de valores críticos de t de student para grupos independientes, utilizando el valor de los grados de libertad [64], obtenidos mediante la siguiente Ecuación9:

$$gl = n_1 + n_2 - 2 \quad (9)$$

Con estos valores, aplico la regla para la toma de decisiones estadísticas, basándonos en que si la t calculada es mayor o igual a la t crítica de tablas entonces **rechazo la hipótesis nula**, lo que significa que existen diferencias significativas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar las condiciones superficiales adecuadas a través de procesos alternativos al granallado para mejorar la resistencia a la adherencia de la junta traslapada simple entre el acero estructural A36, resina epóxica y fibra de carbono unidireccional.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estudiar los distintos métodos utilizados para modificar la rugosidad superficial
- Preparar las probetas y medir la rugosidad de la superficie en el área acondicionada

- Ejecutar el ensayo de tracción de la junta traslapada simple

1.3 Planteamiento de hipótesis

La limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativos genera una superficie con similar rugosidad que la obtenida mediante sandblasting.

1.3.1 Distinción de variables de la hipótesis

1.3.1.1 Variable independiente

El tratamiento superficial mediante métodos alternativos

1.3.1.2 Variable dependiente

Rugosidad

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

2.1. Materiales

- **Acero**

Empezaremos por definir uno de los materiales utilizados en el estudio, en este caso nos enfocamos en el metal, para este caso un metal de tipo ferroso, grupo en el que se encuentra el acero al carbono, denominados así por el porcentaje de carbono y otros elementos adicionales que posee en su estructura y que admiten la posibilidad de conformarse en caliente, con excepciones en algunas aleaciones con cromo [65].

Se caracteriza por contener manganeso, utilizado para frenar la formación de Sulfuro de hierro (FeS) y silicio que actúan como desoxidantes. Debido a que posee una baja templabilidad, generalmente se utiliza en estado de temple o directamente en estado bruto [66].

Para este estudio se va a utilizar el acero estructural ASTM A36, el material más utilizado en la construcción de estructuras debido a la facilidad con la que se puede unir mediante procesos de soldadura. Esta denominación obedece a las normas de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM). Este acero abarca una amplia gama de perfiles laminados en caliente. El acero A36 es la versión mejorada del acero ASTM A7, desplazando las uniones con remache por uniones soldadas[67].

En la Tabla 7 se enlista las principales características y propiedades del acero ASTM A36 según los datos del sitio web MatWeb [68].

Tabla 7. Propiedades y composición del acero ASTM A36. [68]

Composición química [%]				
Carbono [C]	Manganeso [Mn]	Silicio [Si]	Fosforo [P]	Azufre [S]
0,25-0,29	0,6-1,2	0,15-0,4	0,04	0,05
Propiedades mecánicas				
Esfuerzo a la fluencia [MPa]	Esfuerzo a la tensión [MPa]	Elongación mínima en 50 mm	Módulo de elasticidad [Gpa]	Relación de Poisson
250	500	23	200	0,26

- **Resina Epóxica**

La resina utilizada como adhesivo está compuesta de dos partes tixotrópicas, la base denominada A y un endurecedor denominado B, estos componentes poseen una tonalidad blanquecina y oscura respectivamente. Como se muestra en la ficha técnica del fabricante Sika [69], la resina utilizada para este trabajo experimental es Sikadur-30. Esta resina está especialmente diseñada para su uso a temperatura ambiente en intervalos de 8°C a 35°C y en la adición de refuerzos estructurales, lo que nos asegura una buena adherencia al acero, hierro fundido o aluminio.

Además, posee una alta resistencia a la abrasión y al impacto, sumado a su capacidad impermeable y su sistema de endurecimiento sin retracción. Según la información de aplicación, la proporción debe ser de 3:1 en peso o volumen entre los componentes A y B, respectivamente.

En la Tabla 8 se resumen la información técnica de mayor relevancia según la hoja técnica del fabricante [69].

Tabla 8. Propiedades de la Resina Epóxica. [69]

Propiedades de la Resina	
Módulo de elasticidad a compresión [Mpa]	9 600
Módulo de elasticidad a tracción [Mpa]	11 200
Densidad de componentes A y B mezclados [g/cm ³]	1,65
Resistencia al corte en Temp. Ambiente en 3 días [N/mm ²]	14,5
Adherencia en acero de acuerdo con ISO 4624 [MPa]	>21
Contracción [%]	0,04
Temperatura de curado [°C]	23

Un punto muy importante que rescatar en la ficha técnica [69] es la información técnica que refleja la resistencia a la tracción en función al tiempo de maduración y a la temperatura a la que se está secando la unión según DIN EN ISO 527-3. Estos valores se describen en la siguiente Tabla 9.

Tabla 9. Resistencia a la tracción con respecto al tiempo y temperatura de secado [69].

	Edad	+15°C	+35°C
Resistencia a tracción	1 día	18 – 21 N/mm ²	23 – 28 N/mm ²
	3 días	21 – 24 N/mm ²	25 – 30 N/mm ²
	7 días	24 – 27 N/mm ²	26 – 31 N/mm ²

- **Fibra de carbono**

La fibra de carbono que se utilizara tiene una composición del 70% de fibra de carbono pultruida y 30% de resina, otorgándole una coloración negra. Este material tiene su uso principal en el incremento de la capacidad de carga en vigas y secciones de puentes, además de componer daños en elementos estructurales producidos por el deterioro y la corrosión. De igual forma, se usa para disminuir las deflexiones de fisuras y reducir las tensiones producidas en el acero de refuerzo mejorando la resistencia a la fatiga. Se utilizará las láminas a Sika CarboDur S512.

En la Tabla 10 se realiza una sinopsis de las características más destacables del material, información según la hoja técnica proporcionada por el fabricante [70].

Tabla 10. Propiedades de la fibra de carbono. [70]

Propiedades de la Fibra de Carbono	
Densidad [g/cm^3]	1,6
Contenido de fibra en volumen [%]	> 68
Modulo Elasticidad [MPa]	165 000
Resistencia a tracción [MPa]	3 100
Elongación a rotura en dirección longitudinal a la fibra [%]	1,7
Temperatura de transición vítrea [$^{\circ}C$]	>100

2.1.1. Descripción de equipos e instrumentos aplicados

En las siguientes tablas se describen cada uno de las herramientas, máquinas y consumibles utilizados en el desarrollo del siguiente trabajo experimental.

Tabla 11. Herramientas utilizadas

Equipos y herramientas		
Equipos y herramientas	Descripción	Imagen de referencia
Tijeras	Utilizadas para cortar diferentes materiales	
Cinta para medir o Flexómetro	Herramienta utilizada para medir distancias.	
Morsa o tornillo de banco	Herramienta utilizada para mantener fijo los materiales durante el proceso de corte	
Amoladora	Equipo utilizado para el corte del acero A36	
Recipientes plásticos	Utilizados para mezclar la resina epóxica	

Tabla 11. Herramientas utilizadas (continuación)

<p>Balanza digital</p>	<p>Se utilizará para medir el peso exacto de los componentes de la resina epóxica.</p>	
<p>Dado</p>	<p>Utilizado para acoplar el torquímetro de aguja las prensas en C</p>	
<p>Prensa en C</p>	<p>Utilizadas para mantener la presión en las probetas durante el proceso de curado.</p>	
<p>Herramienta para retirar el exceso de resina</p>	<p>Utilizado para medir y controlar el espesor recomendado por el fabricante de la resina (de 1 a 2 mm).</p>	
<p>Herramienta para aplicar la resina</p>	<p>Pequeña herramienta utilizada para colocar resina en el área de prueba.</p>	

Tabla 11. Herramientas utilizadas (continuación)


Disco de corte	Utilizado en conjunto con la amoladora para realizar el corte de los materiales	
----------------	---	---

Tabla 12. Maquinas utilizadas

Nombre	Descripción	Características técnicas
Rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-210	Equipo facilitado por el laboratorio de Civil y mecánica. Utilizado para medir la rugosidad en las superficies tratadas	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de desplazamiento: 16 mm • Rango de medición: 360 μm • Palpador de diamante • Radio del palpador: 2 μm • Angulo de la punta: 60° • Velocidad de medición: 0,25-0,5-0,75 mm/s
		

Tabla 12. Maquinas utilizadas (continuación)



<p>Torno</p>	<p>Ubicado en el Laboratorio de Civil y mecánica se utilizará para el proceso de limpieza mediante Disco de cerdas de acero</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Voltaje: 220-240 V AC • Frecuencia: 50-60 Hz • Potencia: 500W • Velocidad del cabezal: 0-2500rpm • Diametro del mandril: 80 mm • Diametro de giro: 180 mm • Culata: MT2
		
<p>Torquímetro de aguja</p>	<p>Esta herramienta será utilizada para medir la presión ejercida en las probetas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fabricante: STANLEY • Sistema tipo aguja • Estandar: Norma ANSI B10714M • Material de fabricacion: acero • Encastre: 1/2" • Rango de torque: 0 -200 Nm • Largo: 520 mm
		

Tabla 12. Maquinas utilizadas (continuación)



<p>Disco de cerdas de acero</p>	<p>Herramienta utilizada para tratar las superficies de las probetas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de la cinta (exterior): 110 mm • Diámetro de la cinta (interior): 50 mm • Peso: 60 g • Velocidad máxima: 4 000 rpm • Velocidad de funcionamiento ($\pm 5\%$): 2300 rpm • Presión de flujo requerida: 90 psi • Material del cable: acero al carbono para muelles
		
<p>Lijadora plana</p>	<p>Herramienta utilizada en conjunto con la lija de metal para generar rugosidad en las áreas de prueba</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo de potencia: 200 W • Numero de revoluciones max.:12 000 rpm • Accionamiento electrico • Emision de vibraciones: 1,5 m/s² • Peso neto: 1,8 kg • Hoja de lija: 185 x 93 mm
		

Tabla 12. Maquinas utilizadas (continuación)








<p>Adaptador de disco de cerdas de acero</p>	<p>Elemento necesario para acoplar la disco de cerdas de acero al elemento de transmisión de movimiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Material: Aluminio • Diametro exterior: 65 mm • Diametro interior: 48 mm • Anchura: 30 mm • Peso: 110 g
		
<p>Taladro</p>	<p>Utilizado para mezclar los componentes de la resina de forma homogénea.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Eje longitudinal (Y): 220 mm • Eje vertical (Z): 190 mm • Angulo de giro del husillo: $\pm 45^\circ$ • Velocidad del cabezal 50-2500 rpm • Voltaje: 220-240V AC • Frecuencia: 50/60 Hz • Capacidad de fresado frontal: 30 mm
		

Tabla 13. Consumibles utilizados

Insumos		
Lija para metal Grado 30	Material utilizado en la lijadora rectangular para desbastar el acero	
Cinta adhesiva	Utilizado para escribir sobre las probetas y poder codificar de acuerdo al tipo de limpieza superficial	
Huaipe	Se utilizará para remover los excesos de resina	
Thinner	Diluyente para eliminar la grasa o impurezas de las probetas	
Paños	Utilizado para limpiar las probetas	

2.2. Métodos

2.2.1. Tipo de investigación

- Exploratorio

Este método nos proporcionara la investigación necesaria sobre el objeto de estudio, así como los parámetros anteriores a tener en cuenta, y de esta manera establecer los conocimientos básicos acerca de los materiales utilizados durante el estudio. Además, ayudará a establecer los estándares por los cuales operará el proyecto y así producir resultados confiables.

- Descriptivo

En este trabajo experimental se utilizará un método descriptivo debido a que los detalles con que se desarrolle el proceso investigativo son importantes para establecer sus resultados.

- Cuantitativo

Este método nos servirá como la herramienta principal para la recolección y análisis de datos, en este caso numéricos, orientados a la obtención de resultados.

- Correlacional

Este nivel es notable debido a la comparación que se propone para determinar las mejores condiciones de resistencia y adhesión.

- Bibliográfico

Mediante este método se obtendrá información de estudios y aplicaciones similares o que tengan relación con la temática propuesta de fuentes internacionales; debido a que es un tema novedoso en nuestro medio, mediante la bibliografía se buscará el fundamento teórico del estudio.

2.2.2. Población y muestra

Muestras

De acuerdo con la norma **ASTM D3039**, que define los métodos de ensayo estándar para estudiar las propiedades de tracción de materiales compuestos que tengan una matriz polimérica, en la sección de muestreo y muestra de ensayo nos especifica que se deben medir y obtener los datos de al menos cinco probetas en cada condición de ensayo, o si se tratase de un experimento diseñado se podría utilizar menos probetas.

En caso de necesitar una precisión específica se debe consultar el proceso normalizado para el cálculo del tamaño de una muestra descrito en la norma **ASTM E122 – 17**.

En el presente estudio se obtendrán los datos de 10 probetas por cada método utilizado, obteniendo un total de 20 probetas. El método de limpieza superficial que se va a utilizar se describe en la Tabla 14.

Tabla 14. Descripción del número de probetas respecto al método de limpieza utilizado.

#	Método de limpieza superficial	Materiales	Tipo de curado	Numero de probetas
1	Disco de cerdas de acero	Acero A36 y Fibra de carbono	A presión	8
2	Lijadora plana eléctrica con lija de grano grueso 30	Acero A36 y Fibra de carbono	A presión	8
			TOTAL	16

2.2.3. Proceso para el ensayo

Para el ensayo de resistencia a la tracción se utilizará las observaciones descritas en la norma **ASTM D1002**, utilizado en la determinación de resistencia a cizallamiento en adhesivos utilizados en la unión de metal, esto debido a que una unión adhesiva trabaja sometida a cargas de cortadura [71]. Además de cuidar que la línea de aplicación no

sufra ningún tipo de desviación en vista de que podría resultar en momentos flectores, mismos que someterían la unión adhesiva.

En el presente caso de estudio se unirán una placa de acero A36 y otra de fibra de carbono unidireccional, buscando obtener la aproximación más realista sobre el reforzamiento estructural. Los resultados serán comparados con los obtenidos mediante procesos de tratamiento superficial diferentes bajo las mismas condiciones, principalmente cotejando la información del sandblasting [22].

Las placas estarán adheridas mediante resina epóxica en un área calculada a través de la Ecuación1, tomada de la referencia [72]. Una vez aplicado el adhesivo, se unen la placa de acero con la de fibra de carbono aplicando la presión calculada mediante la Ecuación3 y se deja secar durante el tiempo recomendado por el fabricante. Posterior a esto, los extremos de la probeta se deben colocar en cada una de las mordazas de la maquina de ensayo para someterlas a un estiramiento con una velocidad en un rango de 80 a 100 kg/cm o aproximadamente de cruce libre de 1,3 mm/min [72].

La mayor precisión de los resultados dependerá de las condiciones en las que el proceso se lleve a cabo, para esto se debe disponer de toda la información proporcionada por el fabricante, misma que se encuentra en la Tabla 8. De esta ficha técnica, según la **ASTM D1002** debemos tener en cuenta: el procedimiento de preparación superficial antes de la aplicación del adhesivo, las instrucciones de mezcla de los componentes y su proporción, las condiciones de aplicación incluyendo velocidad de extensión, espesor y número de capas, las condiciones del montaje, las condiciones para el curado en la que se incluya la presión y el tiempo que debe aplicarse y finalmente, el procedimiento de acondicionamiento antes de someter las probetas a la prueba.

En referencia a la norma, se debe registrar los siguientes resultados del ensayo:

- Carga en el momento de fallo
- Naturaleza del fallo
- Magnitud de fallo o resistencia al corte

La denominación de la naturaleza del fallo se describe en la fundamentación teórica, en la Tabla 6.

2.2.4. Determinación de dimensiones de las probetas de acero A36 y Fibra de carbono unidireccional

En base a la norma ASTM D1002, se consideraron las dimensiones mostradas en la Figura 8 teniendo en cuenta la unión adhesiva traslapada [72].

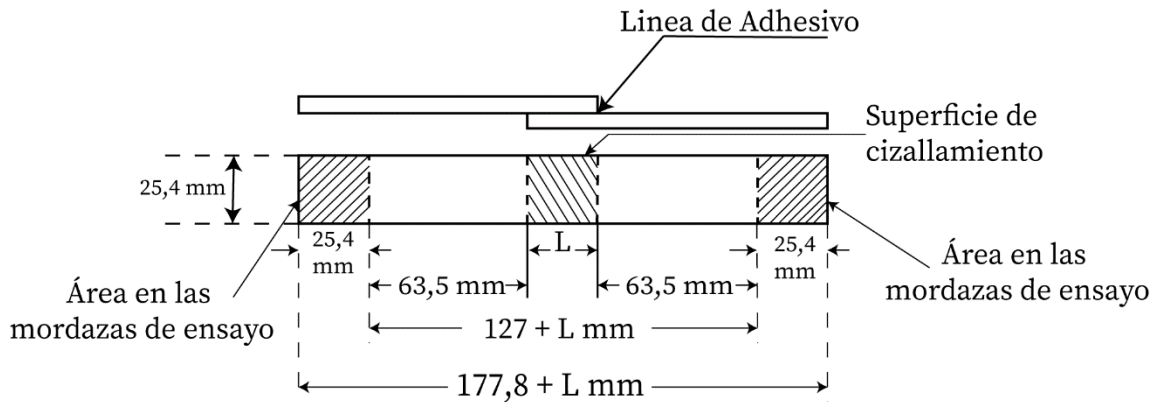


Figura 8. Dimensiones de acuerdo con la norma ASTM D1002 [72].

En la misma norma se define la longitud máxima admisible, esta se obtiene mediante la Ecuación 1:

$$L = F_{ty} * t / \tau \quad (1)$$

Donde:

L = Longitud del solapamiento

t = espesor del material

F_{ty} = límite elástico del material o la tensión en el límite proporcional

τ = 150% de la resistencia media estimada al cizallamiento en la unión

Datos:

Acero A36

$$F_{ty} = 250 \text{ [MPa]}$$

$$t = 3 \text{ [mm]}$$

Para el cálculo de la resistencia mecánica de corte del sistema de reforzamiento con platinas CRFP [73].

Corte: 150 kg/cm²

$$\tau = 1.5 * \frac{\left(150 \left[\frac{kg}{cm^2}\right] * \frac{10000 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2}\right) * 9,81 \frac{m}{s^2}}{1 \times 10^6 \text{ mm}^2}$$

$$\tau = 22,05 \text{ MPa}$$

Reemplazamos en la Ecuación 1

$$L = F_{ty} * t / \tau \quad (1)$$

$$L = 250 \text{ [MPa]} * \frac{3 \text{ [mm]}}{22,05 \text{ [MPa]}} \quad (1)$$

$$L = 34.01 \text{ [mm]}$$

Con esta longitud máxima admisible, reemplazamos en la Figura 9 y encontramos la longitud total de la probeta.

$$L_T = 63.5 \text{ [mm]} + 25.4 \text{ [mm]} + 34.01 \text{ [mm]}$$

$$L_T = 122.29 \text{ [mm]}$$

En la Figura 9, se muestra las dimensiones finales de acuerdo con la norma ASTM D1002.

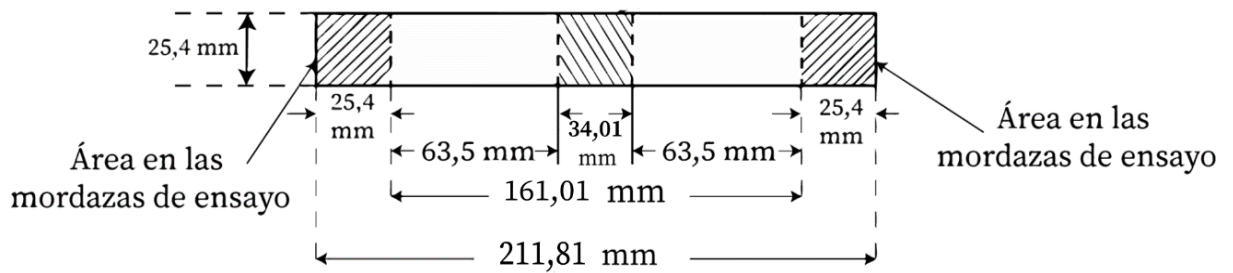


Figura 9. Dimensiones finales de la probeta según norma ASTM D1002.

2.2.5 Determinación de la presión

Debido a que es un estudio que busca una alternativa al uso de sandblasting en la generación de rugosidad, para la unión, se va a utilizar una presión de $0,374 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$ [22].

Para conocer el valor del torque necesario para generar esa presión en la unión de las probetas es necesario el uso de un torquímetro de aguja y el cálculo de fuerza necesaria correspondiente. La Ecuación 2, nos permite despejar el valor de esta fuerza.

$$P = \frac{F}{A} \quad (2)$$

Donde:

P = presión [kgf/cm²]

A = área donde se ejerce la presión [cm²]

F = fuerza ejercida [kgf]

El área en donde se ejerce la presión se calcula mediante la Ecuación 3.

$$A = b * h \quad (3)$$

Donde:

b = base [cm] = 3,401 [cm]

$h = \text{altura [cm]} = 2,54 \text{ [cm]}$

$$A = 3,448 \text{ [cm]} * 2,54 \text{ [cm]}$$

$$A = 8,639 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Despejando la fuerza de la Ecuación 2, tenemos:

$$F = P * A$$

$$F = 0,374 \left[\frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right] * 8,639 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$F = 3,231 \text{ [kgf]}$$

Finalmente, para conseguir que la fuerza se encuentre en Newtons, multiplicamos el valor por la aceleración de la gravedad.

$$F = 3,231 \text{ [kgf]} * 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$$

$$F = 31,662 \text{ [N]}$$

La magnitud del torque esta definida por la Ecuación 4, para esto se debe considerar la longitud del torquímetro que corresponde a 40 cm.

$$T = F * d \tag{4}$$

Donde:

$F = \text{fuerza aplicada} = 31,662 \text{ [N]}$

$d = \text{distancia perpendicular a la fuerza} = 0,4 \text{ [m]}$

$$T = 31,662 \text{ [N]} * 0,4 \text{ [m]}$$

$$T = 12,66 \text{ [N.m]}$$

2.2.6. Identificación de las probetas

Para poder identificar los valores de rugosidad y los resultados que se van a ir obteniendo de cada una de las probetas, se va a utilizar la codificación que se explica a continuación:

MMM_FFF_LLL_NN

MMM: tipificación del material metálico utilizado en el ensayo, en este caso acero A36.

FFF: tipo de fibra utilizada en ensayo, en este caso se utilizara una fibra de carbono unidireccional identificada con las siglas FCU.

LLL: método de limpieza utilizado en el tratamiento superficial del área de ensayo, así por ejemplo, para limpieza por disco de cerdas de acero se utilizara “CA” y para la limpieza por lijadora rectangular se usara las siglas “LR”.

NN: número de probeta.

La Tabla 15 enlista cada una de las probetas con su respectiva codificación y explicación.

Tabla 15. Codificación de las probetas

Limpieza superficial	Codificación	Explicación
Limpieza con disco de cerdas de acero	A36_FCU_CA_01	Probetas conformadas por acero A36 y fibra de carbono unidireccional sometida a limpieza superficial mediante el uso de un disco de cerdas de acero. Unión mediante resina epóxica.
	A36_FCU_CA_02	
	A36_FCU_CA_03	
	A36_FCU_CA_04	
	A36_FCU_CA_05	
	A36_FCU_CA_06	
	A36_FCU_CA_07	
	A36_FCU_CA_08	

Tabla 15. Codificación de las probetas (continuación)

Limpeza superficial	Codificación	Explicación
Limpeza con lijadora rectangular	A36_FCU_LR_01	Probetas conformadas por acero A36 y fibra de carbono unidireccional sometida a limpieza superficial mediante el uso de una lijadora rectangular con lija para metal de grado 30. Unión mediante resina epóxica
	A36_FCU_LR_02	
	A36_FCU_LR_03	
	A36_FCU_LR_04	
	A36_FCU_LR_05	
	A36_FCU_LR_06	
	A36_FCU_LR_07	
	A36_FCU_LR_08	
NOTA: las probetas se someterán a un ensayo experimental según la norma ASTM D1002		

2.2.7 Preparación de las probetas

La preparación de las probetas se realizó mediante el flujograma de procesos que se muestra en la Figura 10.

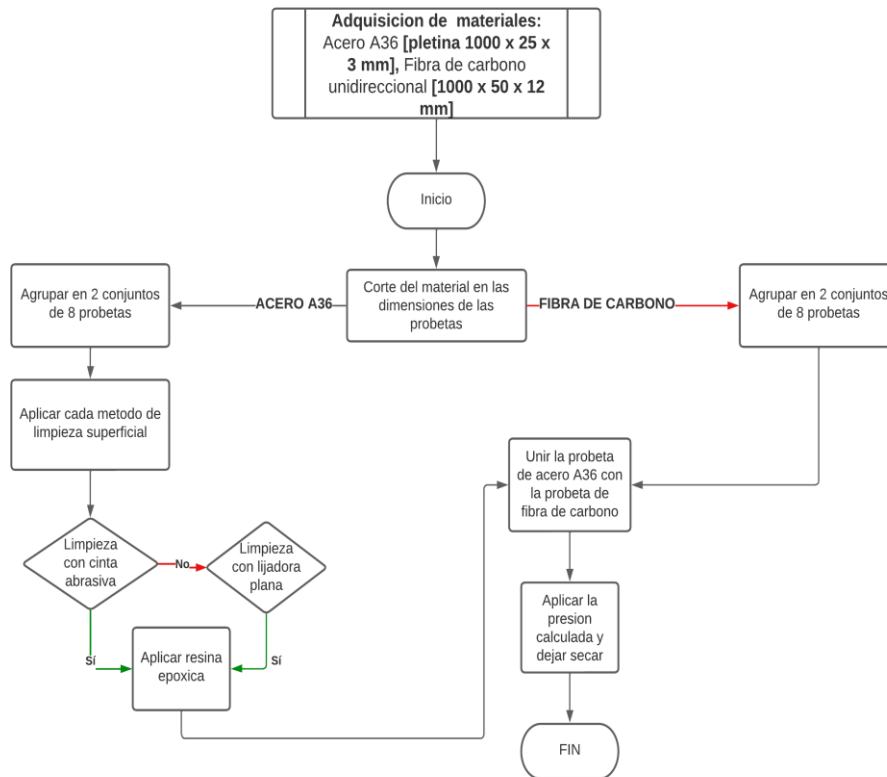


Figura 10. Flujograma de procesos para la preparación de probetas

2.2.8 Proceso de corte y codificación de las probetas de acero A36

El proceso de corte del acero con el que se elaboraron las probetas se describe en la Tabla 16.

Tabla 16. Proceso de preparación de las probetas de acero A36




Pasos
<p>1. Equiparse con la vestimenta y los accesorios de protección y seguridad personales recomendados para este tipo de actividades. Estos se conforman por guantes, protectores auditivos y un protector facial o lentes de seguridad.</p> 
<p>2. Sujetar y ajustar la pletina de acero a la mesa mediante un tornillo de banco.</p> 
<p>3. Medir y marcar la longitud calculada para cada probeta.</p> 

Tabla 16. Proceso de preparación de las probetas de acero A36 (continuación)

4. Conectar y revisar que el disco de corte de la amoladora se encuentre correctamente instalado.



5. Cortar el acero

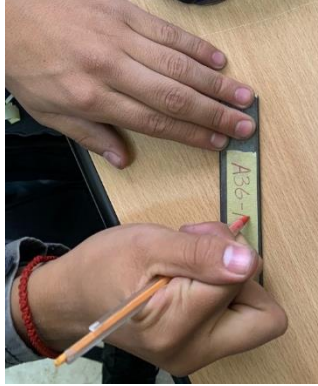


6. Colocar cinta adhesiva en cada probeta



Tabla 16. Proceso de preparación de las probetas de acero A36 (continuación)

7. Escribir la codificación de acuerdo con la Tabla 11.



2.2.9 Proceso de corte de la fibra de carbono

El proceso de corte de la fibra de carbono unidireccional Sika Carbodur S512 se describe en la Tabla 17 de acuerdo con el procedimiento de ejecución elaborado por el proveedor.

Tabla 17. Proceso de corte de la fibra de carbono unidireccional Sika Carbodur S512

Pasos

1. Equiparse con la vestimenta y los accesorios de protección y seguridad personales recomendados para este tipo de actividades. Estos se conforman por guantes, protectores auditivos, máscara antipolvo y un protector facial o lentes de seguridad.



Tabla 17. Proceso de corte de la fibra de carbono unidireccional Sika Carbodur S512
(continuación)

1. Sujetar y ajustar la fibra de carbono a la mesa utilizando un tornillo de banco.



2. Medir y marcar la longitud calculada para cada probeta.



3. Cortar utilizando una amoladora o radial. Controlando que el avance sea progresivo y lento.



2.2.10 Limpieza superficial

Cada muestra está compuesta por 8 probetas y serán sometidas a diferentes tratamientos superficiales.

2.2.10.1 Limpieza por disco de cerdas de acero

El proceso de limpieza mediante disco de cerdas de acero se describe en la Tabla 18.

Tabla 18. Limpieza superficial mediante disco de cerdas de acero.



Pasos
<p>1. Acoplar la disco de cerdas de acero a su adaptador, para posteriormente unirlo mediante una tuerca al eje de transmisión.</p> 
<p>2. Ajustamos el eje al plato de garras.</p> 

Tabla 18. Limpieza superficial mediante disco de cerdas de acero (continuación)

3. Colocamos la pieza que nos va a servir como barra de aceleración en la torre porta herramientas.



4. Mediante la manivela del carro principal, ajustamos la ubicación de la barra de aceleración. Debe estar ubicada de tal forma que genere un roce con los cepillos pero no impida su libre movimiento. Aproximadamente a 5 mm del extremo.

Nota: la pieza utilizada como barra de aceleración debe estar descentrada con el eje, en este caso se encuentra a 10 mm por debajo de la línea media.



Tabla 18. Limpieza superficial mediante disco de cerdas de acero (continuación)

5. Encendemos el torno con una velocidad de 2300 rpm (velocidad de ralenti proporcionada por el fabricante) y nos ubicamos de tal forma que la barra de aceleración quede frente a la pieza [74]. El avance de la probeta debe ser de forma oscilante con una ligera presión durante aproximadamente 2 minutos.



6. Realizamos una inspección visual de la superficie, buscando que el ataque se haya realizado de forma uniforme.



2.2.10.2 Limpieza por lijadora rectangular con lija para metal grado 30

El proceso de limpieza utilizando una lijadora rectangular con lija para metal grado 30 se describe en la Tabla 19.

Tabla 19. Limpieza por lijadora rectangular con lija para metal grado 30.



Pasos
<p>1. Equiparse con la vestimenta y los accesorios de protección y seguridad personales recomendados para este tipo de actividades. Estos se conforman por guantes, protectores auditivos, máscara antipolvo y un protector facial o lentes de seguridad.</p> 
<p>2. Cortamos y ajustamos la lija de grado 30 en las pinzas de la lijadora rectangular. Tratando que esta quede lo mas estirada posible.</p> 

Tabla 19. Limpieza por lijadora rectangular con lija para metal grado 30. (continuación)

3. Fijamos la probeta en el tornillo de banco, señalando el área que se va a tratar superficialmente.



4. Encendemos y movemos la herramienta ejerciendo una leve presión. Las pasadas se realizan de forma angular, aproximadamente a 60° en ambas direcciones



5. Se realiza una inspección visual para confirmar la uniformidad en la superficie



2.2.11 Medición de la rugosidad

Para medir la rugosidad de las probetas sometidas a los diferentes métodos de limpieza superficial utilizaremos un rugosímetro Mitutoyo SJ210, facilitado por el laboratorio de la Facultad de Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato. El proceso se describe en la Tabla 20.

Tabla 20. Proceso para la medición de rugosidad.


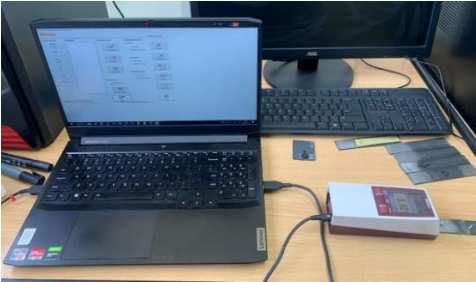

Pasos	
1. Calibración del rugosímetro.	
2. Conexión USB utilizando el software SurfTest SJ Communication Tool	
3. Colocación de las probetas en una superficie plana, posteriormente se debe colocar el rugosímetro sobre el área tratada superficialmente. El análisis se realiza variando la posición del rugosímetro.	

Tabla 20. Proceso para la medición de rugosidad. (continuación)

4. Ejecutar la medición mediante el software y exportar los resultados.

The screenshot displays the Mitutoyo software interface for generating a Certificate of Inspection. The interface is divided into several sections:

- Left Sidebar (Settings):**
 - Certificado Inspección:**
 - Conf.Imp:** Radio buttons for Auto Print and Impresión manual. A printer icon and 'Imprimir' button are present.
 - Conf. Gráfico:** Checkboxes for BAC-ADC and Expansion de la. A magnifying glass icon and 'Vista previa' button are present.
 - Tamaño de papel:** Radio buttons for Tamaño A4 and Tamaño de fuente. An 'Exportar' button with a document icon is present.
 - Idioma:** A button with 'あ a' characters and 'Idioma' text.
 - Comentario:** A button with a clipboard icon and 'Comentario' text.
 - Fin:** A button with a document icon and 'Fin' text.
- Main Area:**
 - Mitutoyo Logo:** Located at the top left.
 - Date:** 31-Jan-2023 at the top right.
 - CERTIFICATE OF INSPECTION:** Title in the center.
 - Evaluation Profile:** A graph showing a blue line fluctuating around a zero baseline on a yellow grid. The x-axis is labeled '(mm)' and ranges from 0.0 to 12.0. The y-axis ranges from -20.0 to 20.0.
 - Table:** A table with inspection parameters:

Work Name	Sample	Operator	Mitutoyo
Measuring Tool	SurfTest	Comment	Ver2.00
Standard	ISO 1997	N	5
Profile	R	Cut-Off	2.5mm
Aa	8µm	Filter	GAUSS
Ra	1.190 µm		
Rq	1.526 µm		
Rz	7.692 µm		

2.2.12 Preparación y aplicación de la resina epóxica

La preparación y aplicación se realizó de acuerdo a los parámetros descritos en el “Procedimiento de ejecución” [75], en la Tabla 21 se describe cada paso.

Tabla 21. Preparación y aplicación de la resina epóxica.

Pasos	
1. Antes de abrir, agitar cada componente	

Tabla 21. Preparación y aplicación de la resina epóxica. (continuación)

2. Pesar y agregar cada componente en un recipiente plástico, respetando la proporción de 3 a 1 del componente A y B respectivamente.



3. Combinar los elementos utilizando un taladro de baja revoluciones, el fabricante recomienda que máximo se utilicen 500 rpm. Mezclar hasta lograr que los componentes se integren de forma uniforme. *Nota: se utilizó el taladro de mesa del laboratorio para tener un mejor control en la velocidad*



4. Lijar levemente la superficie de la fibra con una lija para generar una superficie rugosa.

Tabla 21. Preparación y aplicación de la resina epóxica. (continuación)



5. Limpiar la superficie de aplicación del adhesivo tanto en la fibra como en el acero. Para esto utilizamos thinner



6. Definir el área que será revestida por la resina



Tabla 21. Preparación y aplicación de la resina epóxica. (continuación)

7. Utilizando una espátula, aplicar la resina sobre la zona preparada



8. Retirar el exceso de resina, manteniendo una capa de 2 mm.

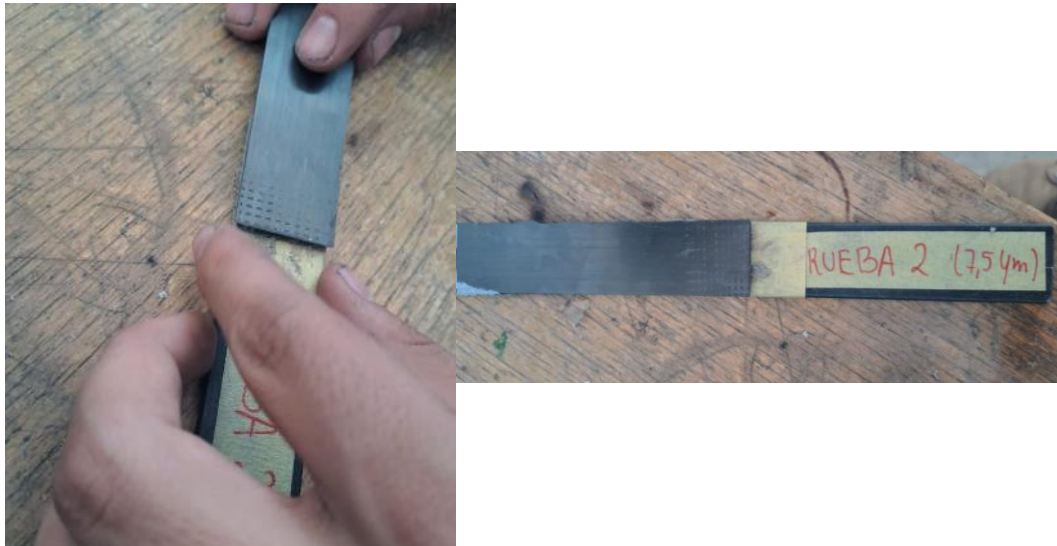


2.2.13 Montaje de la unión solapada simple

Finalmente, se realizó el proceso de montaje de probetas, mismo que se encuentra descrito en la Tabla 22.

Tabla 22. Proceso de montaje

1. Ubicar la probeta de fibra de carbono sobre el área con adhesivo en la de acero A36.



2. Colocar las probetas en la prensa C, previamente ajustada a un tornillo de banco.
Nota: para optimizar recursos, se ubicaron 4 probetas por cada prensa C, utilizando un separador de papel.



3. Utilizando un dado adaptado, se aplicó la presión y torque calculado en el punto 2.2.5. esta fuerza fue controlada utilizando un torquímetro de aguja. *Nota: Mantener las probetas rectas durante el proceso*

Tabla 22. Proceso de montaje (continuación)



4. Se limpian los excedentes de resina y se deja reposar durante 72 horas, tiempo definido por el fabricante para el proceso de curado.



2.2.14 Aplicación del ensayo a tracción

Este ensayo se va a aplicar en el Centro de Fomento Metalmecánico en la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

Para la aplicación del ensayo según la norma se van a aplicar los siguientes pasos:

- **Preparación de la muestra:** La muestra de material se corta y se prepara según las especificaciones de la norma ASTM D1002 o según las especificaciones del ensayo.
- **Instalación de la muestra en el equipo de ensayo:** La muestra se coloca en los accesorios de sujeción y se fija en la máquina de ensayo.
- **Ajuste de la velocidad de ensayo:** La velocidad de ensayo se ajusta para cumplir con los requisitos específicos del ensayo, en este caso será de 1,3 mm/min.
- **Inicio del ensayo:** La máquina de ensayo aplica una carga tensil controlada a la muestra de material hasta que se rompe. Esta carga ira aumentando paulatinamente entre 80 a 100 kg/cm² cada minuto.
- **Registro de los datos:** Durante el ensayo, los valores de la carga y la deformación se registran continuamente y se guardan para su análisis posterior.
- **Análisis de los resultados:** Una vez completado el ensayo, se analizan los datos registrados para calcular la resistencia a la tracción del material.
- **Informe de ensayo:** Se redacta un informe detallado del ensayo que incluye los resultados y la metodología utilizada.

Es importante seguir cuidadosamente las especificaciones de la norma ASTM D1002 o de cualquier otra norma relevante para garantizar la validez y la confiabilidad de los resultados de ensayo.

Finalmente se realizara un informe por cada probeta en el que principalmente constara la magnitud de la carga al momento del fallo y el tipo de fallo que haya sufrido

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Resultados de rugosidad de las probetas

Para los resultados de rugosidad se han realizado las siguientes fichas técnicas.

Tabla 23. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero
A36_FCU_CA_01.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	1		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_CA_01				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
10,611	10,014	8,341	10,644	10,86	10,094
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N9 - N10 (6.3 - 12.5) µm	
				Proceso:	
		Disco de cerdas de acero			

Tabla 24. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero
A36_FCU_CA_02.




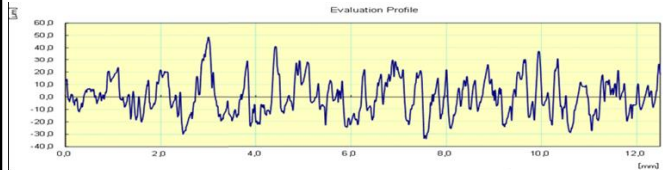
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	2		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_CA_02				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
11,971	13,033	12,334	13,894	13,127	12,872
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N9 - N10 (6.3 - 12.5) µm	
				Proceso:	
		Disco de cerdas de acero			

Tabla 25. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero
A36_FCU_CA_03.




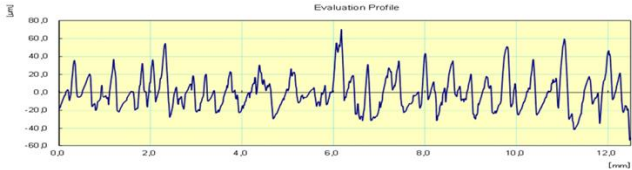
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	3		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_CA_03				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
12,427	13,199	14,444	14,325	11,967	13,272
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N9 - N10 (6.3 - 12.5) µm	
				Proceso:	
		Disco de cerdas de acero			

Tabla 26. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero
A36_FCU_CA_04.



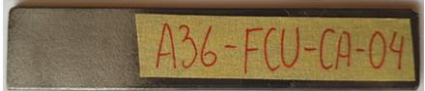
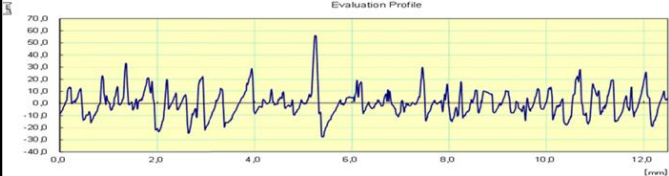
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio :	Experimental	N°	4		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_CA_04				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
8,587	10,255	7,134	9,743	9,655	9,075
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N9 - N10 (6.3 - 12.5) µm	
				Proceso:	
		Disco de cerdas de acero			

Tabla 27. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero
A36_FCU_CA_05.


		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio :	Experimental	N°	5		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_CA_05				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
10,895	11,396	10,761	9,173	10,225	10,490
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N9 - N10 (6.3 - 12.5) µm	
				Proceso:	
		Disco de cerdas de acero			

Tabla 28. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero
A36_FCU_CA_06.



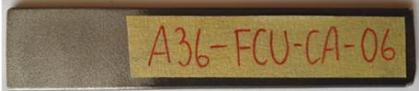
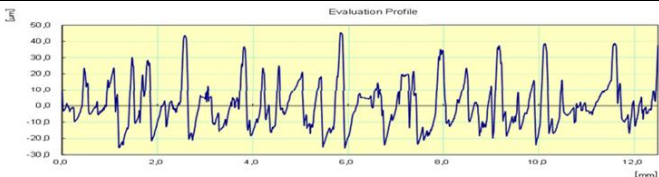
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	6		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_CA_06				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
10,79	10,124	8,261	9,796	10,444	9,883
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N9 - N10 (6.3 - 12.5) µm	
				Proceso:	
		Disco de cerdas de acero			

Tabla 29. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero
A36_FCU_CA_07.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	7		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_CA_07				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
11,055	10,104	9,153	9,726	9,762	9,960
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N9 - N10 (6.3 - 12.5) µm	
				Proceso:	
		Disco de cerdas de acero			

Tabla 30. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando disco de cerdas de acero
A36_FCU_CA_08.



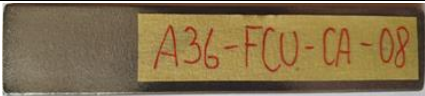
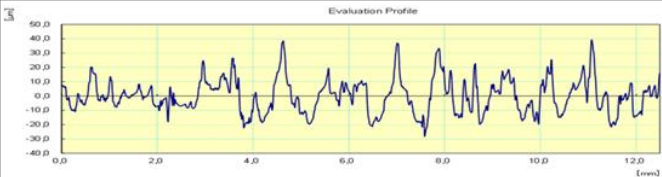
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	8		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_CA_08				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
9,372	9,168	8,814	8,743	7,753	8,770
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N9 - N10 (6.3 - 12.5) µm	
				Proceso:	
		Disco de cerdas de acero			

Tabla 31. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular
A36_FCU_LR_01.



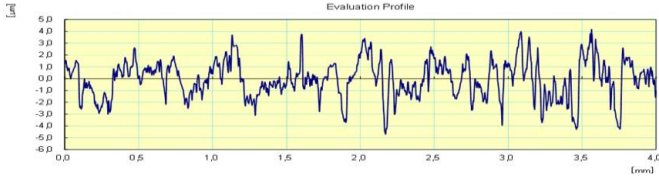
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio :	Experimental	N°	9		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_LR_01				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
1,251	1,969	1,583	1,194	1,641	1,528
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N6 - N7 (0,8 - 1,6) µm	
				Proceso:	
		Lijadora Rectangular			

Tabla 32. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular
A36_FCU_LR_02.




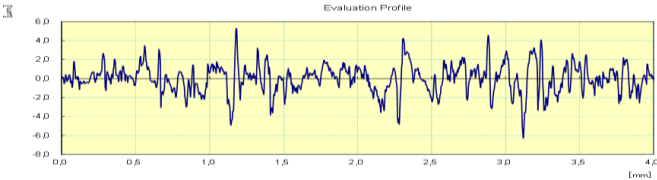
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio :	Experimental	N°	10		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_LR_02				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
1,051	1,117	1,4	1,004	1,074	1,129
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N6 - N7 (0,8 - 1,6) µm	
				Proceso:	
		Lijadora Rectangular			

Tabla 33. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular
A36_FCU_LR_03.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	11		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_LR_03				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
0,907	0,979	1,183	1,079	1,036	1,037
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N6 - N7 (0,8 - 1,6) µm	
				Proceso:	
		Lijadora Rectangular			

Tabla 34. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular
A36_FCU_LR_04.




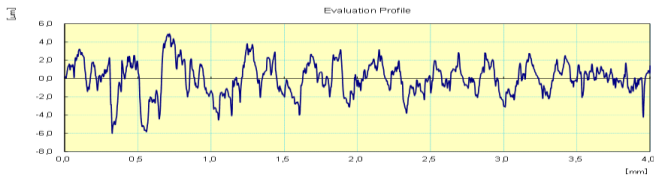
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	12		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_LR_04				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
0,71	1,717	1,421	1,757	1,387	1,398
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N6 - N7 (0,8 - 1,6) µm	
				Proceso:	
		Lijadora Rectangular			

Tabla 35. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular
A36_FCU_LR_05.




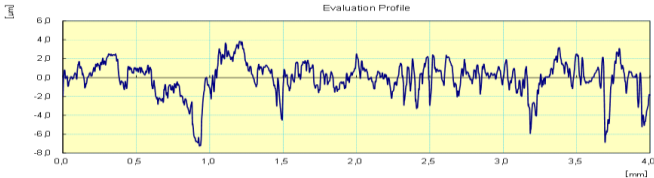
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio :	Experimental	N°	13		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_LR_05				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
1,052	1,282	1,359	1,497	1,051	1,248
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N6 - N7 (0,8 - 1,6) µm	
				Proceso:	
		Lijadora Rectangular			

Tabla 36. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular
A36_FCU_LR_06.



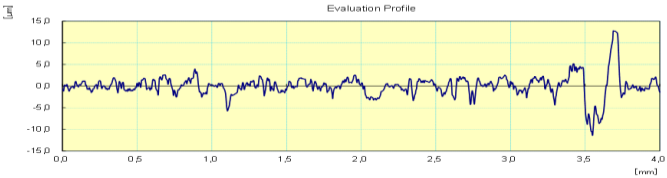
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de estudio :	Experimental	N°	14		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_LR_06				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
1,151	1,213	1,95	1,97	1,56	1,569
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N6 - N7 (0,8 - 1,6) µm	
				Proceso:	
		Lijadora Rectangular			

Tabla 37. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular
A36_FCU_LR_07.




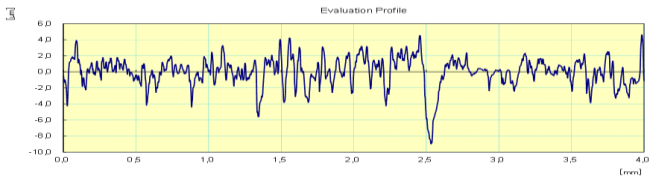



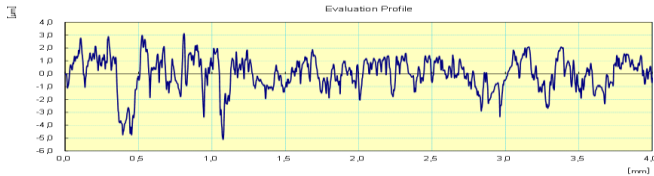
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	15		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_LR_07				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
1,303	1,608	1,367	1,672	1,77	1,544
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N6 - N7 (0,8 - 1,6) µm	
				Proceso:	
		Lijadora Rectangular			

Tabla 38. Reporte de Rugosidad Superficial utilizando lijadora rectangular
A36_FCU_LR_08.


 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE RUGOSIDAD SUPERFICIAL					
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de estudio :	Experimental	N°	16		
Fecha de ejecucion :	30/01/2023				
Lugar de estudio:	Universidad Técnica de Ambato				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Jordi Escobar				
EQUIPO, MATERIALES Y HERRAMIENTAS					
Material :	Acero ASTM A36				
Codificacion:	A36_FCU_LR_08				
Dimensiones:	123x25x3 mm				
PARAMETROS DE MEDICION DE RUGOSIDAD					
Máquina:	Rugosímetro Mitutoyo SJ-210				
Norma:	ISO 1997				
Rango:	0,2-1,6 um				
Mediciones:	5				
Número de pasadas:	5				
Velocidad de avance:	0,5 mm/s				
REGISTRO DE MEDICIONES DE RUGOSIDAD (µm)					
Med. 1	Med. 2	Med. 3	Med. 4	Med. 5	Promedio
0,908	1,479	0,942	1,01	1,008	1,069
RESULTADOS					
				Clase de rugosidad:	
				N6 - N7 (0,8 - 1,6) µm	
				Proceso:	
		Lijadora Rectangular			

3.1.2 Resultados del ensayo D1002 de las probetas

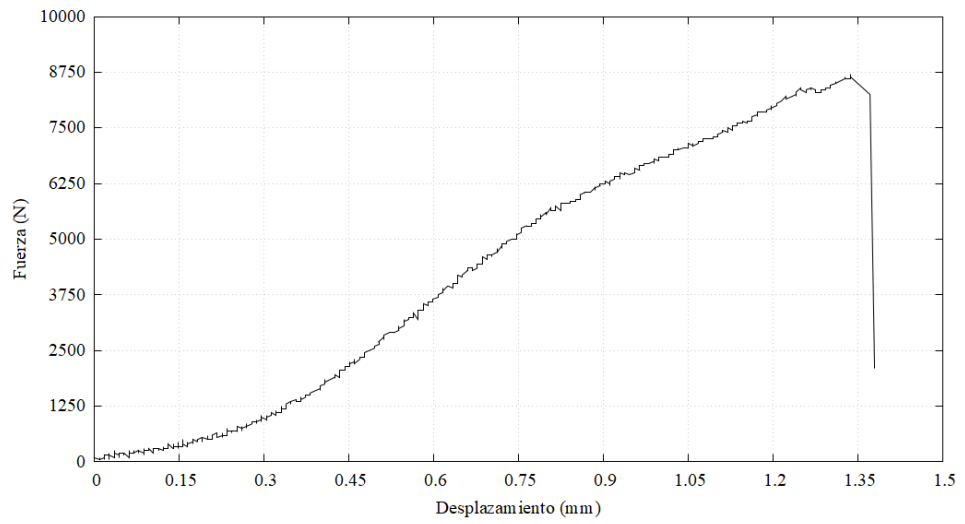
A partir de las Tablas 39 a 54, que se muestran a continuación, se encuentran los reportes individuales de la aplicación del ensayo de tracción en cada probeta. Se detallan los siguientes datos:

- Tipificación completa del metal, adhesivo y fibra utilizado.
- Método de preparación superficial del área sometida al adhesivo.
- Espesor de la capa adhesiva.
- Magnitud de la carga al momento del fallo
- Tipo de fallo, ya sea cohesivo o adhesivo.

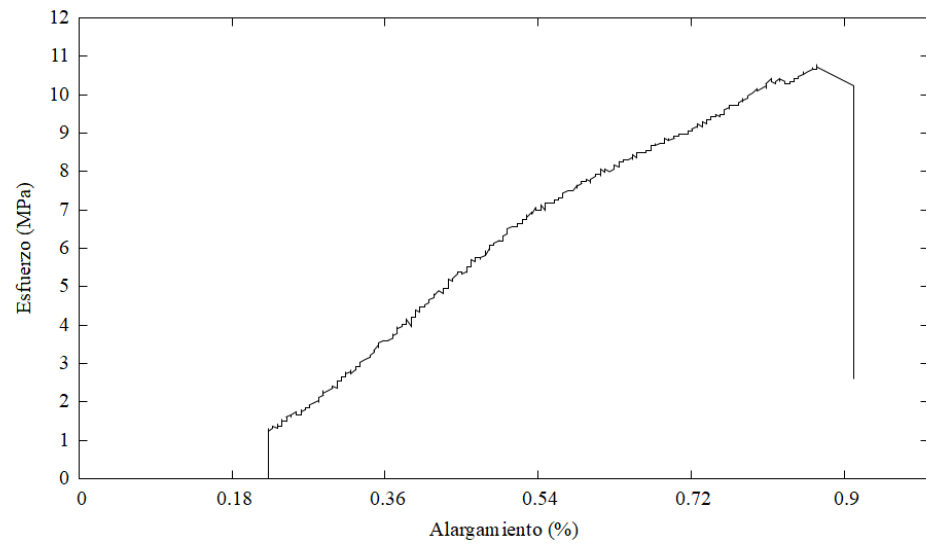
Tabla 39. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_01.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		
	FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002		
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	1
Fecha de ejecucion :	13/02/2023		
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico		
Motivo:	Trabajo de titulación		
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.		
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng		
MATERIAL			
Acero:	ASTM A36		
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional		
Adhesivo:	Resina Epoxica		
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA			
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec		
Modelo:	STH-1500/CS		
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Metodo de ensayo:	ASTM D1002		
Modelo:	STH-1500/CS		
Capacidad maxima:	1500 kN		
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min		
Codigo de probeta:	A36_FCU_CA_01		
Tratamiento superficial:	Disco de cerdas de acero		
DIMENSIONES (mm)			
Ancho:	23,62		
Espesor del metal:	3,18		
Espesor de fibra:	1,26		
Longitud Superpuesta:	34,16		
Espesor total:	4,87		
Espesor de capa adhesiva:	0,43		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Fuerza maxima [N]:	8700		
E. Max. de corte [Mpa] :	10,78		
Tipo de falla:	Adhesivo		
Grafico:	ver Figura 11		

a)



b)



c)

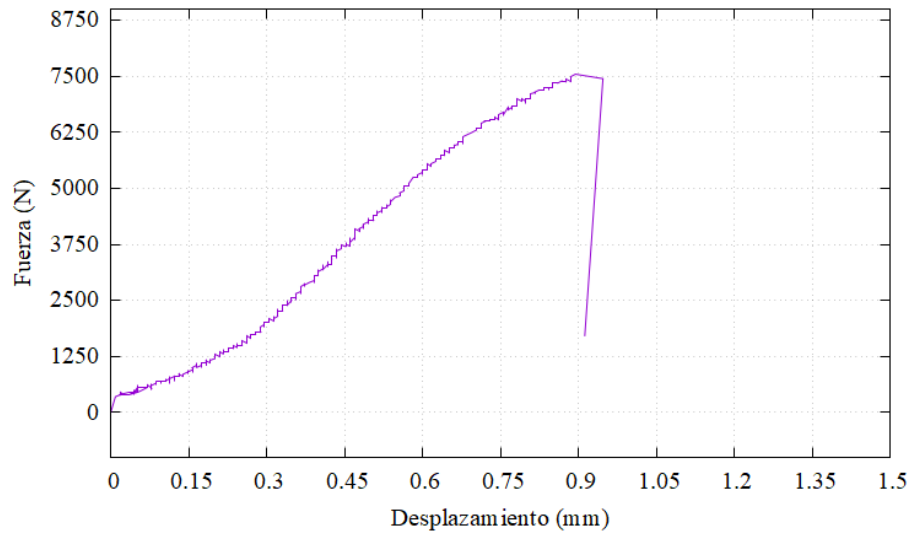


Figura 11. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-01

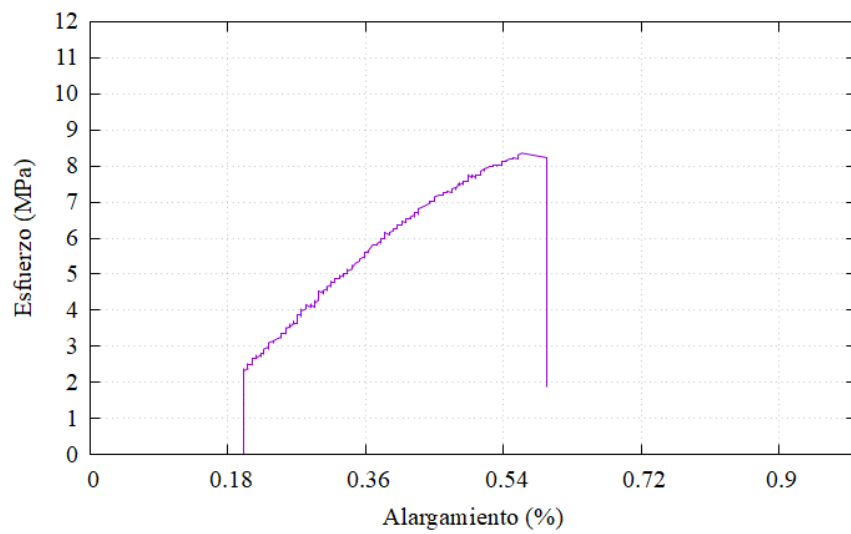
Tabla 40. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_02.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	2		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_CA_02				
Tratamiento superficial:	Disco de cerdas de acero				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	25,62				
Espesor del metal:	3,29				
Espesor de fibra:	1,29				
Longitud Superpuesta:	35,28				
Espesor total:	4,78				
Espesor de capa adhesiva:	0,2				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	7550				
E. Max. de corte [Mpa] :	8,35				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 12				

a)



b)



c)



Figura 12. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-02

Tabla 41. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_03.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	3
Fecha de ejecucion :	13/02/2023		
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico		
Motivo:	Trabajo de titulación		
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.		
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng		
MATERIAL			
Acero:	ASTM A36		
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional		
Adhesivo:	Resina Epoxica		
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA			
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec		
Modelo:	STH-1500/CS		
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Metodo de ensayo:	ASTM D1002		
Modelo:	STH-1500/CS		
Capacidad maxima:	1500 kN		
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min		
Codigo de probeta:	A36_FCU_CA_03		
Tratamiento superficial:	Disco de cerdas de acero		
DIMENSIONES (mm)			
Ancho:	24,56		
Espesor del metal:	3,22		
Espesor de fibra:	1,27		
Longitud Superpuesta:	35,64		
Espesor total:	4,79		
Espesor de capa adhesiva:	0,27		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Fuerza maxima [N]:	11400		
E. Max. de corte [Mpa] :	13,12		
Tipo de falla:	Adhesivo Mixto		
Grafico:	ver Figura 13		

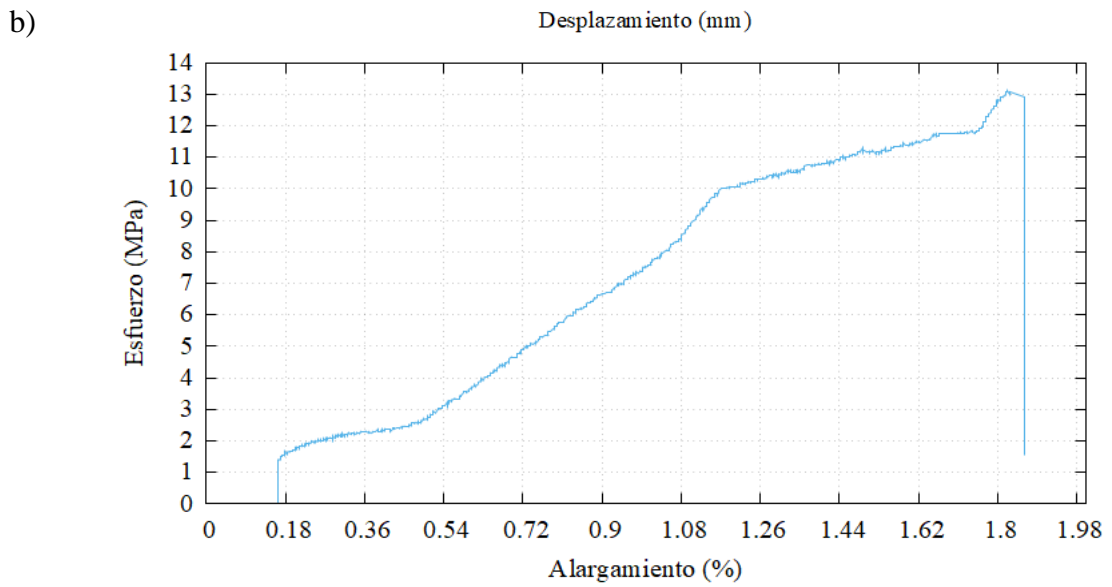
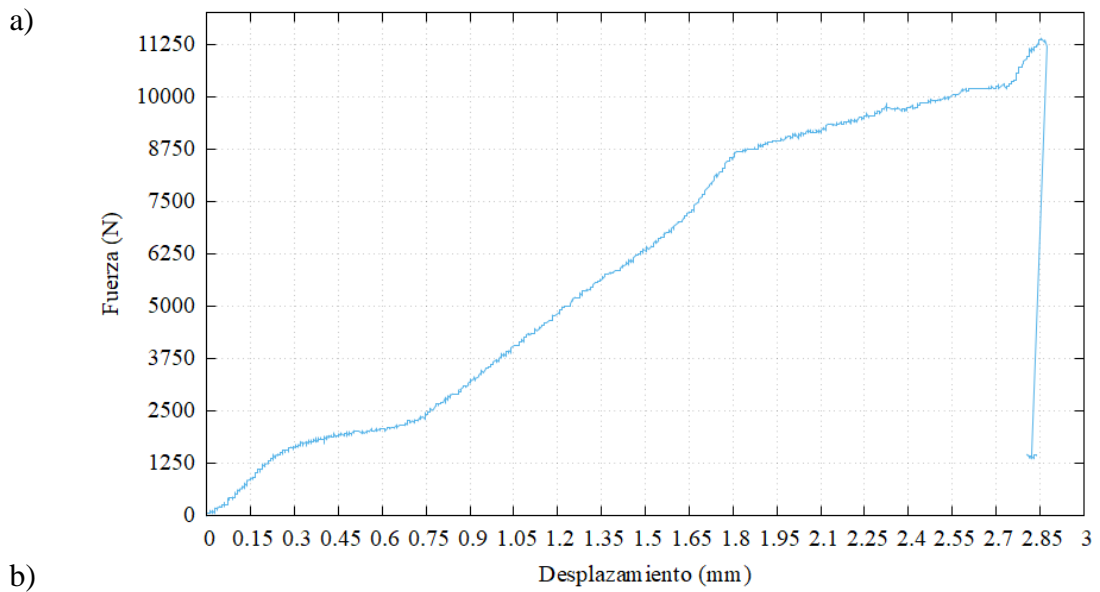


Figura 13. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-03

Tabla 42. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_04.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	4		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_CA_04				
Tratamiento superficial:	Disco de cerdas de acero				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	24,56				
Espesor del metal:	3,21				
Espesor de fibra:	1,27				
Longitud Superpuesta:	35,34				
Espesor total:	4,88				
Espesor de capa adhesiva:	0,4				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	7550				
E. Max. de corte [Mpa] :	8,7				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 14				

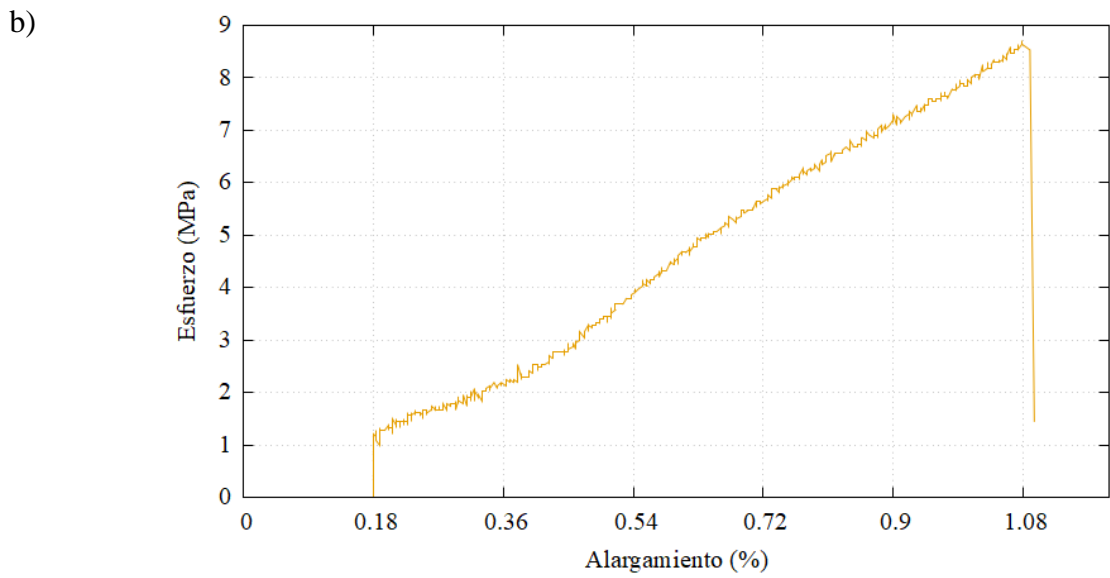
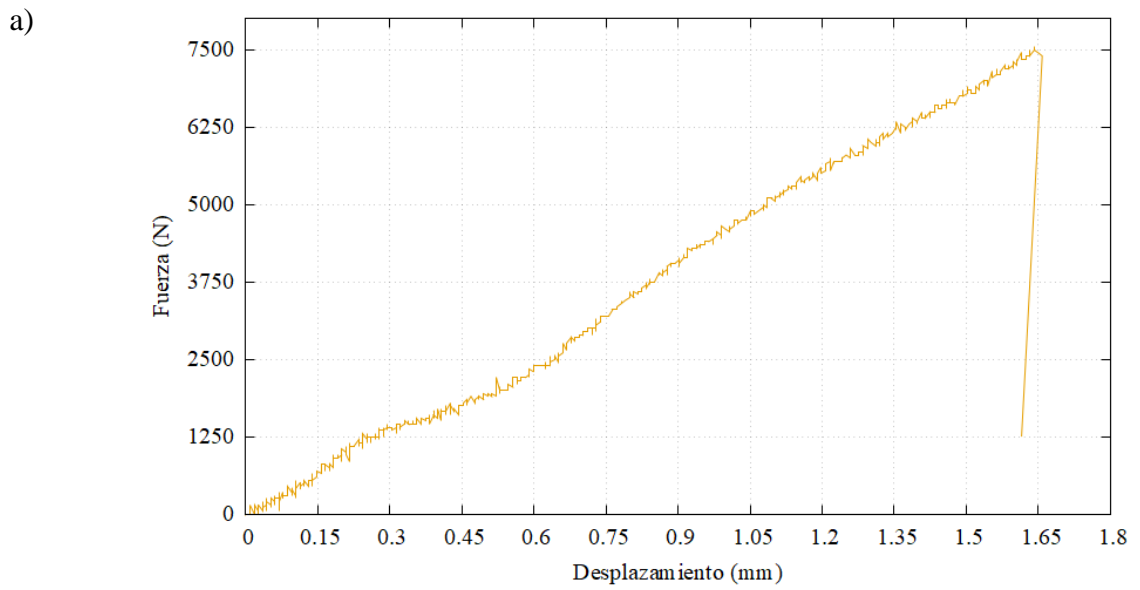


Figura 14. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento
c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-04

Tabla 43. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_05.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	5		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_CA_05				
Tratamiento superficial:	Disco de cerdas de acero				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	24,81				
Espesor del metal:	3,32				
Espesor de fibra:	1,26				
Longitud Superpuesta:	35,14				
Espesor total:	7,91				
Espesor de capa adhesiva:	0,33				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	5900				
E. Max. de corte [Mpa] :	6,77				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 15				

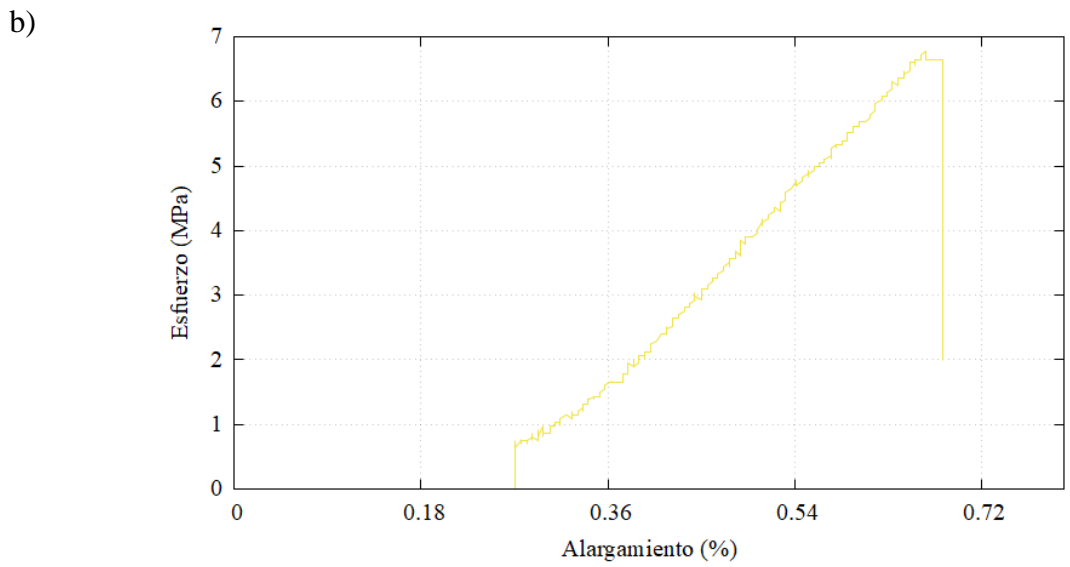
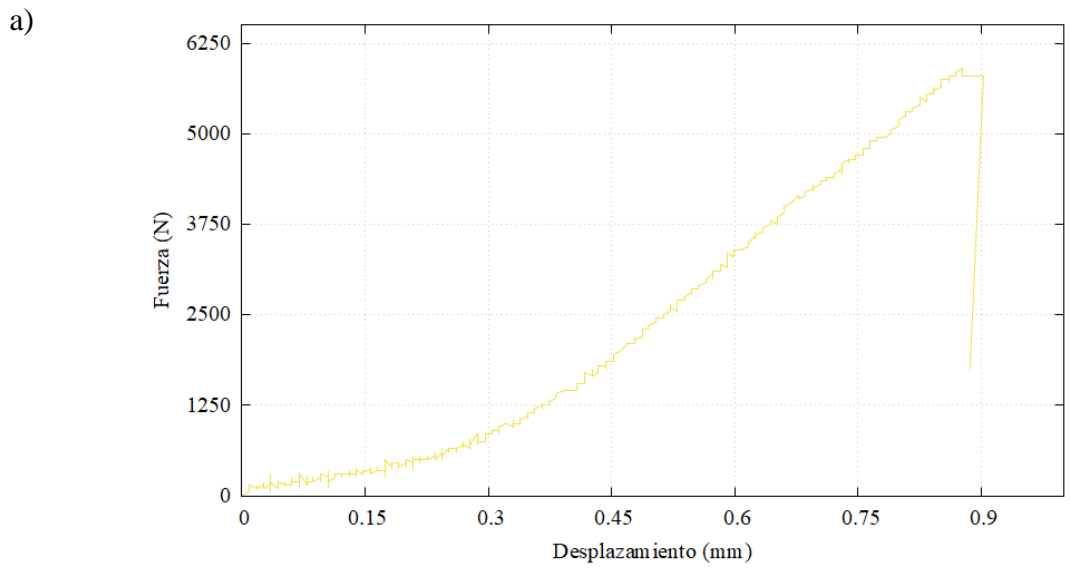
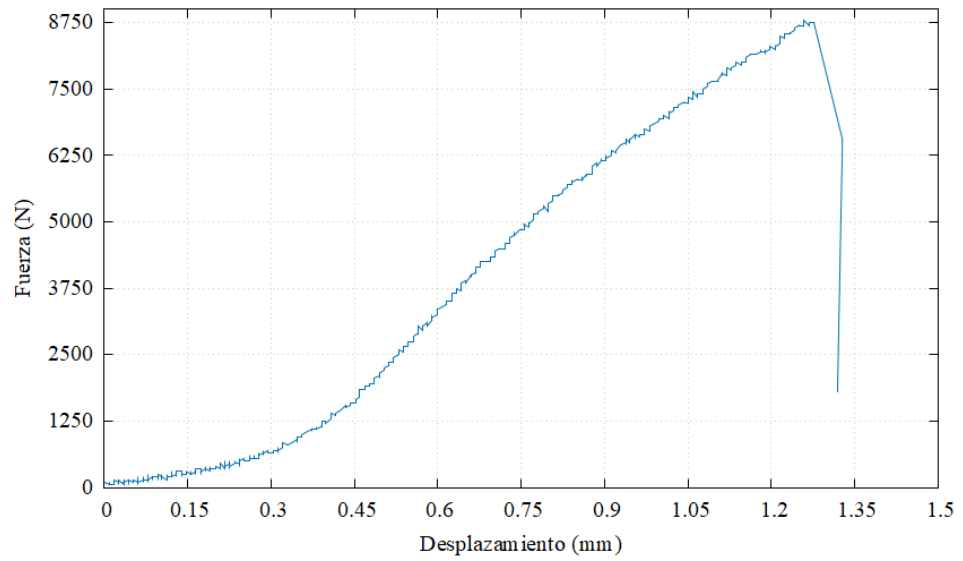


Figura 15. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-05

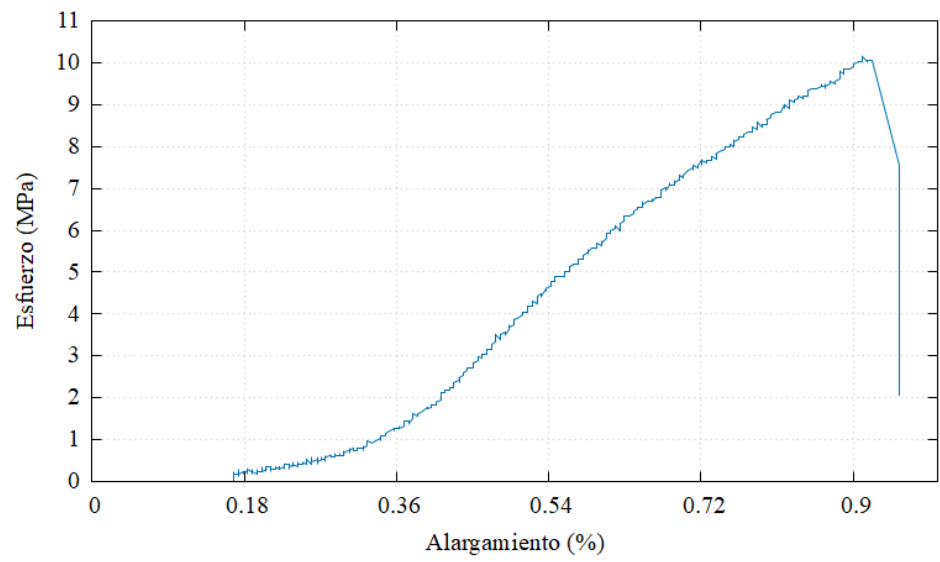
Tabla 44. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_06.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	6
Fecha de ejecucion :	13/02/2023		
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico		
Motivo:	Trabajo de titulación		
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.		
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng		
MATERIAL			
Acero:	ASTM A36		
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional		
Adhesivo:	Resina Epoxica		
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA			
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec		
Modelo:	STH-1500/CS		
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Metodo de ensayo:	ASTM D1002		
Modelo:	STH-1500/CS		
Capacidad maxima:	1500 kN		
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min		
Codigo de probeta:	A36_FCU_CA_06		
Tratamiento superficial:	Disco de cerdas de acero		
DIMENSIONES (mm)			
Ancho:	24,41		
Espesor del metal:	3,25		
Espesor de fibra:	1,25		
Longitud Superpuesta:	35,58		
Espesor total:	4,89		
Espesor de capa adhesiva:	0,39		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Fuerza maxima [N]:	8800		
E. Max. de corte [Mpa] :	10,13		
Tipo de falla:	Adhesivo		
Grafico:	ver Figura 16		

a)



b)



c)

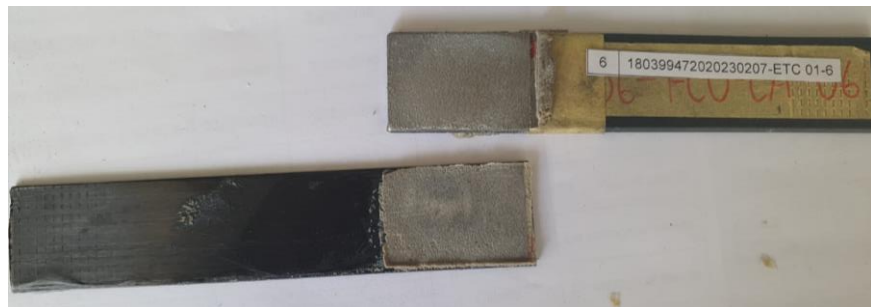


Figura 16. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-06

Tabla 45. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_07.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	7		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_CA_07				
Tratamiento superficial:	Disco de cerdas de acero				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	24,64				
Espesor del metal:	3,23				
Espesor de fibra:	1,27				
Longitud Superpuesta:	34,66				
Espesor total:	4,9				
Espesor de capa adhesiva:	0,4				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	8550				
E. Max. de corte [Mpa] :	10,01				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 17				

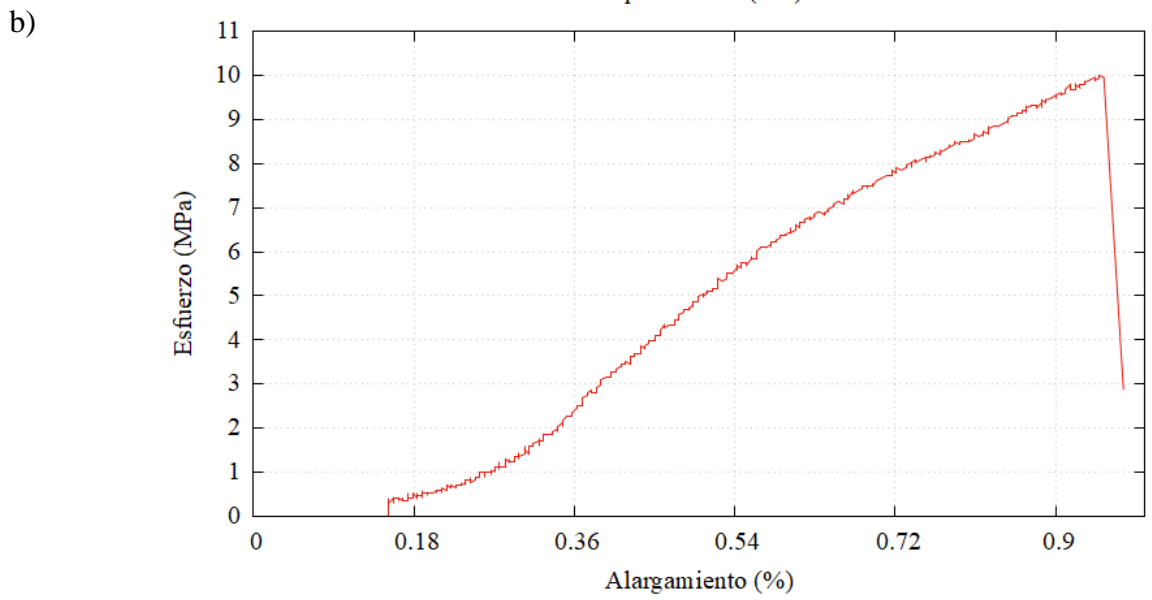
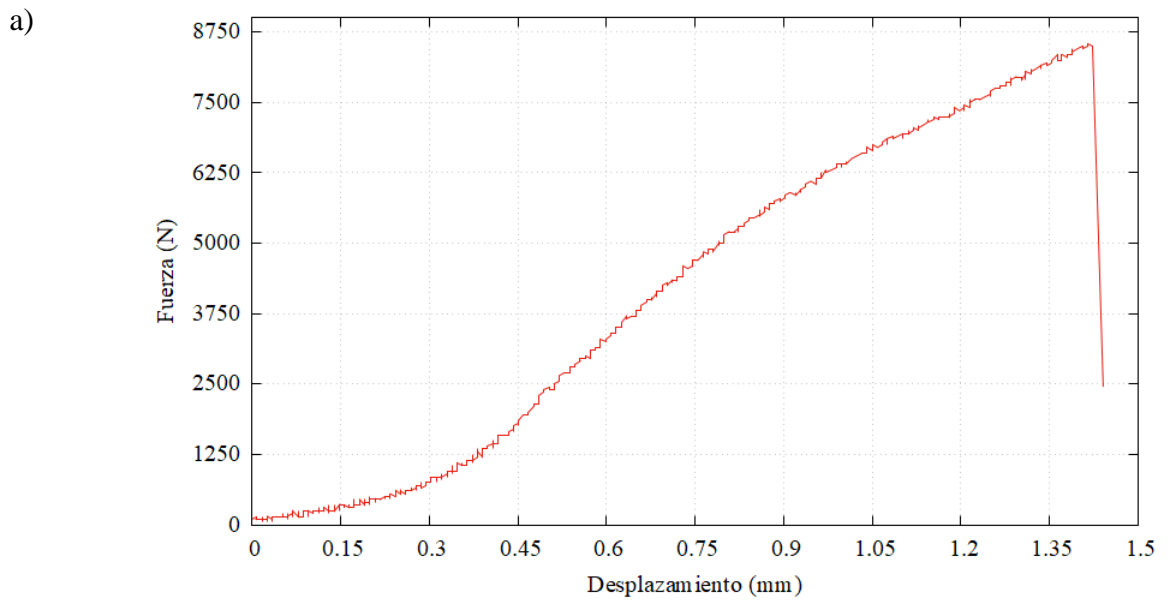
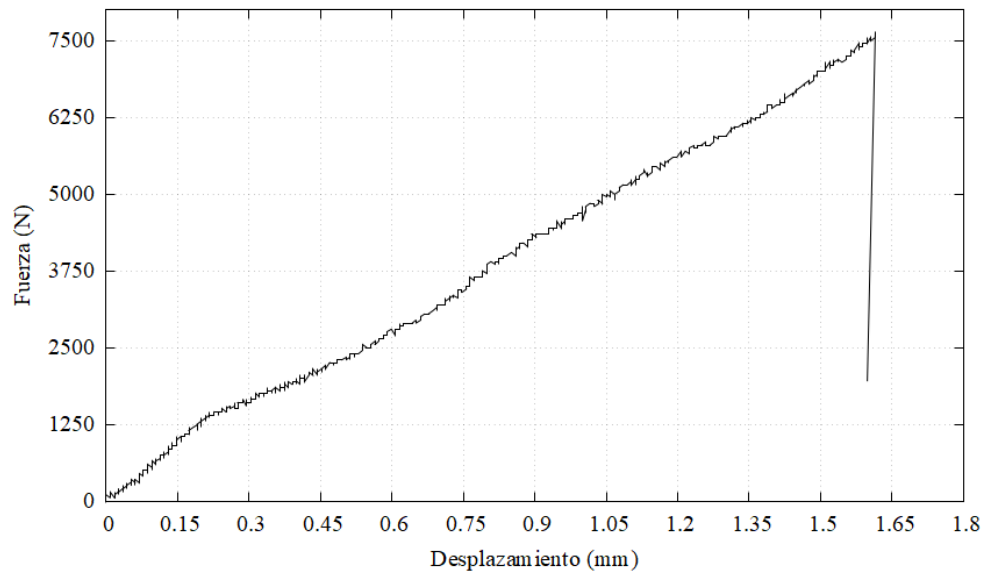


Figura 17. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento
c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-07

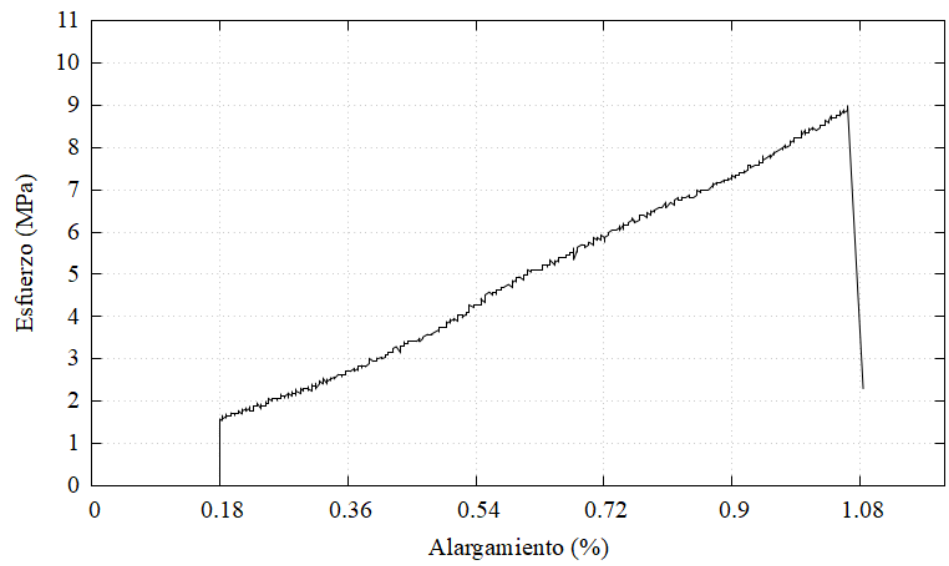
Tabla 46. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_CA_08.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	8
Fecha de ejecucion :	13/02/2023		
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico		
Motivo:	Trabajo de titulación		
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.		
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng		
MATERIAL			
Acero:	ASTM A36		
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional		
Adhesivo:	Resina Epoxica		
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA			
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec		
Modelo:	STH-1500/CS		
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Metodo de ensayo:	ASTM D1002		
Modelo:	STH-1500/CS		
Capacidad maxima:	1500 kN		
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min		
Codigo de probeta:	A36_FCU_CA_08		
Tratamiento superficial:	Disco de cerdas de acero		
DIMENSIONES (mm)			
Ancho:	24,08		
Espesor del metal:	3,28		
Espesor de fibra:	1,26		
Longitud Superpuesta:	35,35		
Espesor total:	4,82		
Espesor de capa adhesiva:	0,28		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Fuerza maxima [N]:	7650		
E. Max. de corte [Mpa] :	8,99		
Tipo de falla:	Adhesivo		
Grafico:	ver Figura 18		

a)



b)



c)



Figura 18. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-CA-08

Tabla 47. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_01.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	9		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_LR_01				
Tratamiento superficial:	Lijadora Rectangular				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	24,14				
Espesor del metal:	3,36				
Espesor de fibra:	1,26				
Longitud Superpuesta:	34,28				
Espesor total:	4,78				
Espesor de capa adhesiva:	0,16				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	5850				
E. Max. de corte [Mpa] :	7,07				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 19				

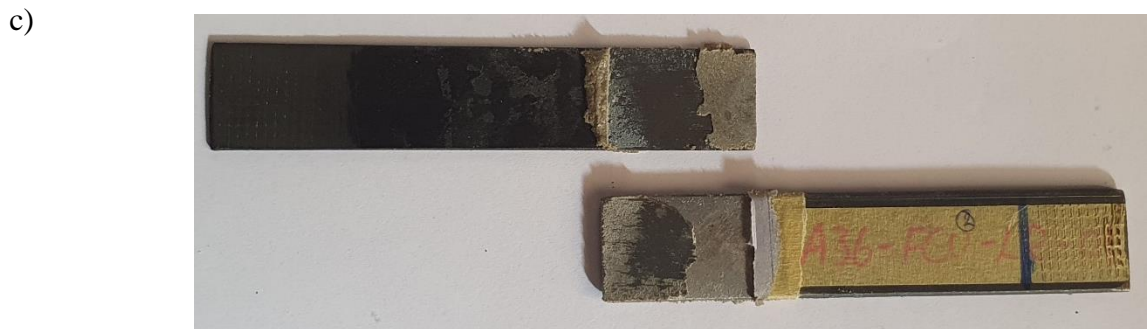
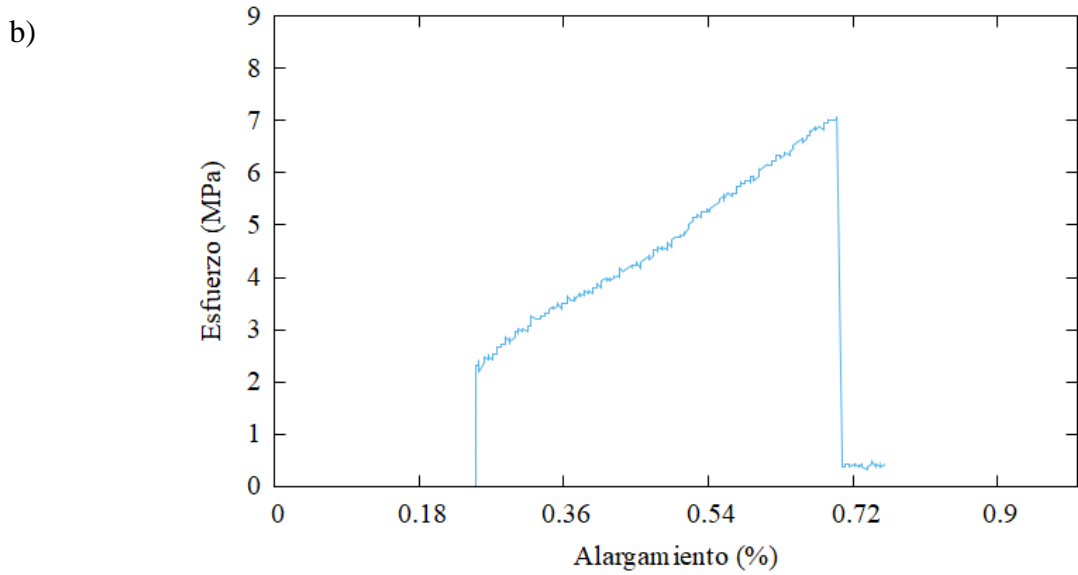
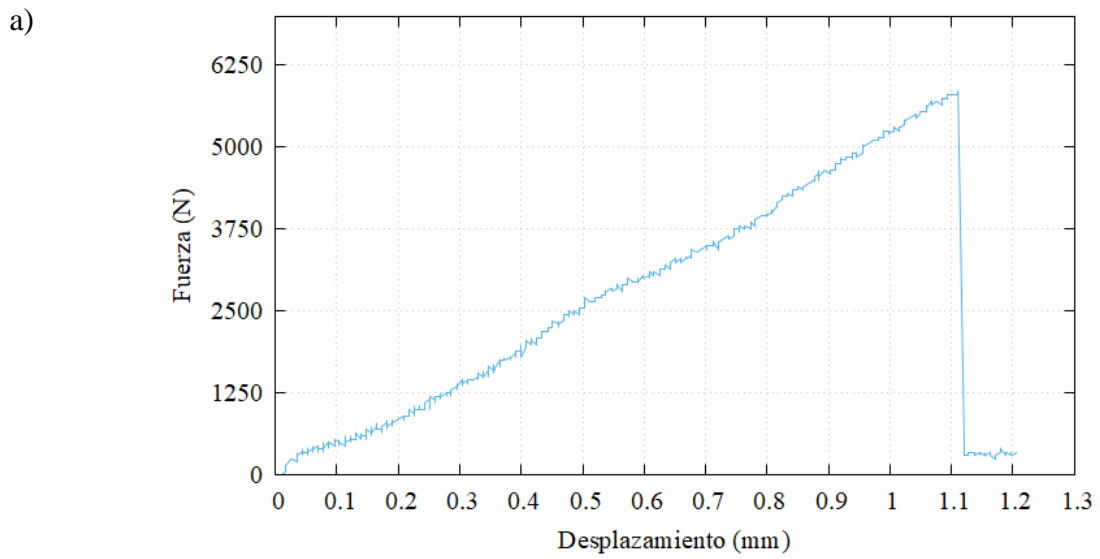


Figura 19. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-01

Tabla 48. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_02.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002 			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	10
Fecha de ejecucion :	13/02/2023		
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico		
Motivo:	Trabajo de titulación		
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.		
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng		
MATERIAL			
Acero:	ASTM A36		
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional		
Adhesivo:	Resina Epoxica		
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA			
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec		
Modelo:	STH-1500/CS		
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Metodo de ensayo:	ASTM D1002		
Modelo:	STH-1500/CS		
Capacidad maxima:	1500 kN		
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min		
Codigo de probeta:	A36_FCU_LR_02		
Tratamiento superficial:	Lijadora Rectangular		
DIMENSIONES (mm)			
Ancho:	24,16		
Espesor del metal:	3,26		
Espesor de fibra:	1,24		
Longitud Superpuesta:	35,64		
Espesor total:	4,81		
Espesor de capa adhesiva:	0,31		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Fuerza maxima [N]:	5750		
E. Max. de corte [Mpa] :	6,68		
Tipo de falla:	Adhesivo		
Grafico:	ver Figura 20		

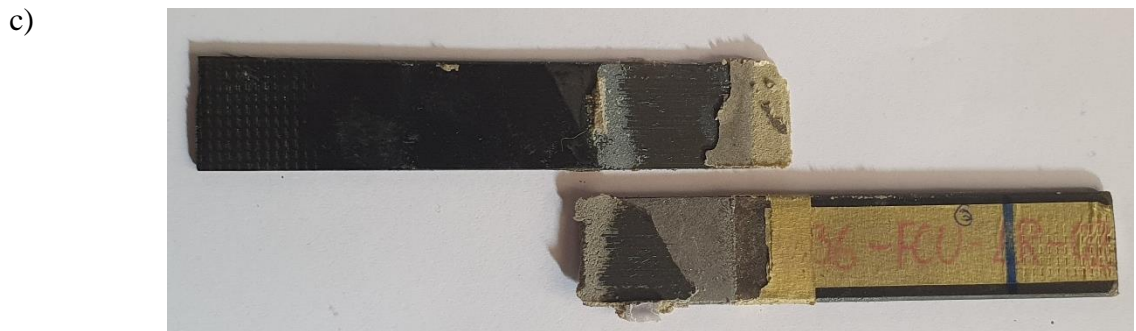
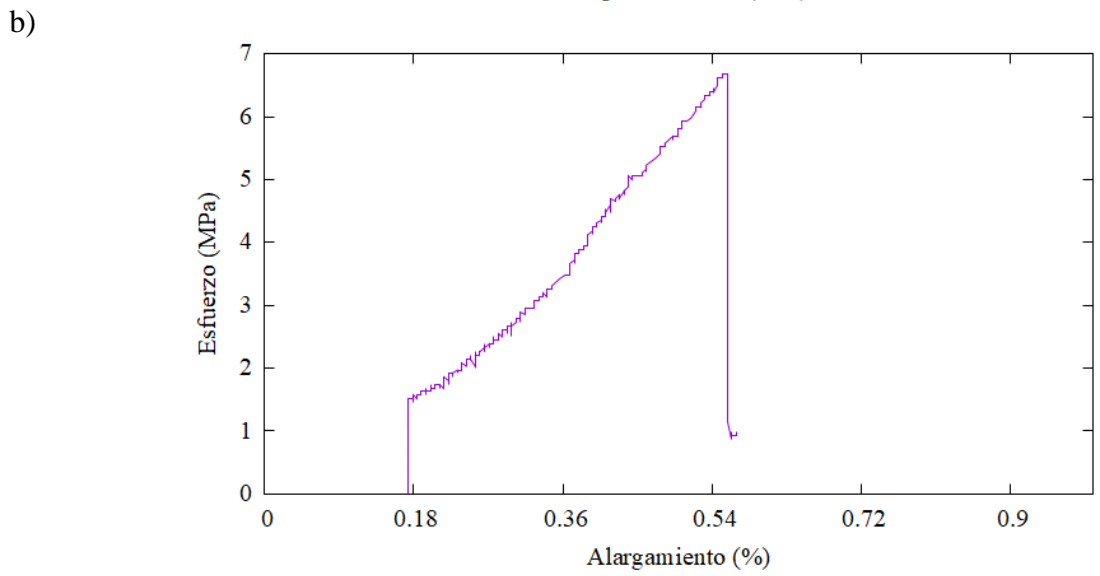
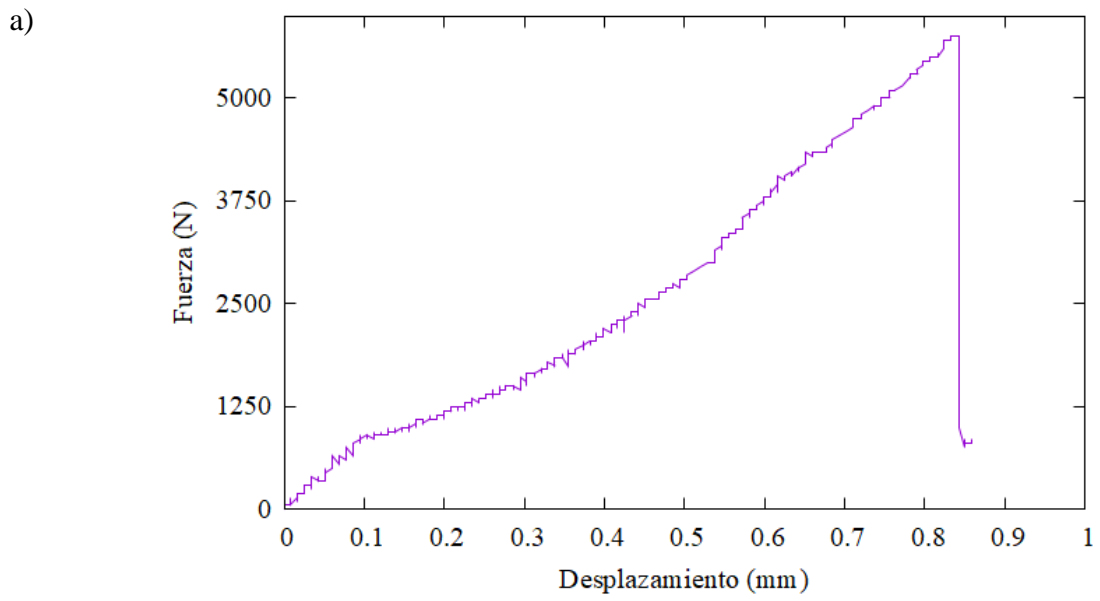
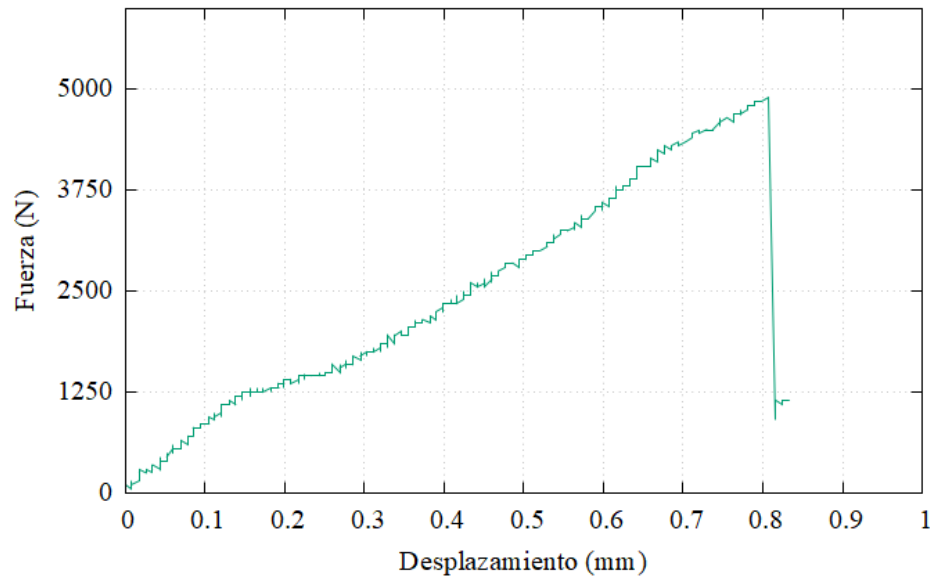


Figura 20. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-02

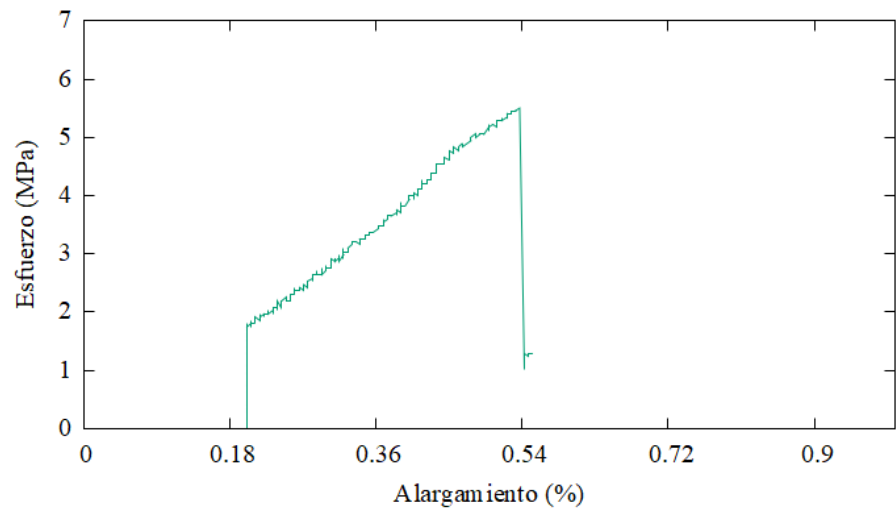
Tabla 49. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_03.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	11		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_LR_03				
Tratamiento superficial:	Lijadora Rectangular				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	24,62				
Espesor del metal:	3,31				
Espesor de fibra:	1,25				
Longitud Superpuesta:	36,16				
Espesor total:	4,81				
Espesor de capa adhesiva:	0,25				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	4900				
E. Max. de corte [Mpa] :	5,5				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 21				

a)



b)



c)

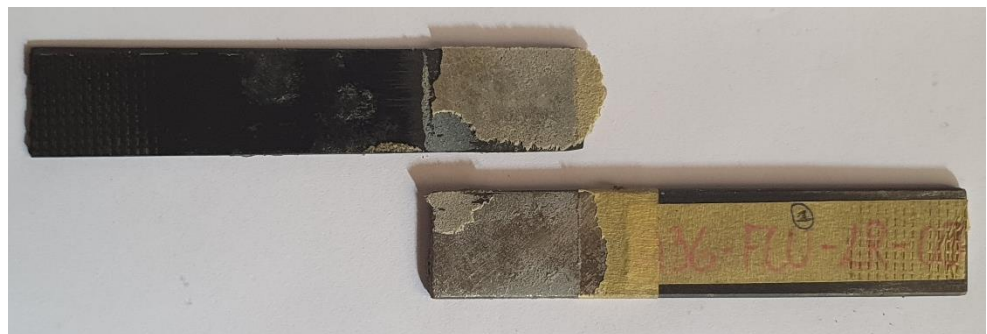


Figura 21. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-03

Tabla 50. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_04.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	12		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_LR_04				
Tratamiento superficial:	Lijadora Rectangular				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	24,07				
Espesor del metal:	3,32				
Espesor de fibra:	1,25				
Longitud Superpuesta:	33,52				
Espesor total:	4,88				
Espesor de capa adhesiva:	0,31				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	8850				
E. Max. de corte [Mpa] :	10,97				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 22				

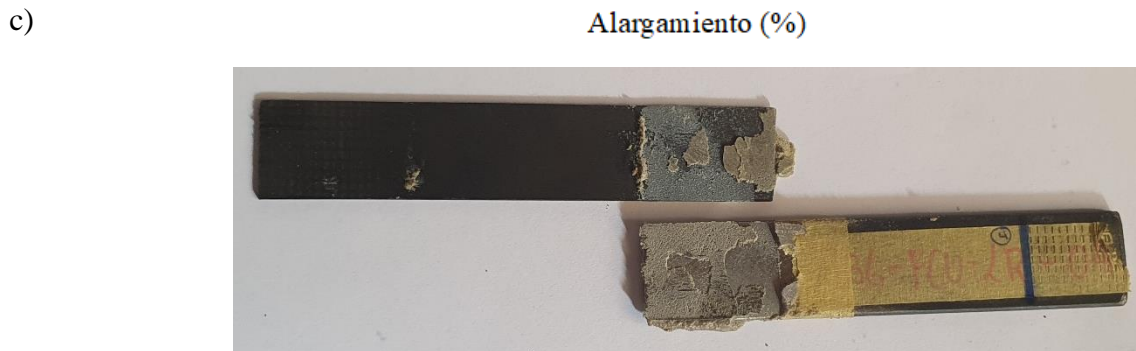
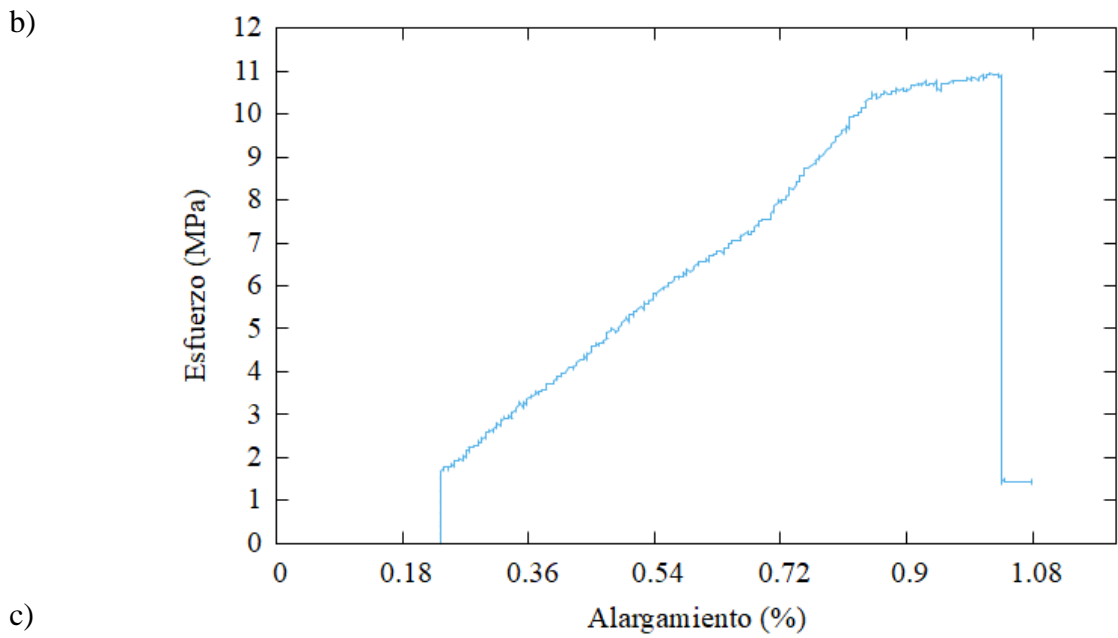
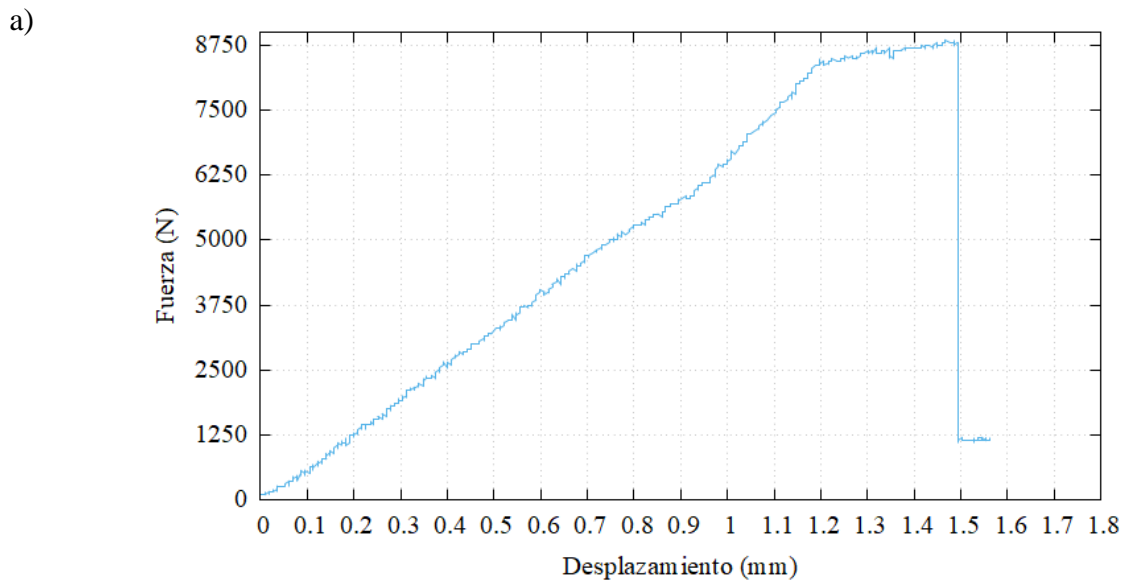


Figura 22. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-04

Tabla 51. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_05.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
DATOS INFORMATIVOS					
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	13		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_LR_05				
Tratamiento superficial:	Lijadora Rectangular				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	24,18				
Espesor del metal:	3,31				
Espesor de fibra:	1,27				
Longitud Superpuesta:	34,06				
Espesor total:	4,91				
Espesor de capa adhesiva:	0,35				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	6900				
E. Max. de corte [Mpa] :	7,94				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 23				

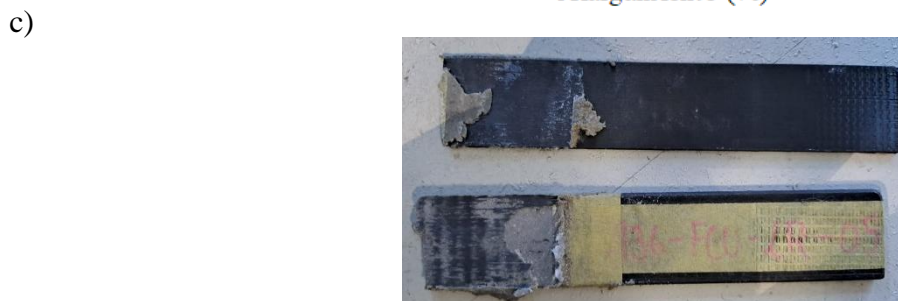
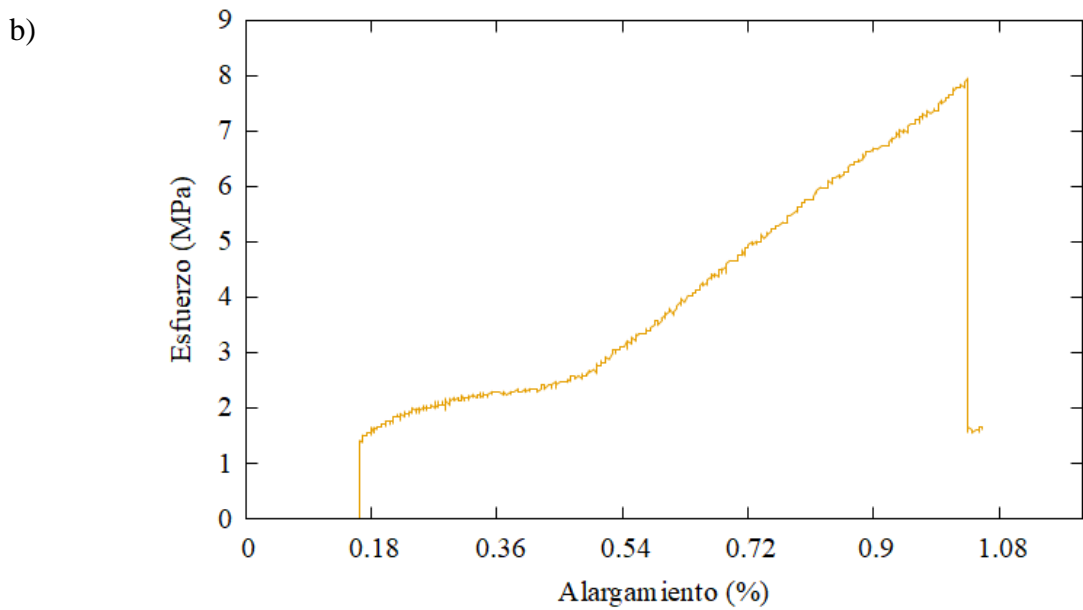
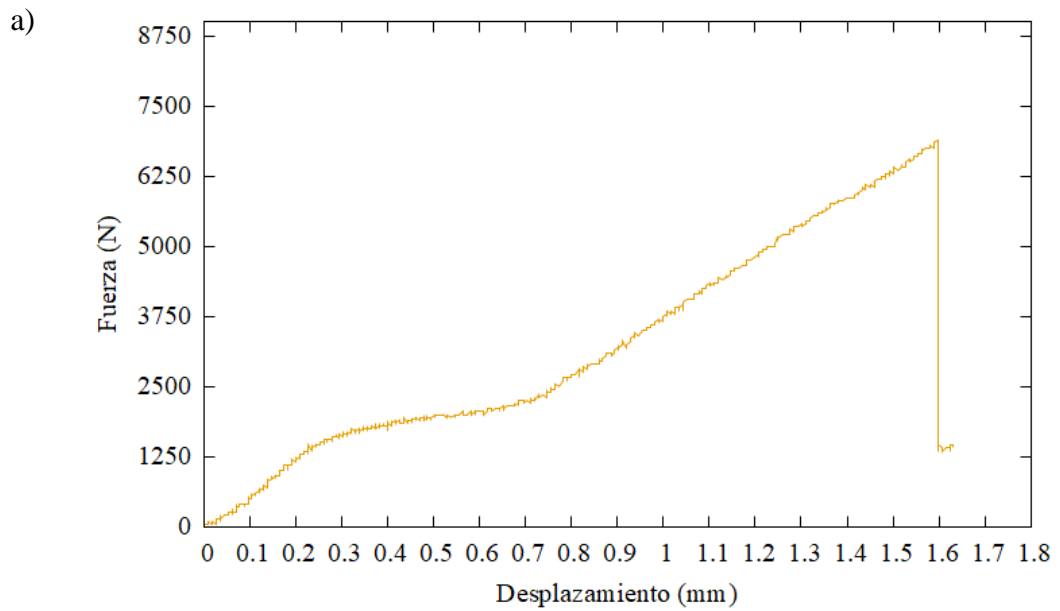


Figura 23. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento
c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-05

Tabla 52. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_06.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	14		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_LR_06				
Tratamiento superficial:	Lijadora Rectangular				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	25,04				
Espesor del metal:	3,25				
Espesor de fibra:	1,26				
Longitud Superpuesta:	34,46				
Espesor total:	4,79				
Espesor de capa adhesiva:	0,28				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	6550				
E. Max. de corte [Mpa] :	7,59				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 24				

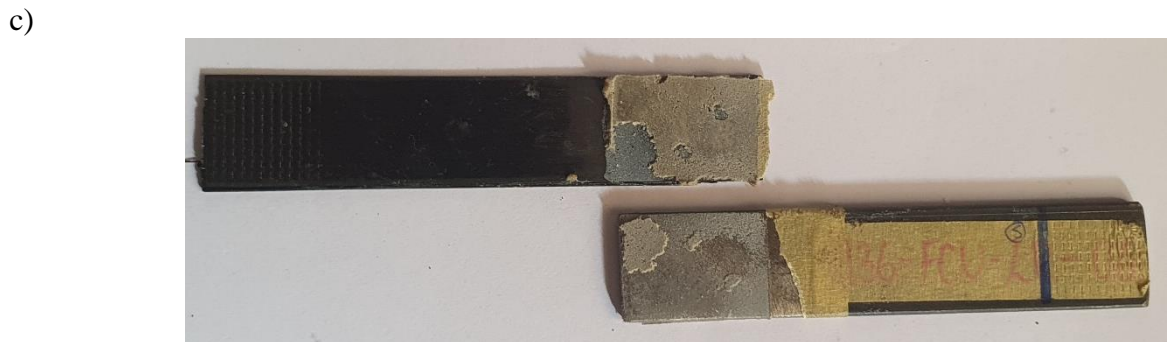
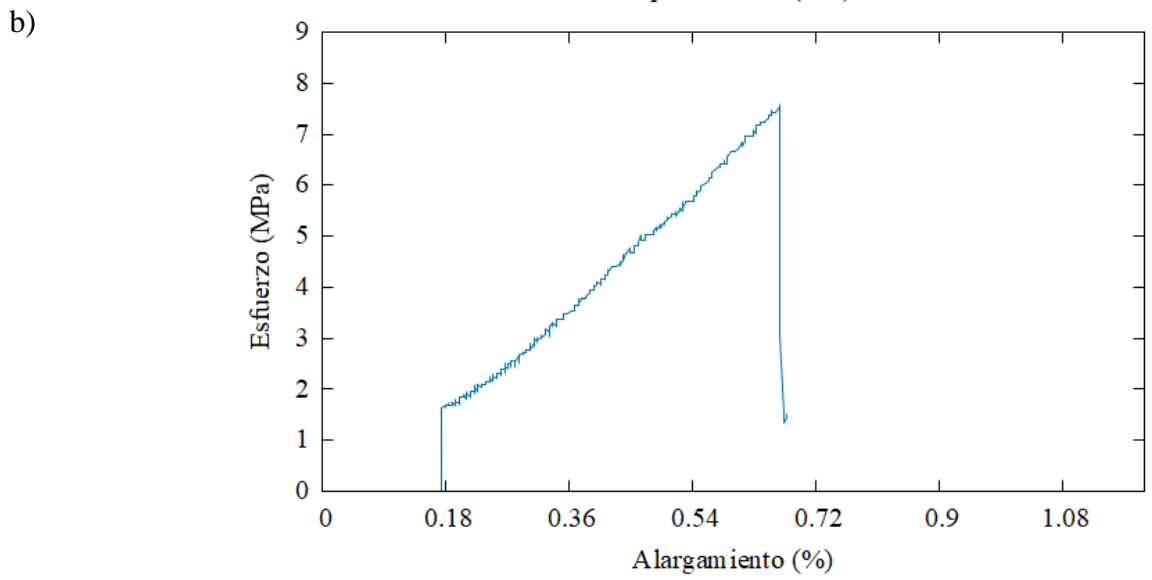
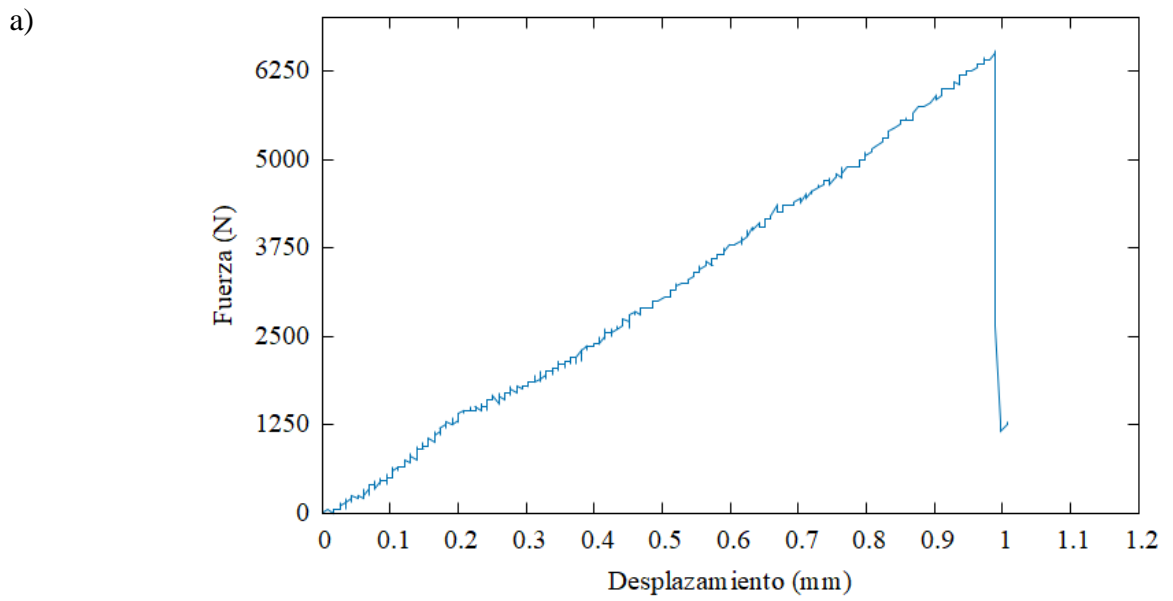


Figura 24. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento
c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-06

Tabla 53. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_07.

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002 			
DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	15
Fecha de ejecucion :	13/02/2023		
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico		
Motivo:	Trabajo de titulación		
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.		
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng		
MATERIAL			
Acero:	ASTM A36		
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional		
Adhesivo:	Resina Epoxica		
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA			
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec		
Modelo:	STH-1500/CS		
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO			
Metodo de ensayo:	ASTM D1002		
Modelo:	STH-1500/CS		
Capacidad maxima:	1500 kN		
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min		
Codigo de probeta:	A36_FCU_LR_07		
Tratamiento superficial:	Lijadora Rectangular		
DIMENSIONES (mm)			
Ancho:	24,82		
Espesor del metal:	3,31		
Espesor de fibra:	1,25		
Longitud Superpuesta:	35,76		
Espesor total:	4,76		
Espesor de capa adhesiva:	0,2		
RESULTADOS DEL ENSAYO			
Fuerza maxima [N]:	7400		
E. Max. de corte [Mpa] :	8,34		
Tipo de falla:	Adhesivo		
Grafico:	ver Figura 25		

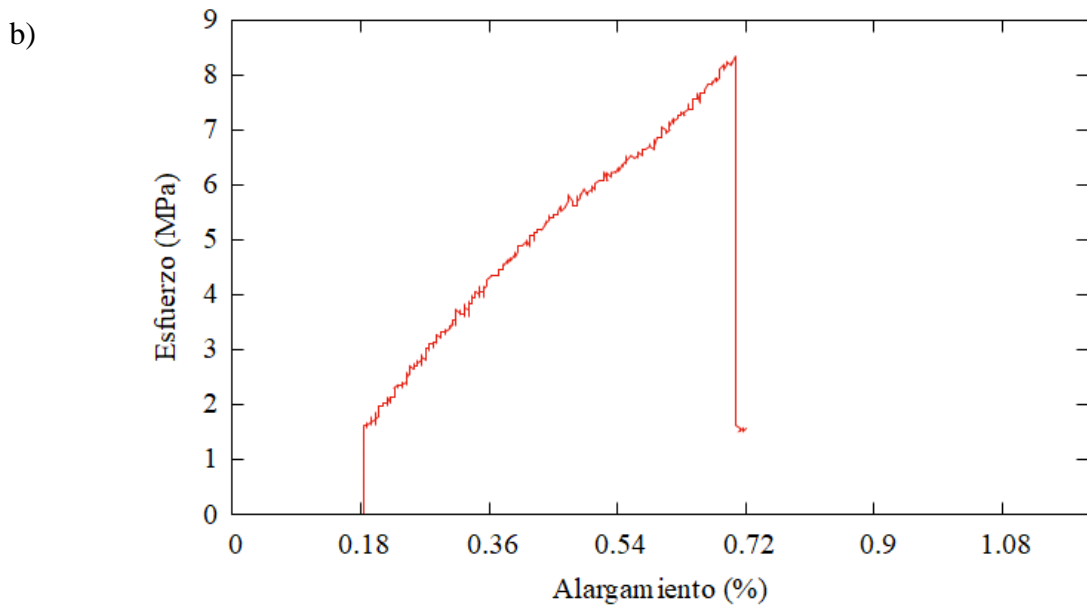
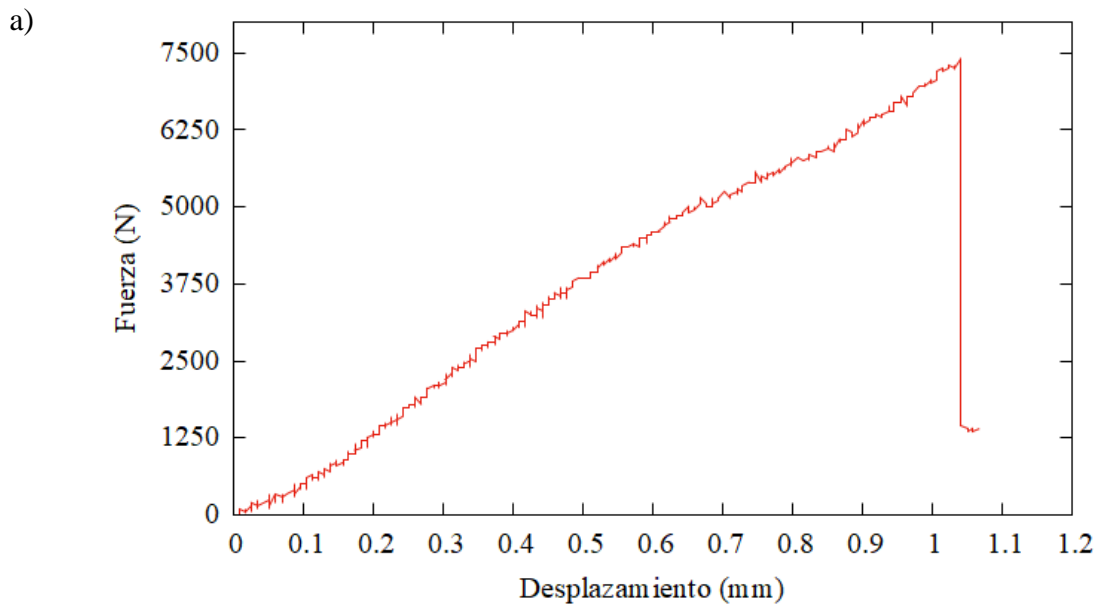




Figura 25. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-07

Tabla 54. Reporte de Ensayo D1002 en A36_FCU_LR_08.

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA REPORTE DE ENSAYO ASTM D1002			
		DATOS INFORMATIVOS			
Tipo de ensayo :	Cuantitativo	N°	16		
Fecha de ejecucion :	13/02/2023				
Lugar de estudio:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico				
Motivo:	Trabajo de titulación				
Elaborado por:	Ing. Fernando Tibán R.				
Aprobado Por	Ing. Luis Mayorga Meng				
MATERIAL					
Acero:	ASTM A36				
Refuerzo:	Fibra de Carbono Unidireccional				
Adhesivo:	Resina Epoxica				
CARACTERISTICAS DE LA MAQUINA					
Maquina:	Máquina de Ensayos Universal Metrotec				
Modelo:	STH-1500/CS				
CARACTERISTICAS DEL ENSAYO					
Metodo de ensayo:	ASTM D1002				
Modelo:	STH-1500/CS				
Capacidad maxima:	1500 kN				
Velocidad de aplicacion:	1,3 mm/min				
Codigo de probeta:	A36_FCU_LR_08				
Tratamiento superficial:	Lijadora Rectangular				
DIMENSIONES (mm)					
Ancho:	24,63				
Espesor del metal:	3,22				
Espesor de fibra:	1,25				
Longitud Superpuesta:	35,23				
Espesor total:	4,81				
Espesor de capa adhesiva:	0,34				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
Fuerza maxima [N]:	7150				
E. Max. de corte [Mpa] :	8,24				
Tipo de falla:	Adhesivo				
Grafico:	ver Figura 26				

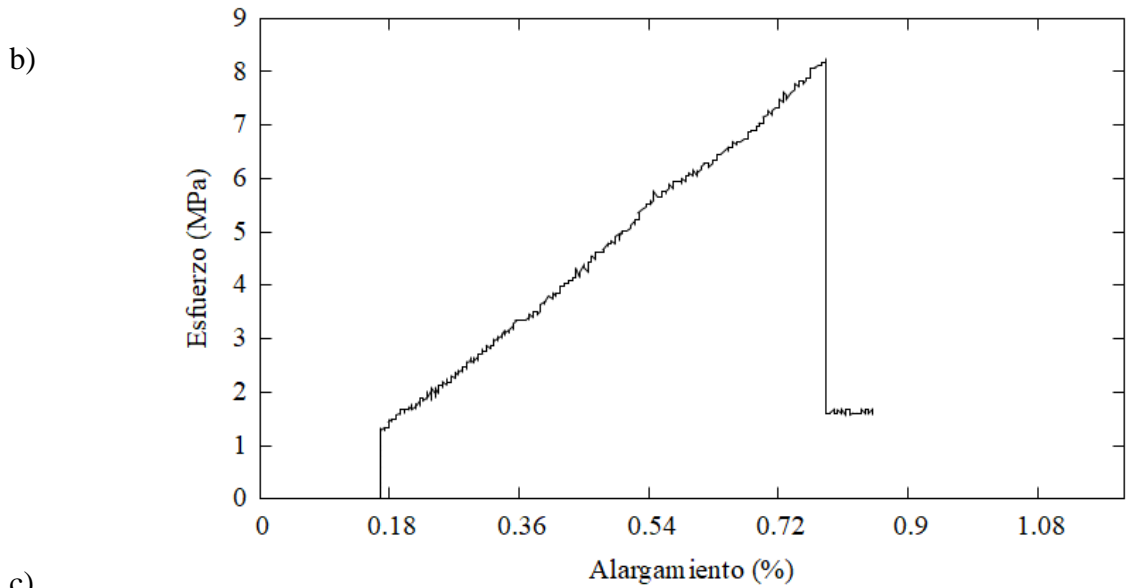
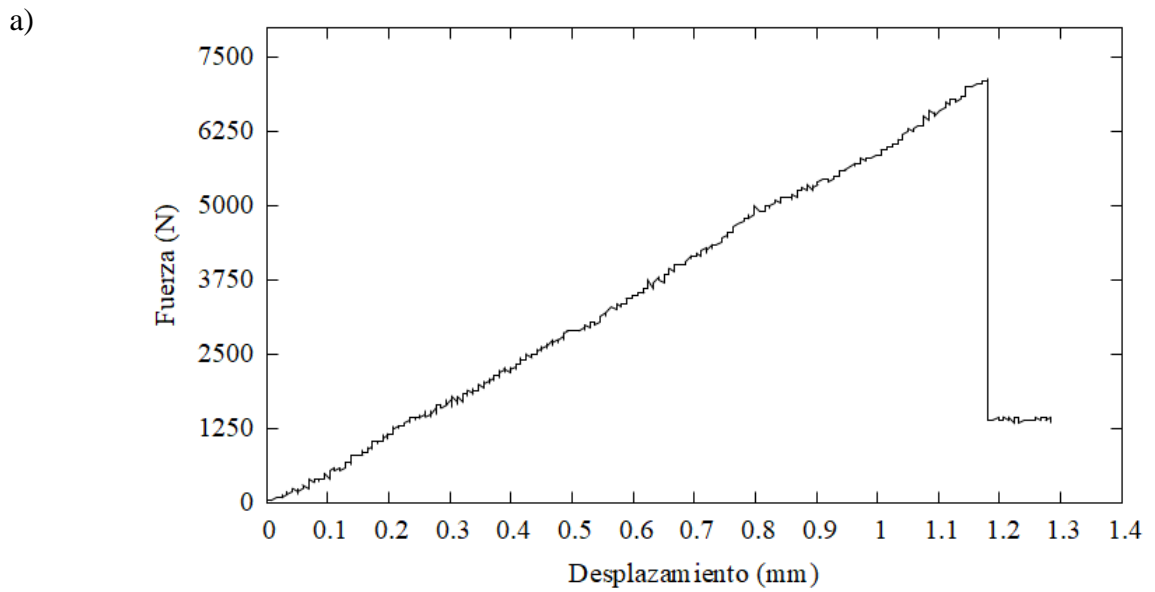


Figura 26. a) Gráfica Fuerza vs Desplazamiento b) Gráfica Esfuerzo vs Alargamiento c) Tipo de falla Adhesiva A36-FCU-LR-08

3.1.3. Análisis de resultados.

Con los resultados obtenidos, en la Tabla 55 se resume los valores de rugosidad promedio, la fuerza máxima y el esfuerzo cortante máximo.

Tabla 55. Resumen de resultados obtenidos

Probeta	Rugosidad promedio (μm)	Variacion respecto a la media	Fuerza Maxima (N)	Variacion respecto a la media	Esfuerzo cortante Max. (Mpa)	Variacion respecto a la media
Limpieza con Cinta abrasiva						
A36_FCU_CA_01	10,094	-0,458	8700	437,5	10,78	1,17375
A36_FCU_CA_02	12,872	2,32	7550	-712,5	8,35	-1,25625
A36_FCU_CA_03	13,272	2,72	11400	3137,5	13,12	3,51375
A36_FCU_CA_04	9,075	-1,477	7550	-712,5	8,7	-0,90625
A36_FCU_CA_05	10,49	-0,062	5900	-2362,5	6,77	-2,83625
A36_FCU_CA_06	9,883	-0,669	8800	537,5	10,13	0,52375
A36_FCU_CA_07	9,96	-0,592	8550	287,5	10,01	0,40375
A36_FCU_CA_08	8,77	-1,782	7650	-612,5	8,99	-0,61625
Numero de datos	8					
Promedio	10,552		8262,5		9,60625	
Varianza	2,736		2482678,57		3,569	
Desviacion estandar	1,654		1.575,652		1,889	
Limpieza con Lijadora Recta						
A36_FCU_LR_01	1,528	0,2123	5850	-822,5	7,07	-0,72125
A36_FCU_LR_02	1,1292	-0,1861	5780	-892,5	6,68	-1,11125
A36_FCU_LR_03	1,0368	-0,2785	4900	-1772,5	5,5	-2,29125
A36_FCU_LR_04	1,3984	0,0831	8850	2177,5	10,97	3,17875
A36_FCU_LR_05	1,2482	-0,0671	6900	227,5	7,94	0,14875
A36_FCU_LR_06	1,5688	0,2535	6550	-122,5	7,59	-0,20125
A36_FCU_LR_07	1,544	0,2287	7400	727,5	8,34	0,54875
A36_FCU_LR_08	1,0694	-0,2459	7150	477,5	8,24	0,44875
Numero de datos	8					
Promedio	1,315		6672,5		7,79125	
Varianza	0,049		1454335,714		2,525	
Desviacion estandar	0,222		1205,958421		1,589001821	

En base a la Tabla mostrada podemos concluir lo siguiente:

- Con base a los resultados obtenidos para la rugosidad, fuerza máxima y esfuerzo cortante máximo, el método de limpieza superficial con lijadora recta tiene mayor homogeneidad y cercanía al valor promedio

De esta Tabla, graficamos la distribución normal de datos en una campana de Gauss. Cada una de las Figuras que se muestran a continuación representa la variabilidad de la información en cada parámetro medido.

Limpieza con disco de cerdas de acero				
	Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo
Rugosidad	10,552	1,654	13,272	8,770

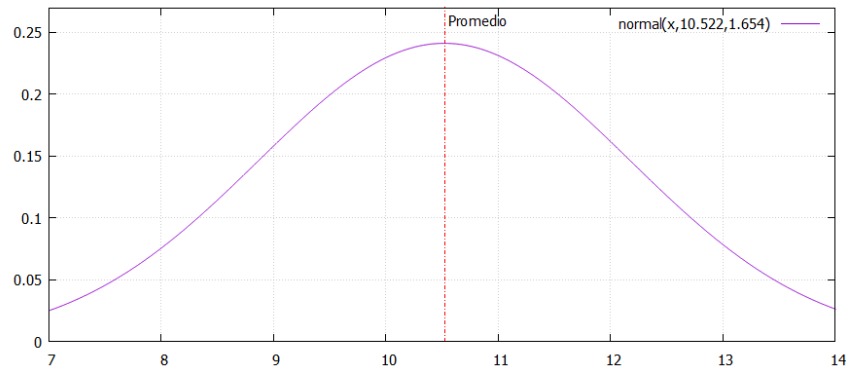


Figura 27. Distribución Normal de la rugosidad obtenida mediante el proceso de limpieza con disco de cerdas de acero.

Limpieza con lijadora rectangular				
	Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo
Rugosidad	1,315	0,222	1,568	1,037

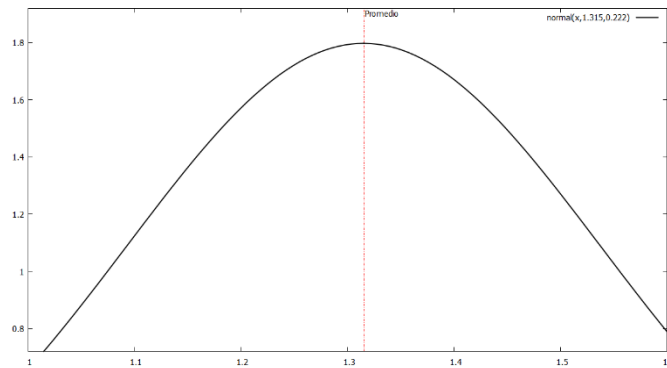


Figura 28. Distribución Normal de la rugosidad obtenida mediante el proceso de limpieza con lijadora recta.

Limpieza con disco de cerdas de acero				
	Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo
Fuerza Máxima	8262,50	1575,65	11400	5900

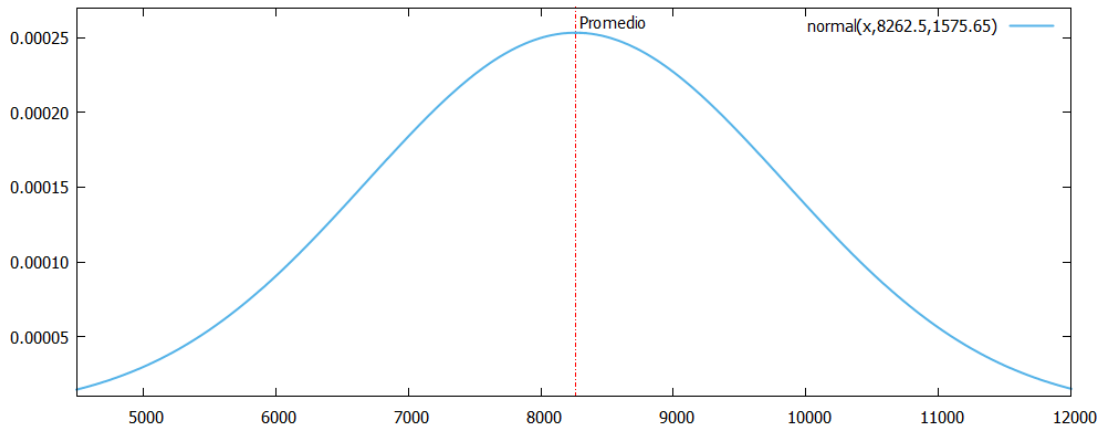


Figura 29. Distribución Normal de la fuerza máxima obtenida mediante el proceso de limpieza con disco de cerdas de acero.

Limpieza con lijadora rectangular				
	Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo
Fuerza Máxima	6672,5	1205,95	8850	4900

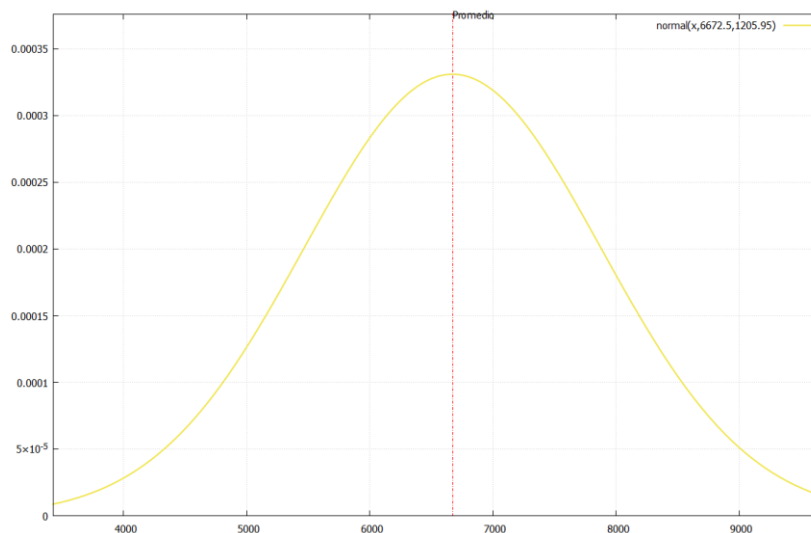


Figura 30. Distribución Normal de la fuerza máxima obtenida mediante el proceso de limpieza con lijadora rectangular.

Limpieza con disco de cerdas de acero				
	Promedio	Desviación	Máximo	Mínimo
Esfuerzo Max. Corte	9,61	1,89	13	7

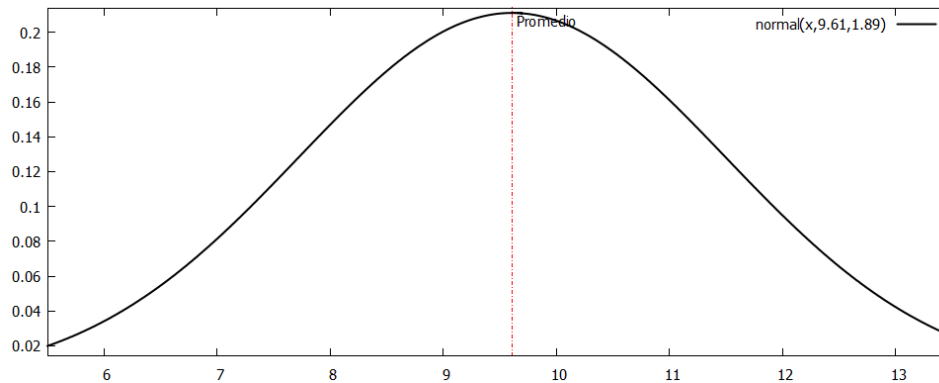


Figura 31. Distribución Normal del esfuerzo máximo de corte obtenido mediante el proceso de limpieza con disco de cerdas de acero.

Limpieza con lijadora rectangular				
	Promedio	Desviacion	Maximo	Mínimo
Esfuerzo Max. Corte	7,79	1,59	10,97	6,68

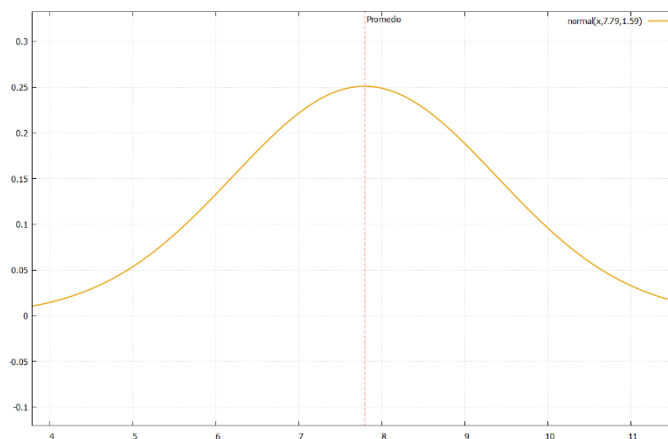


Figura 32. Distribución Normal del esfuerzo máximo de corte obtenido mediante el proceso de limpieza con lijadora rectangular.

En base a estos resultados, para la verificación de hipótesis, utilizaremos los valores obtenidos mediante el uso de Disco de cerdas de acero, debido a que tiene coeficientes que se acercan más a los obtenidos mediante sandblasting.

3.2 Verificación de hipótesis

Para el presente estudio se va a utilizar la **prueba t de Student para grupos independientes del mismo tamaño**. Se aplicó el procedimiento descrito en la fundamentación teórica, específicamente en la sección ‘Herramientas para validar la hipótesis’.

Definimos las hipótesis nula y alternativa orientadas en los resultados obtenidos de rugosidad.

H₀= La limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativos genera una superficie con similar rugosidad que la obtenida mediante sandblasting.

H₁= La limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativos no genera una superficie con similar rugosidad que la obtenida mediante sandblasting.

En la siguiente Tabla 56, se desarrollan los cálculos necesarios para determinar el valor t.

Tabla 56. Determinación del valor t calculado para rugosidad

	RUGOSIDAD			
	SANDBLASTING	x_1^2	DISCO DE C.A	x_2^2
1	11,2	125,440	10,094	101,889
2	10,23	104,653	12,872	165,688
3	12,85	165,123	13,272	176,146
4	11,33	128,369	9,075	82,356
5	9,43	88,925	10,49	110,040
6	10,1	102,010	9,883	97,674
7	10,72	114,918	9,96	99,202
8	10,44	108,994	8,77	76,913
Sumatoria		938,431		909,907
Promedio	10,788		10,552	
Desviación estándar		0,966		1,547
Error estándar		0,365		0,585

Tabla 56. Determinación del valor t calculado para rugosidad (continuación)

Error estándar diferencia	0,689
t	0,342
Grados de libertad	14
Nivel de significancia	5%
Valor crítico en Tablas	2,145

Comparamos los valores de t

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$

$$0,342 \leq 2,145$$

Conclusión: Acepto la hipótesis nula, es decir, la limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativo genera una superficie con similar rugosidad que la obtenida mediante sandblasting.

Continuamos evaluando la fuerza máxima obtenida en la unión adhesiva de estos dos procesos.

H₀= La limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativos genera una superficie que soporta una fuerza máxima similar a la obtenida mediante sandblasting.

H₁= La limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativos no genera una superficie que soporta una fuerza máxima similar a la obtenida mediante sandblasting.

En la siguiente Tabla 57, se desarrollan los cálculos necesarios para determinar el valor t.

Tabla 57. Determinación del valor t calculado para la fuerza máxima

	FUERZA MAXIMA			
	SANDBLASTING	x_1^2	DISCO DE C.A	x_2^2
1	8450	71402500	8700	75690000
2	7850	61622500	7550	57002500
3	8650	74822500	11400	129960000
4	9100	82810000	7550	57002500
5	10800	116640000	5900	34810000
6	11700	136890000	8800	77440000
7	9250	85562500	8550	73102500
8	9400	88360000	7650	58522500
Sumatoria		718110000		563530000
Promedio	9400,000		8262,500	
Desviacion estándar	1184,800		1473,887	
Error estandar	447,812		557,077	

Error estándar diferencia	714,752
t	1,591
Grados de libertad	14
Nivel de significancia	5%
Valor crítico en Tablas	2,145

Comparamos los valores de t

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$

$$1.591 \leq 2.145$$

Conclusión: Acepto la hipótesis nula, es decir, la limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativos genera una superficie que soporta una fuerza máxima similar a la obtenida mediante sandblasting.

Finalmente, examinamos la hipótesis con respecto al máximo esfuerzo cortante obtenido durante el ensayo ASTM D1002.

Ho= La limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativos genera una superficie que soporta un esfuerzo cortante similar a la obtenida mediante sandblasting.

H1= La limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativo no genera una superficie que soporta un esfuerzo cortante a la obtenida mediante sandblasting.

En la siguiente Tabla 58, se desarrollan los cálculos necesarios para determinar el valor t.

Tabla 58. Determinación del valor t calculado para el esfuerzo cortante máximo.

	ESFUERZO CORTANTE MAX.			
	SANDBLASTING	x_1^2	DISCO DE C.A	x_2^2
1	10,03	100,601	10,780	116,208
2	8,68	75,342	8,35	69,723
3	9,58	91,776	13,12	172,134
4	10,35	107,123	8,7	75,690
5	11,57	133,865	6,77	45,833
6	12,79	163,584	10,13	102,617
7	10,52	110,670	10,01	100,200
8	10,65	113,423	8,99	80,820
Sumatoria		896,384		763,225
Promedio	10,521		9,606	
Desviacion estándar	1,162		1,767	
Error estandar	0,439		0,668	

Error estándar diferencia	0,800
t	1,144
Grados de libertad	14
Nivel de significancia	5%
Valor crítico en Tablas	2,145

Comparamos los valores de t

$$t_{cal} \geq t_{tab}$$

$$1.144 \leq 2.145$$

Conclusión: Acepto la hipótesis nula, es decir, la limpieza superficial mediante el uso de métodos alternativos genera una superficie que soporta un esfuerzo cortante similar a la obtenida mediante sandblasting

Finalmente, se presenta una gráfica caja y bigotes enfocada en comparar los resultados obtenidos en el presente trabajo experimental con los reflejados con los procesos de limpieza manual y sandblasting, según la referencia [22]. En la Figura 35 – 37, se contrastan los resultados de rugosidad, fuerza máxima y esfuerzo cortante máximo.

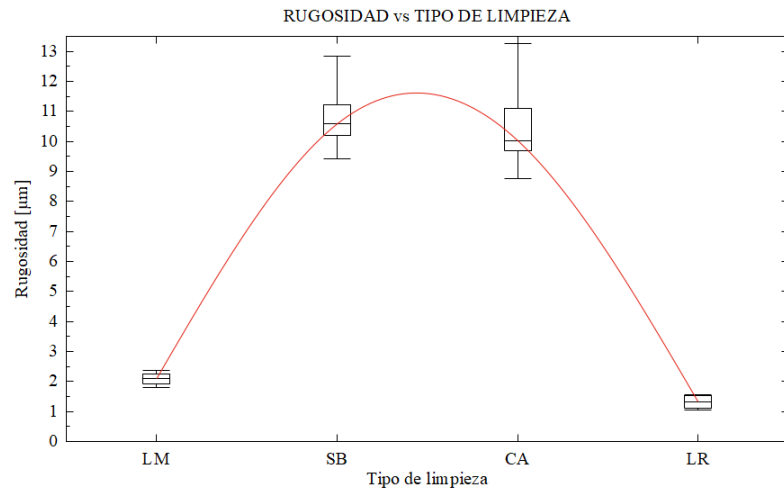


Figura 33. Diagrama caja y bigotes de los resultados de rugosidad con los métodos de limpieza manual, sandblasting, disco de cerdas de acero y lijadora rectangular

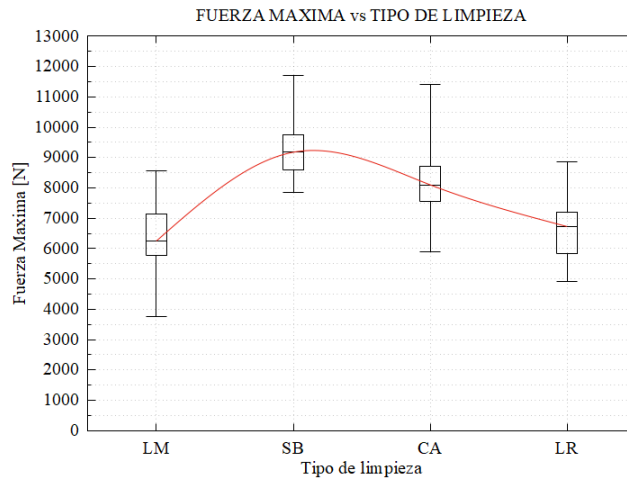


Figura 34. Diagrama caja y bigotes de los resultados de fuerza máxima con los métodos de limpieza manual, sandblasting, disco de cerdas de acero y lijadora rectangular

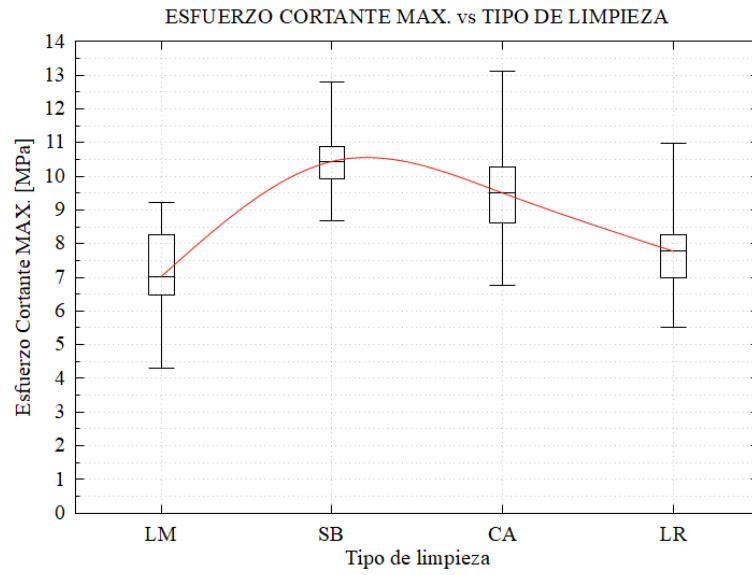


Figura 35. Diagrama caja y bigotes de los resultados de esfuerzo cortante máximo con los métodos de limpieza manual, sandblasting, disco de cerdas de acero y lijadora rectangular

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se concluye que el tratamiento superficial mediante el uso de lijadora rectangular equipada con una lija de grado 30 es un método poco efectivo en la generación de un coeficiente de rugosidad similar al obtenido mediante sandblasting, además de reflejar un bajo promedio en la fuerza y esfuerzo cortante máximo soportados durante el ensayo ASTM D1002.
- Se llega a la conclusión que los valores obtenidos de rugosidad mediante el uso de lijadora rectangular tienen una mayor homogeneidad y cercanía al valor promedio, debido al coeficiente de desviación estándar.
- La limpieza superficial que utilizó el disco de cerdas de acero obtuvo los mejores resultados de rugosidad, en promedio 10,552 micrómetros y resistencia máxima al esfuerzo cortante de 9,61 MPa en promedio, lo que demuestra la relación directamente proporcional que existe entre estas dos variables. Además, en su mayoría los modos de fallos en la unión han sido adhesivos en las probetas tratadas con el disco de cerdas de acero, sin embargo, las sometidas a la limpieza con lijadora rectangular tuvieron un fallo adhesivo mixto.
- Mediante la aplicación de una prueba estadística t de student, se infiere que no existe una diferencia significativa entre los valores de rugosidad, fuerza máxima y esfuerzo cortante entre la limpieza superficial mediante disco de cerdas de acero y sandblasting. Por lo que, este proceso genera resultados similares con un bajo costo y un reducido riesgo respiratorio.
- Se concluye que la lijadora rectangular con lija de grado 30 ha tenido uno de los mejores resultados al compararlos con los procesos de limpieza manual, limpieza con disco de lijas y limpieza con disco de desbaste, obteniendo una rugosidad promedio de 1,315 micrómetros y un esfuerzo cortante promedio de 7,79 MPa

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda utilizar el método de limpieza con disco de cerdas de acero en el tratamiento superficial de vigas metálicas de alma llena para comprobar el mejoramiento de la resistencia del elemento a las cargas cíclicas aplicadas y la reducción en la deflexión.
- Se recomienda utilizar el set eléctrico o neumático de disco de cerdas de acero para lograr un resultado superficial óptimo, asegurándose de adoptar las mismas medidas de seguridad que con cualquier herramienta eléctrica manual.
- Se recomienda realizar un trabajo técnico enfocado en el diseño y construcción de un adaptador universal de cinta abrasivo, con la capacidad de instalarse en amoladoras, con el fin de reducir el costo de operación.

MATERIALES DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] L. Li, M. Mahmoodian, y C. Q. Li, “Effect of corrosion on mechanical properties of steel bridge elements”, en *Maintenance, Safety, Risk, Management and Life-Cycle Performance of Bridges - Proceedings of the 9th International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management, IABMAS 2018*, 2018. doi: 10.1201/9781315189390-243.
- [2] M. Farshad, “Fatigue, corrosion, and wear”, *Plastic Pipe Systems*, pp. 153–165, ene. 2006, doi: 10.1016/B978-185617496-1/50008-2.
- [3] J.-Y. Collot, V. Sallares, y N. Pazmiño, *Geología Y Geofísica Marina Y Terrestre Del Ecuador*. 2009.
- [4] C. Pöhler, E. V. Bachtar, L. Yan, y B. Kasal, “Composites for structural strengthening, repair, rehabilitation, and retrofit”, *Composite Materials: Manufacturing, Properties and Applications*, pp. 205–226, ene. 2021, doi: 10.1016/B978-0-12-820512-9.00005-8.
- [5] J. G. Teng, T. Yu, y D. Fernando, “Strengthening of steel structures with fiber-reinforced polymer composites”, *J Constr Steel Res*, vol. 78, pp. 131–143, nov. 2012, doi: 10.1016/J.JCSR.2012.06.011.
- [6] L. C. Hollaway y J. G. Teng, *Strengthening and rehabilitation of civil infrastructures using fibre-reinforced polymer (FRP) composites*. Elsevier Ltd., 2008. doi: 10.1533/9781845694890.
- [7] E. D. Romero Barragan y F. Jimenez Salinas, “ESTUDIO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL MEDIANTE PLATINAS PARA VIVIENDAS DE TIPO RESIDENCIAL DE URBANIZACIÓN EN UPZ N°57 GRAN YOMASA”, UNIVERSIDAD CATOLICA DE COLOMBIA , Bogota.
- [8] X. L. Zhao y L. Zhang, “State-of-the-art review on FRP strengthened steel structures”, *Eng Struct*, vol. 29, núm. 8, pp. 1808–1823, ago. 2007, doi: 10.1016/J.ENGSTRUCT.2006.10.006.
- [9] M. Zhou, D. Yang, M. F. Hassanein, J. Zhang, y L. An, “Failure analysis of high-strength bolts in steel truss bridges”, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*, vol. 170, núm. 4, pp. 175–179, nov. 2017, doi: 10.1680/JCIEN.16.00037.

- [10] H. J. Chiel *et al.*, “Technical aspects of using composite materials for strengthening constructions”, *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 365, núm. 3, p. 032053, jun. 2018, doi: 10.1088/1757-899X/365/3/032053.
- [11] M. S. (MISS) PARDESHI y P. U. (PROF) DESHPANDE, “Repair, Restoration And Strengthening Of Building”, *International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology*, vol. 4, núm. 3, pp. 1–4, 2017, Consultado: el 21 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.neliti.com/publications/427221/>
- [12] T. W. Siwowski y P. Siwowska, “Experimental study on CFRP-strengthened steel beams”, *Compos B Eng*, vol. 149, pp. 12–21, sep. 2018, doi: 10.1016/J.COMPOSITESB.2018.04.060.
- [13] A. K. Y. Hii y R. Al-Mahaidi, “An experimental and numerical investigation on torsional strengthening of solid and box-section RC beams using CFRP laminates”, *Compos Struct*, vol. 75, núm. 1–4, pp. 213–221, sep. 2006, doi: 10.1016/J.COMPSTRUCT.2006.04.050.
- [14] Y. Z. Zheng, W. W. Wang, K. M. Mosalam, Q. Fang, L. Chen, y Z. F. Zhu, “Experimental investigation and numerical analysis of RC beams shear strengthened with FRP/ECC composite layer”, *Compos Struct*, vol. 246, p. 112436, ago. 2020, doi: 10.1016/J.COMPSTRUCT.2020.112436.
- [15] I. Mansoori, “REHABILITATION OF REINFORCED CONCRETE HAUNCHED BEAM WITH CARBON FIBER REINFORCED POLYMER (CFRP) STRIPS”, Gaziantep University, 2017. Consultado: el 24 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/315836636_REHABILITATION_OF_REINFORCED_CONCRETE_HAUNCHED_BEAM_WITH_CARBON_FIBER_REINFORCED_POLYMER_CFRP_STRIPS
- [16] Ing. Francisco Agustín Peña Jordán y Ing. José Luis Yunapanta Velasteguí, “PROPUESTA DE REFORZAMIENTO DE VIGAS DE ALMA LLENA DE PUENTES METÁLICOS CON FIBRA DE CARBONO Y RESINA EPÓXICA”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022.
- [17] M. H. Staia *et al.*, “Effect of substrate roughness induced by grit blasting upon adhesion of WC-17% Co thermal sprayed coatings”, *Thin Solid Films*, vol. 377–378, pp. 657–664, dic. 2000, doi: 10.1016/S0040-6090(00)01447-4.
- [18] A. Rudawska, *Assessment of surface preparation for the bonding/adhesive technology*. Academic Press, 2019. doi: 10.1016/B978-0-12-817010-6.00009-6.

- [19] J. Li, Y. Li, M. Huang, Y. Xiang, y Y. Liao, “Improvement of aluminum lithium alloy adhesion performance based on sandblasting techniques”, *Int J Adhes Adhes*, vol. 84, pp. 307–316, ago. 2018, doi: 10.1016/J.IJADHADH.2018.04.007.
- [20] Q. Wang, S. Kainuma, S. Zhuang, K. Shimizu, y M. Haraguchi, “Laser cleaning on severely corroded steel members: Engineering attempt and cleanliness assessment”, *J Clean Prod*, vol. 376, p. 134224, nov. 2022, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2022.134224.
- [21] K. A. Tan, Y. Mohan, K. J. Liew, S. H. Chong, y P. E. Poh, “Development of an effective cleaning method for metallic parts using microbubbles”, *J Clean Prod*, vol. 261, p. 121076, jul. 2020, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2020.121076.
- [22] Carlos Daniel Guerra Chiquito y Luis Giovanni Tigmasa Paredes, “Análisis de la resistencia de la junta traslapada simple, entre el acero estructural, resina epóxica y fibra de carbono unidireccional, utilizado para reforzamiento de vigas de acero”, Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2022. Consultado: el 7 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/36491>
- [23] H. Salazar y M. Huayamave, “Diseño de un modelo de gestión de procesos para el mejoramiento de la productividad y calidad aplicado al proceso de montaje de estructuras metalmecánicas de una compañía en la ciudad de Guayaquil.”, 2013. Consultado: el 26 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/24363>
- [24] J. C. Zabala y J. Guamán, “Mundo Constructor | Balance de las ventas del sector de la construcción (edificaciones y obras de construcción) al primer semestre de 2022”. <https://mundoconstructor.com.ec/noticias/cifras-del-sector/balance-de-las-ventas-del-sector-de-la-construccion-edificaciones-y-obras-de-construccion-al-primer-semester-de-2022> (consultado el 26 de octubre de 2022).
- [25] “FICHA SECTORIAL: FABRICACIÓN DE ESTRUCTURAS METÁLICAS Y SUS PARTES GDPS-SUBG. DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS”, 2020.
- [26] “Estadísticas de Edificaciones (ESED)”, oct. 2022. Consultado: el 26 de octubre de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2022/Trimestral_II/2.%202022_ESED_Principales_resultados_IIT.pdf

- [27] H. Kuwamura, “Fracture of steel during an earthquake—state-of-the-art in Japan”, *Eng Struct*, vol. 20, núm. 4–6, pp. 310–322, abr. 1998, doi: 10.1016/S0141-0296(97)00030-8.
- [28] M. Moncayo Theurer, J. Rodríguez, Alcivar, Lopez, Soriano, y Villacis, “Las fibras de carbono como una alternativa para reforzamiento de estructuras”, *Ingenieria*, vol. 20, 2016.
- [29] L. Tu y D. Kruger, “Engineering Properties of Epoxy Resins Used as Concrete Adhesives”, *Materials Journal*, vol. 93, núm. 1, pp. 26–35, ene. 1996, doi: 10.14359/9793.
- [30] D. Torrejón, M. Tutor, M. Ángel, y M. Casanova, “Estudio de la adhesión en la rugosidad del aluminio”, Universidad Carlos III de Madrid, 2013. Consultado: el 22 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/17997>
- [31] R. Fernando y D. Cruz, “Diseño y construcción del sistema de aire comprimido, y reutilización de una estación de sandblasting para la limpieza de tuberías en la empresa INCOAYAM CIA. LTDA.”, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolqui, 2013.
- [32] E. Sarabia Lugo, “ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS DEL PROCESO DE SANDBLAST SOBRE ACABADO SUPERFICIAL DE PLACAS METÁLICAS DE ACERO AISI 1018. CASO DE ESTUDIO: CONSTRUCCIONES INDUSTRIALES TAPIA”, Hidalgo, 2017.
- [33] J. A. Muñoz Leal, “PROPUESTA PARA ELABORAR UNA GUIA DE SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL AL EJECUTAR EL PROCESO DE SANDBLASTING POR OPERARIOS EN LA EMPRESA HALLIBURTON BASE YOPAL”, UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA UNAD ESCUELAS DE CIENCIAS BASICAS, TECNOLOGIA E INGENIERÍA INGENIERIA INDUSTRIAL, 2016.
- [34] “SICE - Comunidad Andina - Decisión 584”, el 7 de mayo de 2004. <http://www.sice.oas.org/trade/junac/decisiones/dec584s.asp> (consultado el 22 de noviembre de 2022).
- [35] “Reglamento del Seguro General de Riesgos del Trabajo. Resolución No. C.D. 513”. 2016. Consultado: el 24 de noviembre de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.iess.gob.ec/documents/10162/33703/C.D.+513>

- [36] J. D. C. J. Morales, I. D. R. Manjarrez, E. M. G. Bustamante, y C. A. S. Sierra, “Salud y riesgos laborales por el manejo de sílice en el proceso de sandblasting.”, *Ciencia y Salud Virtual*, vol. 7, núm. 1, pp. 45–58, jun. 2015, doi: 10.22519/21455333.468.
- [37] “Seguridad: Riesgos Profesionales en el Sand Blasting - FerrePro”, *Notas*, el 1 de noviembre de 2017. <http://ferrepro.mx/seguridad-riesgos-profesionales-en-el-sand-blasting/> (consultado el 22 de noviembre de 2022).
- [38] A. Y. Combita Combita, “Diseño del Sistema de Gestión Ambiental para el proceso industrial Sandblasting, en la empresa SEMITEC S.A.S en el municipio de Nobsa – Boyacá”, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, 2018.
- [39] M. P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*. Mc Graw Hill, 2007.
- [40] M. Iqbal *et al.*, “The effect of sandblasting on AISI 316L stainless steels”, *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, vol. 2, 2011.
- [41] Y. R. Gutierrez Avila y K. F. Lopez Plata, “ESTUDIO DE RUGOSIDAD EN MAQUINADO POR EL PROCESO DE TORNEADO EN CLIMET LTDA. BASADO EN LAS NORMAS ISO DE RUGOSIDAD ”, Universidad Autónoma del Caribe, Baranquilla, 2014. Consultado: el 3 de febrero de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uac.edu.co/bitstream/handle/1/781/TMEC%201115.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- [42] F. X. Pilaquina Cantuña y R. A. Villarreal Jiménez, “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA LA PERFORACIÓN MÚLTIPLE DE PIEZAS EN SERIE QUE PERMITA MEJORAR LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN EL ÁREA DE NEUMÁTICA Y CONTROL”, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL , Quito, 2010.
- [43] “Unidad Temática N° 6: ESMERILADO Y RECTIFICADO”, Buenos Aires.
- [44] M. Kuntoğlu, A. Aslan, H. Sağlam, D. Y. Pimenov, K. Giasin, y T. Mikolajczyk, “Optimization and Analysis of Surface Roughness, Flank Wear and 5 Different Sensorial Data via Tool Condition Monitoring System in Turning of AISI 5140”, *Sensors 2020, Vol. 20, Page 4377*, vol. 20, núm. 16, p. 4377, ago. 2020, doi: 10.3390/S20164377.
- [45] “¿Qué es la Tribología? | GGB”. <https://www.ggbearings.com/es/tribou/tribologia> (consultado el 27 de marzo de 2023).

- [46] M. A. Gómez Botero, “CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES TRIBOLÓGICAS DE LOS RECUBRIMIENTOS DUROS”, Universitat de Barcelona, Barcelona, 2005.
- [47] G. P. Petropoulos, C. N. Pandazaras, y J. P. Davim, “Surface texture characterization and evaluation related to machining”, *Surface Integrity in Machining*, pp. 37–66, 2010, doi: 10.1007/978-1-84882-874-2_2.
- [48] ASME, *Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay) ASME B46.1-2019*. 2019.
- [49] Moisés Hinojosa Rivera y Martín Edgar Reyes Melo, “La rugosidad de las superficies: Topometría”, *ASM Handbook*, vol. 16, jul. 2001, Consultado: el 2 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/279751735_La_rugosidad_de_las_superficies_Topometria
- [50] G. P. Petropoulos, C. N. Pandazaras, y J. P. Davim, “Surface texture characterization and evaluation related to machining”, *Surface Integrity in Machining*, pp. 37–66, 2010, doi: 10.1007/978-1-84882-874-2_2.
- [51] “Set de 30 Muestras de Rugosidad”.
<https://twilight.mx/instrumentos/rugosímetros/50/741/rb-set130-rugosímetros.html> (consultado el 18 de enero de 2023).
- [52] “Rugosímetros de precisión TESA HOMMEL-WERKE ...:Tecnimetal:...”
<https://www.tecnimetal.com/rugosímetros.htm> (consultado el 18 de enero de 2023).
- [53] O. F. Rodríguez, “Máquinas, Métodos y Control Dimensional del Procesamiento”, *Referencia a curso del Instituto de Actualización Empresarial (IAEA)*, 2007.
- [54] ISO, “ISO1302: Geometrical Product Specifications (GPS) -- Indication of surface texture in technical product documentation”, *Iso*, 2002.
- [55] M. Madrid, “TECNOLOGÍA DE LA ADHESIÓN”.
- [56] “Introducción. Diseño de uniones adhesivas”.
- [57] J. A. Von Fraunhofer, “Adhesion and cohesion”, *International Journal of Dentistry*. 2012. doi: 10.1155/2012/951324.
- [58] M. P. Lempke, “A STUDY OF SINGLE-LAP JOINTS”, 2013.

- [59] P. M. D. Carvalho, R. D. S. G. Campilho, I. J. Sánchez-Arce, R. J. B. Rocha, y A. R. F. Soares, “Adhesively-bonded T-joint cohesive zone analysis using dual-adhesives”, *Procedia Structural Integrity*, vol. 41, núm. C, pp. 24–35, 2022, doi: 10.1016/J.PROSTR.2022.05.005.
- [60] F. Liesa y L. Bilurbina Alter, *Adhesivos Industriales*. Marcombo. Consultado: el 26 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=Dz6iVjqF80wC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>
- [61] D. Torrejón, M. Tutor, M. Ángel, y M. Casanova, “Estudio de la adhesión en la rugosidad del aluminio”, jul. 2013, Consultado: el 26 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/17997>
- [62] F. Sanchez Matran, “UNIONES ADHESIVAS Y SUS APLICACIONES NAVALES”, feb. 2010.
- [63] E. Flores-Ruiz, M. G. Miranda-Navales, y M. Á. Villasís-Keever, “The research protocol VI: How to choose the appropriate statistical test. Inferential statistics”, *Rev Alerg Mex*, vol. 64, núm. 3, 2017, doi: 10.29262/ram.v64i3.304.
- [64] G. Gamarra Astuhuaman, F. Wong Cabanillas, O. E. Pujay Cristobal, y T. A. Rivera Espinoza, *ESTADÍSTICA E INVESTIGACIÓN CON APLICACIONES DE SPSS*. 2015. Consultado: el 29 de marzo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://librodigital.sangregorio.edu.ec/librosusgp/B0031.pdf>
- [65] S. M. Espin Lagos, *INGENIERÍA DE MATERIALES*, 1a ed., vol. 1. PIO XII, 2019. Consultado: el 11 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dokumen.tips/engineering/ingenieria-de-materiales-ing-segundo-espin-uta.html?page=1>
- [66] F. Belzunce, “ACEROS Y FUNDICIONES: ESTRUCTURAS, TRANSFORMACIONES, TRATAMIENTOS TERMICOS y APLICACIONES”, 2001. Consultado: el 11 de enero de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://aceroplatea.es/docs/documento138.pdf>
- [67] L. Zamudio Miechielsen, *Manual de diseño para la construcción con acero*. Mexico, 2013.
- [68] “ASTM A36 Steel, plate”. <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=afc003f4fb40465fa3df05129f0e88e6> (consultado el 29 de marzo de 2023).

- [69] Sika, “Sikadur-30 Adhesivo epoxi tixotrópico para pegado de refuerzos.” mayo de 2019.
- [70] Sika, “Sika CarboDur S 512 Lámina de fibra de carbono para refuerzo estructural”, *Hoja técnica de producto*. el 18 de febrero de 2015.
- [71] J. Conesa Guillén, “Introducción. Diseño de uniones adhesivas ”, España, 2008.
- [72] T. Specimens, “Standard Test Method for Fatigue Properties of Adhesives in Shear by Tension Loading (Metal/Metal)”, *Current*, vol. 15, 1999.
- [73] “Sika CarboDur-Sikadur 30 HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO SISTEMA DE REFORZAMIENTO CON PLATINAS CFRP DE ALTO DESEMPEÑO DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO”.
- [74] “BRISTLE BLASTER ® ELECTRIC DOUBLE”.
- [75] S. Sau y B. Jimenez, “PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN Sistema Sika CarboDur®”.

