

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Propiedades mecánicas y características microestructurales de los dispositivos del sistema perno-resina en la fortificación de labores mineras

Línea de Investigación:

Ingeniería de la construcción, Ingeniería urbana, Ingeniería estructural

Sub línea de investigación:

Estructuras y materiales

Autores:

La Rosa Villar, José Roberto

Meza Vargas, Christian Albert

Jurado Evaluador:

Presidente: Gálvez Paredes, José Alcides

Secretario: Chuquilin Delgado, María Florencia

Vocal: Panduro Alvarado, Elka

Asesor:

Merino Martínez, Marcelo Edmundo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4733-4959>

Trujillo-Perú

2023

Fecha de sustentación: 13/04/2023

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERIA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Propiedades mecánicas y características microestructurales de los dispositivos del sistema perno-resina en la fortificación de labores mineras

Línea de Investigación:

Ingeniería de la construcción, Ingeniería urbana, Ingeniería estructural

Sub línea de investigación:

Estructuras y materiales

Autores:

La Rosa Villar, José Roberto

Meza Vargas, Christian Albert

Jurado Evaluador:

Presidente: Gálvez Paredes, José Alcides

Secretario: Chuquilin Delgado, María Florencia

Vocal: Panduro Alvarado, Elka

Asesor:

Merino Martínez, Marcelo Edmundo

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4733-4959>

Trujillo-Perú

2023

Fecha de sustentación: 13/04/2023

DEDICATORIA

En primer lugar, la presente investigación es dirigida a Dios, ya que gracias a su bendición hoy en día estoy en vísperas de lograr la meta en mi vida, por transmitirme perseverancia y fuerza para no permitir que me rinda en el camino.

Mi tesis de forma muy especial se lo dedico a mis padres José Luis La Rosa Carua y Luz Elena Villar Cabanillas, ya que gracias a su comprensión y cariño me inculcaron muy buenos valores desde niño, que hoy en día me permite cumplir unas de mis metas; es grato mencionar que ambos son mis pilares en mi vida.

A mis hermanos Milagros Janeth La Rosa Villar y Martin Alonso La Rosa Villar porque siempre pude contar con su apoyo a través de las diferentes circunstancias que afrontamos juntos, por sus palabras de aliento y sobre todo por los grandes consejos que recibí de ellos a diario.

Dedicado a mi familia, que siempre estuvieron brindando su apoyo incondicional, cariño y motivación en los diferentes momentos de mi etapa estudiantil.

Br. La Rosa Villar, José Roberto

DEDICATORIA

Mi eterno agradecimiento a Jesús, por ser la luz de mi vida, por hacerme de una persona de bien y darme fuerzas para salir adelante en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis queridos padres, Francisco de Asís, Meza Rivas y Elizabeth, Vargas Llanos, por el apoyo incondicional, sus consejos permanentes durante todo mi vida y formación profesional. Gracias por todo, los amo con el alma.

A mis amadas tías Rosa Meza Rivas y Susana Meza Rivas, a quienes las considero como mis segundas madres, siempre guiándome y dándome la fortaleza en los momentos más difíciles. Gracias por su apoyo.

A mi querida tía Nelva Vargas Llanos, que, a pesar de estar al otro lado del mundo, siempre me tiene en sus pensamientos y se preocupa por mí. Gracias por su cariño.

A mis Primos, Tíos, Sobrinos y Amigos, Gracias por todo su apoyo.

Br. Meza Vargas, Christian Albert

AGRADECIMIENTO

A Dios:

Muchas gracias a Dios por guiarnos en el camino del bien y gozar de buena salud, para lograr terminar esta etapa importante en nuestras vidas.

A nuestros padres, ya que siempre nos dieron su confianza y estuvieron apoyándonos en los momentos más difíciles de nuestra vida.

A nuestros espléndidos docentes gracias por su entrega y perseverancia para orientarnos profesionalmente.

RESUMEN

El actual trabajo de investigación tiene el objetivo principal de determinar las características microestructurales, propiedades mecánicas de compresión, tracción del acero, resina y del sistema resina-acero de aplicación en fortificación minera.

En el primer capítulo, se precisa la definición del problema que se muestra en la Fortificación minera, ya que es una actividad importante y constituye el pilar de la construcción subterránea, así como de la seguridad, asimismo formulamos los objetivos; tanto general como específicos y la justificación del actual trabajo de investigación.

En el segundo capítulo, se detalla una descripción de antecedentes internacionales, nacionales y locales, especificamos el marco teórico, marco conceptual, vinculadas al actual de trabajo de investigación, además contemplamos la hipótesis.

En el tercer capítulo, se precisa el tipo de investigación que figura en la actual tesis, además la línea de investigación al cual está dirigida, se presenta la variable dependiente e independiente, y por último se hace referencia a las técnicas e instrumentos de recolección de datos, por lo cual nos dirige a los procedimientos de los ensayos y normas empleadas.

En el cuarto y quinto capítulo se describe el análisis de interpretación de resultados en los ensayos, docimasia de hipótesis y anexos (datos de los ensayos).

Palabras clave: *resina Carbothix 2 Estándar, propiedades mecánicas, microestructura, ensayo de tracción, ensayo de compresión, ensayo de dureza. metalografía, prueba estadística t student, prueba estadística Anova.*

ABSTRACT

The current research work has the main objective of determining the microstructural characteristics, mechanical properties of compression, traction of steel, resin and the resin-steel system for application in mining fortification.

In the first chapter, the definition of the problem that is shown in the Mining fortification, since it is an important activity and constitutes the pillar of underground construction, as well as security, we also formulated the objectives; both general and specific and the justification of the current research work.

In the second chapter, a description of international, national and local background is detailed, we specify the theoretical framework, conceptual framework, linked to the current research work, we also contemplate the hypothesis.

In the third chapter, the type of research that appears in the current thesis is specified, in addition to the line of research to which it is directed, the dependent and independent variable is presented, and finally reference is made to the techniques and instruments of data collection. Data, which leads us to the test procedures and standards used.

The fourth and fifth chapters describe the analysis of the interpretation of results in the tests, contrast of hypotheses and annexes (test data).

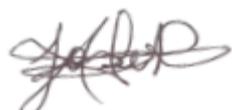
Keywords: *Carbothix 2 Standard resin, mechanical properties, microstructure, tensile test, compression test, hardness test. metallography, student t statistical test, Anova statistical test.*

PRESENTACION

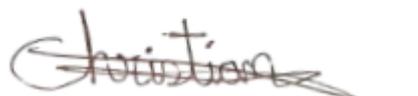
Señores Miembros del Jurado:

En cumplimiento y avenencia de los requerimientos pactados en Reglamentos de Grados y títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, es satisfactorio poner a su disposición la presente tesis titulada “PROPIEDADES MECÁNICAS Y CARACTERÍSTICAS MICROESTRUCTURALES DE LOS DISPOSITIVOS DEL SISTEMA PERNO- RESINA EN LA FORTIFICACIÓN DE LABORES MINERAS” con el propósito de adquirir el Título Profesional de Ingeniero Civil.

La actual tesis ha sido trabajada de acuerdo a las Normas Internacionales (ASTM) y Normas Técnicas Peruanas, para así determinar las propiedades mecánicas y características microestructurales de los dispositivos del sistema PERNO-RESINA.



Br. La Rosa Villar, José Roberto



Br. Meza Vargas, Christian Albert

ÍNDICE

Contenido

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
PRESENTACION.....	ix
ÍNDICE.....	x
ÍNDICE DE TABLAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xviii
I. INTRODUCCION.....	1
1.1. Problema de investigación.....	1
1.1.1 Realidad problemática.....	1
1.1.2 Formulación del problema.....	7
1.2. Objetivos	7
1.2.1. Objetivo General	7
1.2.2. Objetivos específicos	8
1.2.3. Justificación del estudio	9
II. MARCO DE REFERENCIA	11
2.1. Antecedentes del estudio.....	11
2.1.1. Antecedentes internacionales	12
2.1.2. Antecedentes nacionales	14
2.2. Marco teórico.....	17
2.2.1. Acero	17
2.2.2. Mallas de alambre.....	17
2.2.3. Resina.....	17
2.3. Marco conceptual	18
2.3.1. Sistema Acero-Resina.....	18
2.3.2. Bomba de Inyección.....	19
2.3.3. Pistola de Inyección	20
2.3.4. Lanzas de inyección de PVC y metálicas	21
2.3.5. Pernos autoperforantes R32N.....	21
2.4. Sistema de Hipótesis	21
2.5. Variables e indicadores.....	22
III. METODOLOGÍA EMPLEADA.....	24
3.1. Tipo y nivel de investigación:	24

3.1.1. Tipo.....	24
3.1.2. Nivel.....	24
3.2. Población y muestra de estudio	24
3.2.1. Población	24
3.2.2. Muestra:.....	24
3.3. Diseño de investigación.....	24
3.3.1. Diseño de contrastación.....	24
3.4. Técnicas e instrumentos de investigación.....	24
3.4.1. Técnicas de recolección de datos:	24
3.4.2. Instrumentos:	24
3.5. Procesamiento y análisis de datos.....	25
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	31
4.2. Propuesta de investigación.....	31
4.3. Análisis e interpretación de resultados.....	31
4.3.1. Análisis de resultados	32
4.3.2. Interpretación de resultados.....	58
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	125
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
ANEXO	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Variables e indicadores</i>	22
Tabla 2. <i>Datos de Dureza HV10-Muestra 1</i>	53
Tabla 3. <i>Datos de Dureza HS D60-Muestra 1</i>	53
Tabla 4. <i>Datos de Dureza HS D60-Muestra 2</i>	54
Tabla 5. <i>Datos de Dureza HS D60-Muestra 3</i>	54
Tabla 6. <i>Conversión de durómetro shore</i>	59
Tabla 7. <i>Límites superiores e inferiores Shore A y Shore D- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	60
Tabla 8. <i>Nomenclatura de Interpolación-Shore A y Shore D</i>	60
Tabla 9. <i>Conversión de escala Shore D a Shore A- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	61
Tabla 10. <i>Límites superiores e inferiores Shore A y Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	61
Tabla 11. <i>Nomenclatura de Interpolación-Vickers y Shore A</i>	62
Tabla 12. <i>Conversión de escala Shore A a Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	62
Tabla 13. <i>Durometría según escala Shore A y Shore D</i>	63
Tabla 14. <i>Conversión escala Vickers sin carga aplicada a carga aplicada- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	64
Tabla 15. <i>Datos de dureza en acero y resina- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	64
Tabla 16. <i>Diferencias de escalas de dureza y sus promedios- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	65
Tabla 17. <i>Límites superiores e inferiores Shore A y Shore D- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	67
Tabla 18. <i>Conversión de escala Shore D a Shore A- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	68
Tabla 19. <i>Escala Shore A y Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	68
Tabla 20. <i>Conversión de escala Shore A a Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	69
Tabla 21. <i>Conversión escala Vickers sin carga aplicada a carga aplicada-t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	70
Tabla 22. <i>Datos de dureza en acero y resina-t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	70
Tabla 23. <i>Diferencias de escalas de dureza y sus promedios-t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	71
Tabla 24. <i>Escala Shore A y Shore D - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	73
Tabla 25. <i>Conversión de escala Shore D a Shore A- t student dureza (Perno muestra 1-</i>	

<i>Resina muestra 3)</i>	74
Tabla 26. <i>Escala Shore A y Vickers - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	74
Tabla 27. <i>Conversión de escala Shore A a Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	75
Tabla 28. <i>Conversión escala Vickers sin carga aplicada a carga aplicada- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	76
Tabla 29. <i>Datos de dureza en acero y resina - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	76
Tabla 30. <i>Diferencias de escalas de dureza y sus promedios- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	77
Tabla 31. <i>Datos de Resistencia Máxima del perno - t student</i>	79
Tabla 32. <i>Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 50/50- t student</i>	79
Tabla 33. <i>Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 40/60- t student</i>	79
Tabla 34. <i>Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 60/40- t student</i>	80
Tabla 35. <i>Promedio de Resistencia Máxima-Resina proporción 60/40 y 40/60- t student</i>	80
Tabla 36. <i>Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 30/70- t student</i>	80
Tabla 37. <i>Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 70/30- t student</i>	80
Tabla 38. <i>Promedio de Resistencia Máxima-Resina proporción 30/70 y 70/30</i>	81
Tabla 39. <i>Diferencias de resistencias máxima y sus promedios -t student</i>	81
Tabla 40. <i>Datos de Deformación -Muestra 1 del perno- t student</i>	83
Tabla 41. <i>Datos de Deformación-Resina proporción 50/50- t student</i>	83
Tabla 42. <i>Datos de Deformación -Resina proporción 40/60- t student</i>	84
Tabla 43. <i>Datos de Deformación -Resina proporción 60/40- t student</i>	84
Tabla 44. <i>Promedio de Deformación-Resina proporción 60/40 y 40/60- t student</i>	84
Tabla 45. <i>Datos de Deformación -Resina proporción 30/70- t student</i>	84
Tabla 46. <i>Datos de Deformación -Resina proporción 70/30- t student</i>	85
Tabla 47. <i>Promedio de Deformación-Resina proporción 30/70 y 70/30- t student</i>	85
Tabla 48. <i>Diferencias de Deformaciones y sus promedios- t student</i>	85
Tabla 49. <i>Datos de Resistencia Máxima- Anova 1 Factor</i>	88
Tabla 50. <i>Datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	88
Tabla 51. <i>Selección de datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	89
Tabla 52. <i>Equivalencias entre las escalas de dureza Brinell, dureza Vickers, dureza Rockwell y la resistencia a tracción del material (en psi)</i>	89
Tabla 53. <i>Límite máximo e inferior-escala vickers en resistencia (1000psi) - Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	90
Tabla 54. <i>Nomenclatura de Interpolación- Resistencia Máxima y Dureza</i>	90
Tabla 55. <i>Datos de Resistencia Máxima (1000psi) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	91

Tabla 56. <i>Datos de Resistencia Máxima (MPA) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	91
Tabla 57. <i>Datos de Resistencia Máxima (MPA), Sumatoria, Media, Suma total, ni, N y k- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	92
Tabla 58. <i>Análisis de Varianza</i>	93
Tabla 59. <i>Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	93
Tabla 60. <i>Datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	96
Tabla 61. <i>Selección de datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	96
Tabla 62. <i>Límite máximo e inferior-escala vickers en resistencia (1000psi) - Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	97
Tabla 63. <i>Datos de Resistencia Máxima (1000psi) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	98
Tabla 64. <i>Datos de Resistencia Máxima (MPA) en perno y resina - Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	98
Tabla 65. <i>Datos de Resistencia Máxima (MPA), Sumatoria, Media, Suma total, ni, N y k Datos de Resistencia Máxima (1000psi) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	99
Tabla 66. <i>Anova de un solo factor - Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i> .100	
Tabla 67. <i>Datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	102
Tabla 68. <i>Selección de datos de Dureza-Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	102
Tabla 69. <i>Límite máximo e inferior-escala vickers en resistencia (1000psi)- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	103
Tabla 70. <i>Datos de Resistencia Máxima (1000psi) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	104
Tabla 71. <i>Datos de Resistencia Máxima (MPA) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	104
Tabla 72. <i>Datos de Resistencia Máxima (MPA), Sumatoria, Media, Suma total, ni, N y k Límite máximo e inferior-escala vickers en resistencia (1000psi) -Anova (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	105
Tabla 73. <i>Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	106
Tabla 74. <i>Datos de ensayos de Tracción-Anova 2 Factores</i>	107
Tabla 75. <i>Sumatoria de filas y columnas - ensayos de Tracción-Anova 2 Factores</i>	108
Tabla 76. <i>Sumatoria de datos elevando al cuadrado - ensayos de Tracción- Anova 2 Factores</i>	108
Tabla 77. <i>Cuadrado Medio- ensayos de Tracción-Anova 2 Factores</i>	110
Tabla 78. <i>Valor estadístico (F) - ensayos de Tracción-Anova 2 Factores</i>	110
Tabla 79. <i>Datos de Dureza-Anova 2 Factores</i>	113
Tabla 80. <i>Sumatoria de filas y columnas - ensayos de Dureza-Anova 2 Factores</i>	114
Tabla 81. <i>Sumatoria de datos elevando al cuadrado - ensayos de Dureza- Anova 2 Factores</i>	114

Tabla 82. Cuadro medio- ensayos de Dureza-Anova 2 Factores.....	115
Tabla 83. Valor estadístico (F) - ensayos de Dureza-Anova 2 Factores	116
Tabla 84. Datos de Deformaciones-Anova 2 Factores	119
Tabla 85. Sumatoria de filas y columnas - ensayos de Deformaciones.....	119
Tabla 86. Sumatoria de datos elevando al cuadrado - ensayos de Deformaciones-Anova 2 Factores.....	120
Tabla 87. Cuadrado medio-Deformación-Anova 2 Factores.....	121
Tabla 88. Valor Estadístico (F)-Deformación-Anova 2 Factores	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Operación dentro de la minería	2
Figura 2. Cimbras metálicas para minas	3
Figura 3. Gatas metálicas.....	4
Figura 4. Tipos de relleno.....	5
Figura 5. Partes de la bomba de inyección SK-90.....	19
Figura 6. Partes de la pistola de inyección	20
Figura 7. Observación en microscopio óptico para estudio metalográfico	57
Figura 8. Fotografía metalográfica.....	58
Figura 9. Escala Shore A-Vickers.....	61
Figura 10. Pernos Saferock A420.....	146
Figura 11. Probeta de perno SAFEROCK para ensayo de tracción.....	146
Figura 12. Máquina universal para ensayo de tracción.....	147
Figura 13. Probeta sujeta a mordaza en máquina universal de tracción.....	147
Figura 14. Probeta mecanizada en máquina universal de tracción.....	148
Figura 15. Rotura de probeta de perno SAFEROCK en máquina universal de tracción.....	148
Figura 16. Representación esquemática del acero.....	149
Figura 17. Resina Carbothix 2 estándar	150
Figura 18. Probeta para muestra de resina Carbothix 2 estándar.....	151
Figura 19. Jarra de plástico para medir el volumen de resina Carbothix 2 estándar	151
Figura 20. Embudo para vaciar la resina Carbothix 2 estándar y termómetro sumergible ..	152
Figura 21. Traslado de resina Carbothix 2 estándar	152
Figura 22. Preparación de muestra de resina Carbothix 2 estándar	153
Figura 23. Apertura de muestra de resina Carbothix 2 estándar.....	153
Figura 24. Muestras de resina Carbothix 2 estándar	154
Figura 25. Máquina universal para ensayo de compresión.....	154
Figura 26. Rotura de muestra de resina Carbothix 2 estándar.....	155
Figura 27. Aros de acero inoxidable para toma de muestra.....	155
Figura 28. Materiales para el ensayo.....	156
Figura 29. Muestra para ensayo de dureza en escala Vickers.....	156
Figura 30. Durómetro leco Imv-50v.....	157
Figura 31. Aros de acero inoxidable para toma de muestra.....	157
Figura 32. Preparación de muestras para ensayo de dureza en escala Shore D60.....	158
Figura 33. Muestras para ensayo de dureza en escala Shore D60	158
Figura 34. Durómetro integrado TH170.....	159
Figura 35. Muestras para ensayo de MICROESTRUCTURA	159
Figura 36. Microscopio Óptico LEICA DM600M	160

Figura 37. <i>Dimensiones de probeta</i>	164
Figura 38. <i>Dimensiones de probeta redonda</i>	165
Figura 39. <i>Características de carga para durómetros tipo A y tipo D</i>	175
Figura 40. <i>Dimensiones del penetrador y del pie de presión</i>	176

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfica 1. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Tracción (muestra 1)</i>	35
Gráfica 2. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Tracción (muestra 2)</i>	36
Gráfica 3. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Tracción (muestra 3)</i>	37
Gráfica 4. <i>Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°394</i>	40
Gráfica 5. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°394</i>	40
Gráfica 6. <i>Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°395</i>	41
Gráfica 7. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°395</i>	42
Gráfica 8. <i>Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°403</i>	43
Gráfica 9. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°403</i>	43
Gráfica 10. <i>Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°405</i>	44
Gráfica 11. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°405</i>	45
Gráfica 12. <i>Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°396</i>	46
Gráfica 13. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°396</i>	46
Gráfica 14. <i>Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°402</i>	47
Gráfica 15. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°402</i>	48
Gráfica 16. <i>Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°401</i>	49
Gráfica 17. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°401</i>	49
Gráfica 18. <i>Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°380</i>	50
Gráfica 19. <i>Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°380</i>	51
Gráfica 20. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - t$ student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	66
Gráfica 21. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - t$ student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	72
Gráfica 22. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - t$ student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	78
Gráfica 23. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - t$ student (Resistencia Máxima)</i>	83
Gráfica 24. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - t$ student (Deformación)</i>	87
Gráfica 25. <i>Valores críticos de la distribución $F (0.05)$</i>	94
Gráfica 26. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - Anova$ 1 Factor Resistencia Máxima (Perno muestra 1-Resina muestra 1)</i>	95
Gráfica 27. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - Anova$ 1 Factor Resistencia Máxima (Perno muestra 1-Resina muestra 2)</i>	101
Gráfica 28. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - Anova$ 1 Factor Resistencia Máxima (Perno muestra 1-Resina muestra 3)</i>	107
Gráfica 29. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - Anova$ 2 Factores (Interacción)</i>	111
Gráfica 30. <i>Región de aceptación o rechazo de $H_0 - Anova$ 2 Factores (Propiedades Mecánicas)</i>	112

Gráfica 31. <i>Región de aceptación o rechazo de Ho – Anova 2 Factores (Ensayo de Tracción)</i>	113
Gráfica 32. <i>Región de aceptación o rechazo de Ho – Anova 2 Factores (Interacción)</i>	117
Gráfica 33. <i>Región de aceptación o rechazo de Ho – Anova 2 Factores (Material)</i>	118
Gráfica 34. <i>Región de aceptación o rechazo de Ho – Anova 2 Factores (Ensayo de dureza)</i>	119
Gráfica 35. <i>Región de aceptación o rechazo de Ho – Anova 2 Factores (Interacción)</i>	123
Gráfica 36. <i>Región de aceptación o rechazo de Ho – Anova 2 Factores (Material)</i>	124
Gráfica 37. <i>Región de aceptación o rechazo de Ho – Anova 2 Factores (Deformación)</i>	124

I. INTRODUCCION

1.1. Problema de investigación

1.1.1 Realidad problemática

A nivel mundial el enfoque principal de la fortificación es reforzar o cubrir el perímetro de la construcción subterránea con elementos de soporte tales como marcos de pernos, concreto, mallas o combinaciones de los mismos. La fortificación es una actividad importante y constituye el pilar de la construcción subterránea, así como de la seguridad. Por lo tanto, el encargado tiene una gran responsabilidad ya que necesitan estar seguros de que están haciendo el mejor trabajo, dado el objetivo principal de proteger sus vidas. (Nelson, 2020).

Por otro lado, cuando se trata de fortificación, la ingeniería civil debe tener en cuenta el diseño estructural. El sistema de fortificación intenta resistir los esfuerzos de la roca y el suelo provocados por la excavación del túnel. A través de los pasos de diseño estructural, análisis y dimensionamiento, los ingenieros buscan lograr a través del diseño que las fallas estructurales sean leves en términos de vida humana. (De La Colina Martinez, 2019).

Los ingenieros civiles, por su parte, son especialistas en la coordinación y supervisión de actividades en las minas. En particular, apoyo a la extracción, transporte, excavación y mantenimiento de minerales. Por lo general, están capacitados para diseñar y desarrollar máquinas de prueba, procedimientos y técnicas para procesar materiales geológicos. (Bello, 2021).

Figura 1.

Operación dentro de la minería



Fuente: Bello, (2021)

De acuerdo con el mecanismo de sostenimiento, se distinguen los siguientes tipos de fortificación como: fortificación activa o reforzamiento (anclaje de rocas y proyección de mortero), fortificación pasiva (enmarcación de marcos metálicos, hormigón armado, shotcrete y malla, fortificación combinada (enmaderación, marcos de acero, pernos de anclaje- shotcrete y shotcrete con pernos de anclajes y mallas de acero. (Ministerio de minería - Chile, 2019).

El sistema de fortificación con barra helicoidal es un conjunto de alta resistencia que consta de pernos de rosca izquierda con un gran paso en toda su longitud. Se utiliza en combinación con hierro.

Por otro lado, Carbothix 2 estándar es una resina de silicato fraccionado instantáneo de curado rápido para el sellado de pernos. Durante la aplicación, alcanza rápidamente una viscosidad grasosa que detiene el flujo incluso en disparos grandes, pero requiere presión de la bomba para mover el dispensador con precisión. (Minova, 2019).

En todas las operaciones mineras, el mantenimiento de la planta es una tarea adicional costosa que frena el progreso y la producción, pero al mismo tiempo es un desarrollo básico para proteger al personal y al equipo de accidentes. (Arturo, 2019).

Dentro de las técnicas de sostenimiento en minería tenemos

a) Cimbras Metálicas: Es una forma de apoyo a la minería subterránea. Se utiliza para soportar permanentemente trabajos en curso en donde se encuentra masa de rocas muy endebles. (Tiempo Minero, 2020).

b) Las cimbras se realizan de acuerdo con las condiciones de estructura del sector de excavación, o sea, con un perfil de acero en forma de tronco, herradura o incluso circular. Pueden ser dos tipos de cimbras, los llamados "rígidos" y "deslizantes o flotantes". El primero suele utilizar perfiles como W, H, I. Consta de dos o tres segmentos fusionados con placas y pernos con tuercas. (Minera Seguridad, 2017).

Figura 2.

Cimbras metálicas para minas



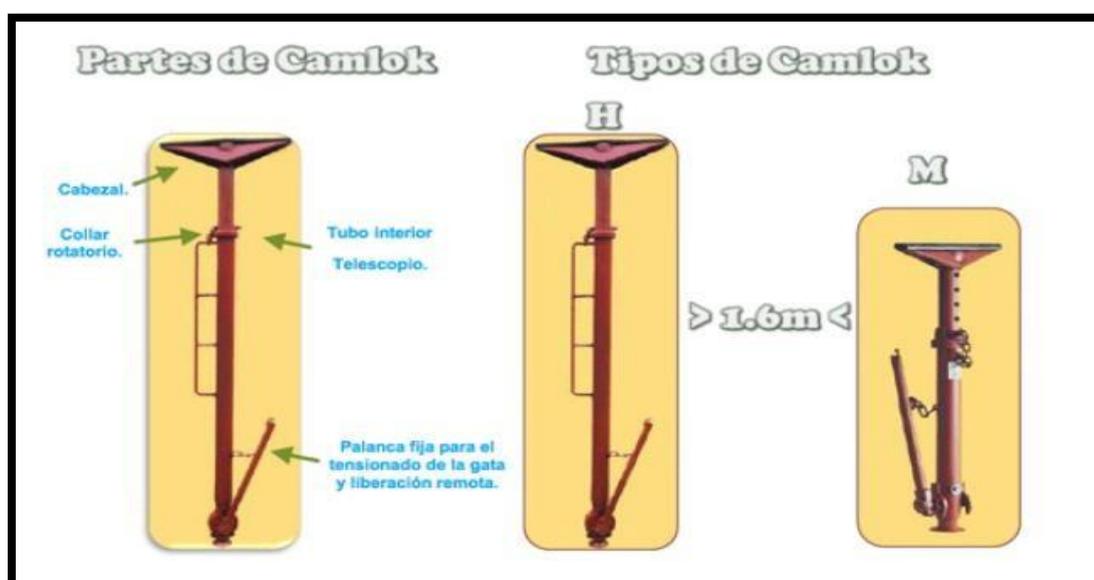
Fuente: Ingeniería y Construcción S.A.S, (2021)

c) Gatas: Este método consiste en una unidad de soporte mecánico para el techo de la excavación. Estas actividades tienen la forma de soportes y se utilizan para extraer rocas blandas a través de frentes largos, como depósitos de carbón. (Tiempo Minero, 2020).

Las gatas frecuentemente empleadas son: "fricción" y los "hidráulicos o neumáticos". El primero actúa como un tubo telescópico, y los tubos inferior y superior proporcionan un soporte específico para el dispositivo de cruceta para unirse al techo mediante pines o cuñas. La segunda es un componente que exhibe especificidad de fluencia en cargas específicas y se complementa con un cilindro de soporte neumático o hidráulico con una válvula de presión. (Minera Seguridad, 2017).

Figura 3.

Gatas metálicas

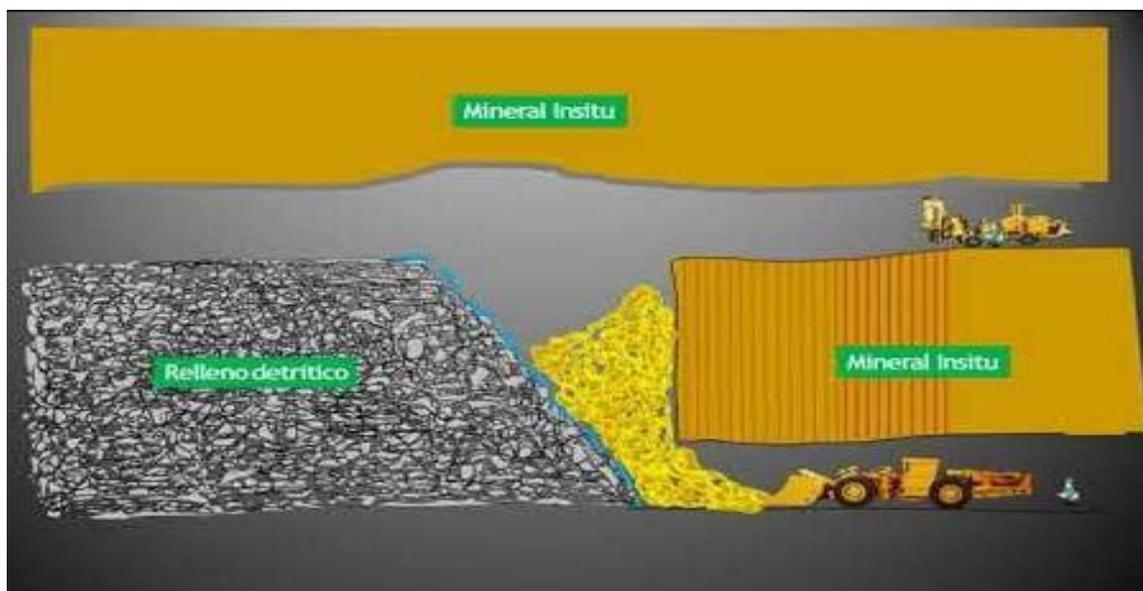


Fuente: Minera Seguridad, (2017)

d) Relleno: Está en agujeros vacíos. Se consideran tres mecanismos para justificar el apoyo potencial del relleno. Uno es para evitar el desplazamiento de bloques sueltos en la pared. En segundo lugar, para ayudar a mover la pared para la minería adyacente. Finalmente, el tercero surge como elemento de apoyo global a la minería subterránea una vez decomisada de forma segura. (Minera Seguridad, 2017).

Figura 4.

Tipos de relleno



Fuente: Minera Seguridad, (2017)

La conservación de las ocupaciones subterráneas es una labor grande y difícil, y su principal objetivo es asegurar la estabilidad y eficacia de los sistemas de explotación usados por quienes realizan las operaciones de extracción de minerales. (Quispe Basurco & Portal Calderon, 2021).

Una de las condiciones necesarias para el sostenimiento post-excavación eficiente es investigar y evaluar adecuadamente la estructura del macizo. Este es un punto de partida confiable para continuar con sus tareas de seguridad y productividad. (Quispe Basurco & Portal Calderon, 2021).

Entre los elementos más comunes del sistema de sostenimiento activo se encuentra una barra corrugada de sección ovalada fabricada en acero perforado que tiene la función de reforzar y mantener la resistencia natural de roca gracias a la resina y el cemento. Existe una barra helicoidal demasiado acostumbrada a trabajo permanente. (Quispe Basurco & Portal Calderon, 2021).

Los pernos son un dispositivo de soporte eficaz, fácil y rápido de instalar, más económico que alguno de los sistemas de soporte notables. Los anclajes que se utilizan para asegurar rocas varían desde anclajes de madera inclusive varillas de acero corrugado y anclajes de tubería de hierro con dos tipos de anclajes, generalmente anclajes puntuales y anclajes verticales. Los anclajes verticales son actualmente los más populares y los anclajes de mortero de cemento son los más utilizados debido a su simplicidad de uso y poco costo. Sin embargo, el yeso de cemento tiene poca resistencia al corte y a la tracción, bajo disminución de volumen y fuerza adhesiva durante el curado, largo tiempo de curado y poca resistencia a la humedad, corrosión, intemperie y vibración, por lo que tiene inconvenientes para su aplicación en anclajes. La instalación del anclaje se realiza en el siguiente orden: En primer lugar, perfore los agujeros a la profundidad y el diámetro necesarios, en segundo lugar, fíjelos anclajes, en tercer lugar, inyecte grava en el espacio abierto de los agujeros, y, en cuarto lugar, inyecte resina. (Ortiz Sanchez, Fernandez Cauti, & Blas Guzman, 2018).

Los pernos de anclaje unidos con resina o cemento se han utilizado en minería e ingeniería civil durante 40-50 años. Los tipos más utilizados son pernos, barras de hierro o acero mecanizado. El cemento y la resina se utilizan como pegatinas. Contiene los elementos de fijación necesarios para conectar el palo al suelo. La resina es adecuada para su uso con tornillos pretensados con un par de ruptura elevado y una precarga que no interfiera con el uso de tornillos no pretensados. Recomendado en todos los sentidos. Los tornillos de acero mecanizado se utilizan principalmente para instalaciones fijas en ingeniería civil.

Fabricado en hierro o acero con los extremos sellados con cemento (cartucho o spray), resina (cartucho) o resina y cemento. La fijación entre la varilla y la roca se lleva a cabo a lo largo de toda la longitud del elemento de refuerzo mediante tres mecanismos: adhesión química, fricción y fijación. Estos dos últimos son los más importantes, en vista de que la eficacia de estos parabolts radica en sujetar el hierro al suelo. La roca cementada sirve como protección contra la corrosión y alarga la vida útil del concreto. Según esta característica, los aglutinantes preferidos en presencia de agua, especialmente en agua ácida, son las resinas.

Se utiliza un dispositivo de anclaje para conectar el soporte de acero de refuerzo a la base de hormigón. Un tornillo de anclaje tradicional, que consiste en un tornillo, un casquillo y un pegamento, se instala perforando un agujero en una almohadilla de hormigón, llenándolo y añadiendo resina antes de poner el tornillo de anclaje. La resina mezclada actúa como pegamento y mantiene el pasador en su sitio hasta que se endurece para completar el proceso. Los tipos de anclaje están determinados por muchos factores, como limitaciones técnicas, rendimiento o métodos de instalación, y por tanto se ofrecen en diferentes grados y formas de acero y con diferentes adhesivos. (Impens, 2019).

Este sistema se puede aplicar al techo, la pared o el fondo de una excavación, y el tiempo de aplicación no es significativamente ni mayor a la instalación de otros tipos de pernos (5 a 7 minutos por perno). Este es uno de los grandes beneficios de estas actividades.

1.1.2 Formulación del problema

¿Cuáles son las propiedades mecánicas y características microestructurales de los dispositivos del sistema perno-resina en la fortificación de labores mineras?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Determinar las las propiedades mecánicas y características microestructurales de los dispositivos del sistema perno-resina en la fortificación de labores mineras.

1.2.2. Objetivos específicos

- 1.2.2.1. Realizar un análisis microestructural por microscópica óptica del perno de reforzamiento haciendo uso de la norma ASTM E3-1995, "*Standard practice for preparation of metallographic specimens*".
- 1.2.2.2. Determinar el esfuerzo de fluencia, resistencia máxima, módulo de elasticidad, ductilidad en % de reducción de elongación para el ensayo de tracción del perno de reforzamiento, de acuerdo a la norma ASTM E8-2009, "*Standard test methods for tension testing of metallic materials*".
- 1.2.2.3. Determinar el esfuerzo de rotura, deformación, carga aplicada en función del tiempo, mediante el ensayo de compresión, de acuerdo a la norma ASTM D695-02a "*Test methods for compressive properties of rigid plastics*" para la resina Carbothix 2 Estándar.
- 1.2.2.4. Determinar la dureza del perno de reforzamiento, de acuerdo a la norma ASTM E92, "*Standard test method for Vickershardness of metallic materials*".
- 1.2.2.5. Determinar la dureza de la resina Carbothix 2 Estándar, de acuerdo a la norma DIN 53505 "*Härteprüfung nach Shore A und Shore D*".
- 1.2.2.6. Determinar si hay diferencias significativas en las propiedades mecánicas del perno de reforzamiento y resina, mediante el uso de las pruebas estadísticas T student y Anova.

1.2.3. Justificación del estudio

1.2.3.1. Justificación académica

Esta tesis se desarrolla en el marco de las exigencias del Reglamento de Tesis de la Universidad Privada Antenor Orrego, Facultad de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil y es un requisito indispensable para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, línea de investigación: Ingeniería de construcción, Ingeniería urbana, Ingeniería estructural, sub línea de investigación: estructuras y materiales.

1.2.3.2. Justificación técnica

El presente trabajo de investigación se justifica en los siguientes términos:

- El análisis microestructural del perno de reforzamiento, se llevará a cabo usando la norma ASTM E3-1995.
- El análisis de las propiedades mecánicas para el perno de reforzamiento, se realizará, mediante el ensayo de tracción, usando la norma ASTM E8-2009.
- El análisis de las propiedades mecánicas de la resina Carbothix 2 estándar, se realizará mediante el ensayo de compresión, usando la norma ASTM D695-02a.
- El análisis de dureza para el perno de reforzamiento, considerando la norma ASTM E92.
- El análisis de dureza de la resina Carbothix 2 Estándar, de acuerdo a la norma DIN 53505.
- El análisis estadístico de las propiedades mecánicas, dureza de perno y resina, mediante la prueba estadística T student.
- El análisis estadístico de las propiedades mecánicas, dureza de perno y resina, mediante la prueba estadística Anova.

1.2.3.3. Justificación económica

Es justificable económicamente, porque pretendemos estudiar una nueva opción para el reforzamiento de rocas, al utilizar el sistema perno-resina, la cual nos conlleva a un menor costo de producción, aparte de obtener un producto reforzado a un bajo costo, además el tiempo de fraguado de la resina Carbothix 2 estándar es

mucha más eficiente, en base en materiales de concreto, permitiendo la rápida instalación de pernos de reforzamiento, para el avance de las actividades mineras.

1.2.3.4. Justificación social

Justificamos socialmente, porque al tener la oportunidad de evaluar y analizar técnicamente el sistema perno-resina, nuestros resultados podrían usarse para futuros reforzamientos en minería, manteniendo todas las recomendaciones de aplicación del uso del sistema perno-resina, además con el presente proyecto incentivamos a que las minerías tanto en Perú como en el extranjero practiquen el uso del sistema previamente mencionado.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

La fortificación es el grupo de métodos que acceden mantener constante los trabajos cuando su índole no es auto sostenible en una mina subterránea. El estudio y desarrollo oportuno del terreno peligroso mediante fortificación, es vital para eludir que se produzcan accidentes, daños en la producción o pérdidas en los equipos. (SONAMI, 2019).

Los métodos de reforzamiento con pernos de roca disminuyen las deformaciones impulsadas por el peso muerto de la roca debilitada, también aquellas impulsadas por la redistribución de los esfuerzos en la roca circundante a la excavación. En general, el inicio de su marcha es fijar los bloques rocosos o distorsiones de la superficie de la excavación, limitando los desplazamientos relativos de los bloques de roca adyacentes. (Acuña Montañez, Seguridad Minera, 2020).

El sistema resina-perno, tanto para rocas de buena a mala calidad, compone el destacado sistema para rocas de muy mala calidad y también para rocas en ámbitos de elevados esfuerzos. En existencia de intermitencias abiertas o vacías, no es aconsejable su uso a menos que la inyección de la pasta de cemento pueda ser examinada. Cuando se usa resina, se fragua rápido en menos de 30 segundos o fraguado lento de 2 a 4 minutos, el perno trabaja acarga completa en más o menos 5 minutos, admitiendo así pretensar el perno e instalarlo en presencia de filtraciones de agua. (Acuña Montañez, Seguridad Minera, 2020).

La inyección de lechada o resina preserva a la barra de la corrosión, al igual tiempo que le refuerza la adherencia fija a la roca. Para usos frecuentes, en ambientes de mengua belicosidad, no requiere de seguridad adicional adversa a la corrosión. (Andrade Mendoza, 2019).

Finalmente debemos de tomar en cuenta el propósito de la realización de nuestro trabajo que viene a ser la caracterización tanto microestructural como también sistema mecánico; la caracterización microestructural esconsiderada como la observación y la descripción de la materia dentro de una escala comprendida entre las dimensiones atómicas hasta los componentes ingenieriles. (Segura Perez,

2019).

2.1.1. Antecedentes internacionales

- Según (Wedekamper, Lorio, & Strohaecker, 2018), en su investigación “Caracterización de resinas epoxi para uso en conectores de ductos flexibles”, este artículo describe las propiedades de cinco resinas epoxi diferentes y compara sus propiedades para determinar su idoneidad para su uso en accesorios.

Se realizaron pruebas de tracción, compresión, corte y dureza para evaluar el desempeño de estos materiales en esta aplicación. Las propiedades de cinco resinas diferentes se compararon mediante análisis TOPSIS. En esta técnica, los criterios se evalúan según su similitud con la solución ideal, y el impacto de cada parámetro o característica se pondera según su relación con el sistema fijado.

Los valores de dureza probados son similares, pero el límite elástico y los valores de tensión de compresión y de cizallamiento a la falla difieren en más del 30%. Por otro lado, los resultados de la prueba de desgarro muestran una mayor diferencia entre los parámetros calculados.

- Según (Palacio Ibacache & Vergara Hantsch, 2019), en su investigación “Propuesta de un sistema de fortificación a la galería principal de la mina blanco III, los vilos”, desde los inicios de la minería, uno de los problemas más grandes que se han podido registrar es la falta de seguridad en las faenas. Esto se ha podido evidenciar con cifras de accidentes no menores que han sido a causa de malos procedimientos realizados al interior de las minas, y otro gran porcentaje por caída de rocas por la falta de fortificación o una mala implementación de ésta. El presente trabajo de título, tiene como objetivo realizar una propuesta de fortificación adecuada y apta para las condiciones del macizo rocoso de la mina Blanco III, una mina que no cuenta con ningún tipo de seguridad en el ambiente laboral ya que carece de sistema de fortificación, aún cuando en 2010 se registró la caída de una roca de gran magnitud en su galería principal. El primer capítulo da a conocer la

descripción de la zona de la mina entre otras generalidades de la misma. A su vez se definen diferentes tipos de fortificación, haciendo un hincapié en el sexto capítulo del Decreto Supremo 132. El segundo capítulo será enfocado en los parámetros geomecánicos de la galería de la mina y sus antecedentes técnicos como lo son las dimensiones y las características de su mineralización para luego desarrollar un RMR. Por último, en el tercer capítulo, se sugerirá la opción más idónea del método de fortificación que se debiera emplear para el macizo rocoso de la galería principal, respecto a lo estudiado en los capítulos anteriores, resultado del RMR y el conocimiento obtenido.

- Según (Paredes Robalino & Topampa Muyulema, 2018), en su investigación “Caracterización mecánico de un material compuesto de matriz epóxica reforzado con fibras de polipropileno y su posible aplicación industrial”, El proyecto de investigación se basó en la caracterización mecánica del material compuesto de resina epóxica y fibra de polipropileno, con diferentes configuraciones como la longitud del refuerzo que en este caso se utilizó fibra corta de 10mm y fibras larga de 54mm con distribuciones al azar y longitudinal, además se utilizaron diferentes fracciones volumétricas (80-20%, 75-25%, 70-30%) que corresponden al porcentaje de la matriz y refuerzo respectivamente , con la finalidad de establecer el material compuesto que mejor comportamiento presente en los ensayos de tracción, flexión e impacto, para su posterior aplicación en la industria. Los ensayos de tracción, flexión e impacto se los realizó bajo la norma ASTM D3039, ASTM D7464, ASTM D5628, respectivamente. Con los datos de los ensayos de tracción se hizo una primera evaluación para determinar los materiales que pasan a los siguientes ensayos de flexión e impacto, los mismos que fueron los materiales del caso 1.- 80% Matriz – 20% Refuerzo, fibra corta de polipropileno (10mm), orientación al azar, caso 2.- 80% Matriz – 20% Refuerzo, fibra larga de polipropileno (54mm), orientación longitudinal, caso 3.- 75% Matriz – 25% Refuerzo, fibra corta de polipropileno (10mm), orientación al azar y el caso 6.- 70% Matriz – 30% Refuerzo, fibra larga de

polipropileno (54mm), orientación longitudinal. Una vez obtenidos los datos de los ensayos de flexión e impacto se realizó una segunda evaluación para determinar el material que mejor comportamiento presente, que en este caso fue el material del caso 6, con lo cual se determinó que este material es el que mejor comportamiento mecánico presenta.

2.1.2. Antecedentes nacionales

- Según (Álvarez Santana, 2020) en su investigación “Implementación de geoflex para mejorar el sistema de reforzamiento en las labores permanentes de consorcio minero horizonte s.a”, el presente tema de implementación fue aplicado en unidad operativa Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A., quien actualmente explota oro, cuyo tipo de minería es subterránea con el método de corte y relleno ascendente con sistemas mecanizado y convencional. El periodo de investigación fue de enero a diciembre del 2019. Dicho estudio tiene como objetivo la implementación de Geoflex para mejorar el sistema de reforzamiento en las labores permanentes de Consorcio Minero Horizonte S.A. La aplicación de esta resina es una experiencia nueva en la minería peruana en este sentido la SI de Geomecánica de CMH, definió la necesidad de realizar el reforzamiento del macizo rocoso en labores críticas mediante la inyección de la resina Geoflex y sustituir o disminuir gradualmente en un plazo mediano el uso de cimbras y/o disminuir la cantidad de shotcrete. El objetivo de utilizar la resina Geoflex es consolidar el macizo rocoso y dar cohesión a la roca fracturada en las labores inestables y zonas de intersección para obtener un sostenimiento activo y sustituir en un plazo mediano el uso de cimbras o la cantidad de shotcrete, logrando un mejor performance en el sostenimiento de las labores mineras de CMH en menor tiempo y costo. Dentro de los parámetros de la resina Geoflex se encuentra el de cohesión cuyo valor es de 43kg/cm² teóricamente y en la práctica es de 23kg/cm² en promedio y la capacidad de sostenimiento de 5Mpa. Igualmente se realizó la evaluación del sistema de reforzamiento para mejorar los costos en el proceso de instalación de los pernos R32N con la resina Geoflex los cuales ascienden a

\$489 por cada uno. Además, se implanto el sistema de control de convergencia para realizar las monitorizaciones mensuales y las magnitudes de las deformaciones registradas permitieron retroalimentar a los programas de diseño.

- Según (Alva Mallqui, 2019), en su investigación “Optimización del sostenimiento con barras helicoidales y pernos split set de 5 pies mediante el control de calidad antes, durante y después de la instalación en la empresa minera Marsa- Parcoy”, la presente investigación está orientado a optimizar el sostenimiento con barras helicoidales y split set de 5 pies mediante un control de calidad aplicado antes, durante y después de la instalación en la zona Valeria I de la empresa minera Marsa, ya que desde la compra de los pernos hasta la instalados en las labores el control de calidad es deficiente por la que hacen que el sostenimiento no sea óptimo. Esto se ve reflejado en las valorizaciones mensuales de sostenimiento, el descuento de pernos mal instalados más el descuento del 10% de la valorización total por pernos que no cumplen con el control de calidad durante las pruebas de Pull Test son las cuales generan muchas pérdidas para la empresa contratista ya que cada barra helicoidal tiene un precio de \$21.06 y un Split set de \$9.06; por el cual se realizó un control de calidad en todo el proceso para la instalación de pernos actuando sobre cada parámetro de descuento teniendo en cuenta que el factor principal son las condiciones del macizo rocoso por el cual se realizó una evaluación geomecánica previa (clasificación del macizo rocoso, análisis cinemático de discontinuidades, análisis de cuñas y de la zona plástica). Al realizar el control de calidad para controlar los parámetros de descuento colillas largas, colillas cortas, placas sueltas, placas invertidas, ranura arriba, espaciamiento, orientación y sistema inadecuado, se logró disminuir en un 98% la cantidad de pernos observados en consecuencia la valorización mensual aumento, además en las pruebas de Pull Test realizadas en los meses de mayo y junio a 5 barras helicoidales y 5 split set de 5 pies por mes se logró disminuir en un 99 % la cantidad de pernos que no llegaba a su capacidad requerida.

- Según (Quispe Basurco & Portal Calderon, 2021), en su investigación “Estudio del sostenimiento activo y pasivo en labores de avance temporales y permanentes en una mina de oro subterránea en La Libertad”, la tesis que se presenta a continuación, tiene como objetivo principal estudiar el sostenimiento activo y pasivo en las labores de avance temporales y permanentes en una mina de oro subterránea en la Libertad, en la cual se viene utilizando el sostenimiento convencional y manual mediante los Split sets, pernos helicoidales, cimbras de acero, shotcrete, enmallado, así como también cuadros de madera. Se realizó la descripción de los diseños de sostenimiento activo y pasivo en las labores de avance temporales en una mina de oro subterránea en la Libertad. Los tipos de sostenimiento que se vienen aplicando en estas labores son: Cuadros de madera, Puntales de madera y Jackpot, WoodPack – JackPack y Split Set con malla electrosoldada. De ideal forma se realizó la descripción de los diseños de sostenimiento activo y pasivo en las labores de avance permanentes en una mina de oro subterránea de la Libertad. Los tipos de sostenimiento que se vienen aplicando en estas labores son: Shotcrete vía húmeda, Cimbras metálicas y Pernos helicoidales con mallas electrosoldadas. Los diseños de sostenimiento se basaron principalmente en la calidad de la roca presente en el macizo rocoso, en las labores temporales se tiene presencia de roca mala, regular, buena y muy buena con RMR de 40, >41 y 50 – 60 respectivamente. En las labores permanentes se tiene presencia de roca muy mala, mala y regular con RMR de 21 – 40,

2.2. Marco teórico

2.2.1. Acero

El acero es un elemento muy básico en una fábrica. Muy utilizado como elemento estructural o esencial de algunas piezas mecánicas y mecánicas. Por definición, se trata de una aleación de Fe-C, una solución sólida intrusiva de carbono en hierro alfa. Existen diversas aleaciones, pero las más utilizadas son las aleaciones de acero al carbono, los aceros de baja aleación y aceros aleados. Los pernos de montaje se utilizan en minería subterránea, métodos de fijación de techos y métodos de minería (como cámaras y pilares). El primer apoyo fue exterior, con pilares de madera. La composición química es generalmente acero al carbono medio, pero dependiendo de la situación, son posibles aleaciones con alto Mn, de menos de 1% o microaleaciones de vanadio y boro. Las dimensiones son de hasta 15-25 mm de diámetro y 6 m de longitud. Hay dos variaciones de diseño, varillas corrugadas y varillas en espiral.

2.2.2. Mallas de alambre

La malla de alambre se ha utilizado en la industria minera como soporte del suelo desde la década de 1950. Estos incluyen alambres soldados, mallas metálicas y alambres trenzados. Los alambres que se usan para fabricar estos productos difieren mucho en su composición química, propiedades físicas y mecánicas, y si se usan recubrimientos (como el galvanizado).

2.2.3. Resina

Comprende cuatro tipos de resinas que se permite utilizar como adhesivos: poliéster, metacrilato, epoxi y furano. Las resinas de epoxi y poliéster son las más usadas. El inferior el poliéster al epoxi en términos de adhesividad, resistencia y recubrimiento, pero su costo es mínimo que el epoxi y su resistencia es mayor que la de la mayoría de los ladrillos. Debido a su alta eficacia, se utiliza como adhesivo. El poliéster es un líquido que se solidifica cuando entra en contacto con un catalizador. Su resistencia aumenta con el tiempo, primero muy rápido y luego lentamente. Su masa es el 50% del total de la mezcla, que contiene rellenos como plástico, fibra de

vidrio, asbesto y cuarzo. Tiene una excelente resistencia a la corrosión debido a ácidos y álcalis. Tiene mínima contracción de volumen y es altamente resistente a la presión, vibración y cargas repetidas. Las resinas de poliuretano de uno y dos componentes derivadas de la familia de los poliésteres tienen propiedades afines a las antes descritas, algunas con propiedades de expansión y altas fuerzas de fijación, aptas para consolidación e inyección de suelo y perforación. Experimentar con expansión de poliuretano de dos componentes, estimando el método de aplicación de elementos de un taladro en mortero que inyecta grava y luego resina, y pruebas de laboratorio fáciles sin el uso de alta presión de inyección. resina. CarboPur WFA, es la resina que tiene un poder elevado de penetración y mínima viscosidad, que facilita el relleno de grietas y pequeños huecos. La resina CarboPur WFA se expande de 2 a 10 veces su volumen original cuando entra en contacto con la humedad de la roca. Esta es una propiedad muy importante para la mezcla con grava. Además, esta resina tiene mejores propiedades que la lechada de cemento, lo que la hace muy atractiva para la fijación de pernos y tendones en agujeros perforados en la roca.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Sistema Acero-Resina

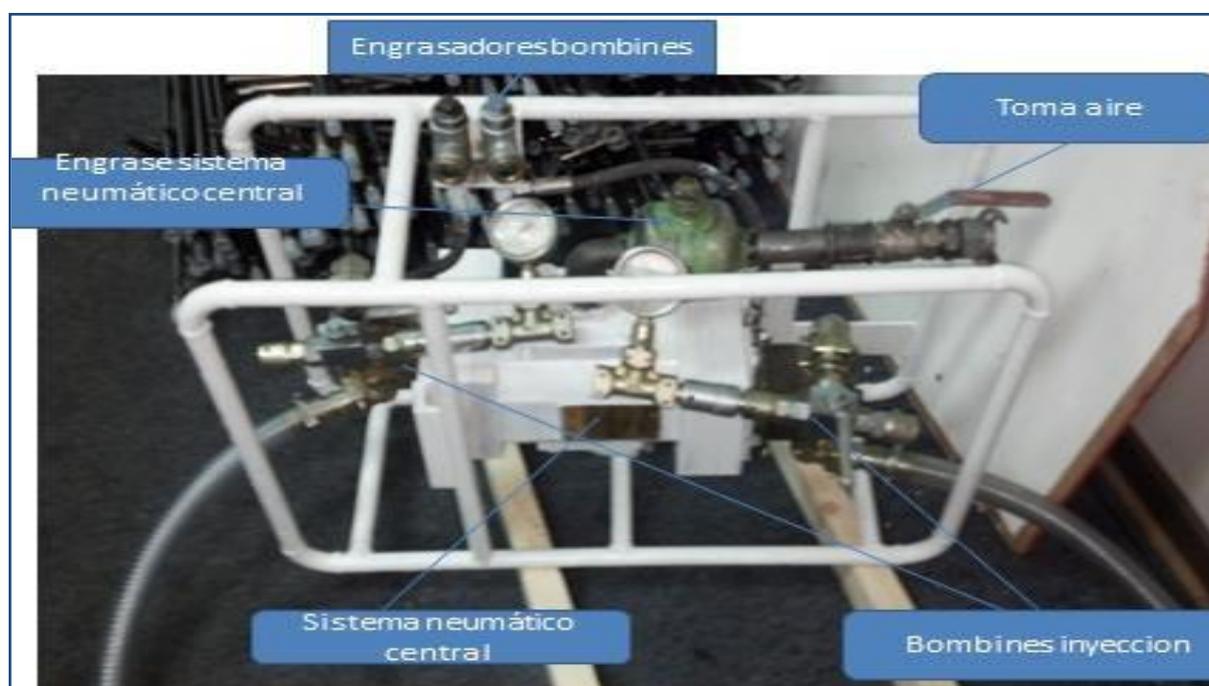
Este sistema es empleado tanto para rocas de muy buena a mala calidad; compone también para rocas en ámbitos de elevados esfuerzos. En existencia de intermitencias abiertas o vacías, no es aconsejable su uso a menos que la inyección de la pasta de cemento pueda ser examinada. Cuando se usa resina, se fragua rápidamente en menos de 30 segundos o lentamente en 2-4 minutos. El perno operará en unos 5 minutos a plena carga. Esto permite pretensar e instalar los pernos en caso de fuga de agua.

2.3.2. Bomba de Inyección

El SK90 es un equipo de perforación neumático portátil utilizado para perforar e inyectar pozos de petróleo, equipado con dos bombas de engranajes de desplazamiento positivo, una para cada componente de resina específico, y extrae el producto del tambor a través de una manguera transparente. Está hecho de plástico y se conecta a la pistola de inyección a través de una manguera de alta presión (como DN 10). En este caso, los dos componentes (A y B) se mezclan en un mezclador estático en una proporción de 1:1, usando un mezclador fijo y pasando la inyección.

Figura 5.

Partes de la bomba de inyección SK-90



Fuente: Minova, (2019)

2.3.3. Pistola de Inyección

Consiste en un conjunto de mangueras de alta presión (como DN 10) a través de las cuales fluye cada componente de la resina, una pieza en Y, una válvula de bola, una válvula de retención y un mezclador estático para mezclar los dos. Los componentes están en proporción 1:1 y la resina se inyecta a través de una pistola pulverizadora que consta de un tubo metálico.

Figura 6.

Partes de la pistola de inyección



Fuente: Ingeniería y Construcción S.A.S, (2021)

2.3.4. Lanzas de inyección de PVC y metálicas

La lanza de inyección de PVC es una varilla fabricada en este material cuyo extremo se atornilla en M20x1,5 (un extremo es macho y el otro extremo es hembra) por lo que se puede alargar, 36 y/o 40mm. La lanza de inyección de metal es un tubo de metal con $L = 2,5$ m y $D = 3/8$ y se utiliza para inyectar en roca utilizando el adaptador para el sistema de inyección.

2.3.5. Pernos autoperforantes R32N

Este tipo de perno consta de una varilla a la izquierda en toda su longitud. Estas varillas tienen un orificio central utilizado para el paso de aire o agua para barrer el orificio, seguido de la inyección de resina

2.4. Sistema de Hipótesis

La microestructura del acero para reforzamiento minero corresponderá a un acero de alta resistencia, aleado y con tratamiento térmico previo.

Las propiedades mecánicas de compresión, tracción y dureza del acero son mayores que la de la resina, al modificar las proporciones: 1:1, 1:1.5 y 1:2.3 (50/50, 40/60 y 30/70) del Carbothix 2 se disminuyen las propiedades mecánicas relacionadas con la resistencia.

2.5. Variables e indicadores

Tabla 1.

Variables e indicadores

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente				
Sistema Perno - Resina	<p>Dispositivos de sostenimiento activo de excavaciones mineras subterráneas Acero del cual está procesado el tendón o perno de anclaje es un mecanismo de eficaz soporte, de instalación rápida y sencilla, de menor precio que alguno de los sistemas de conocido soporte. La resina, la cual será seleccionada en forma dirigida y utiliza en el anclaje de perno principalmente en la explotación minera. Los componentes A y B de Carbothix se prepararán en proporciones: 1:1(50/50), 1:1.5(40/60), 1:2.3(30/70).</p>	<p>La selección y mecanizado de los aceros se realizarán de acuerdo a lo solicitado por el fabricante. La resina con los componentes A y B se prepararán en diferentes proporciones para luego ser mecanizadas. La preparación será realizada por el fabricante.</p>	<p>Dureza característica de un acero de alta resistencia y micro aleado. Dureza característica de la resina con los componentes A y B Carbothix.</p>	Razón

Variable dependiente				
Microestructura óptica	<p>La microscopía óptica (MO) permite conocer la microestructura de muestras de metales, polímeros, cerámicas y de compuestos mediante la interacción con un haz de luz (fotones). Los aumentos en MO vienen dados por el producto de la magnificación de los oculares con los lentes – objetivos; generalmente a 500X.</p>	<p>El microscopio óptico permite determinar la microestructura mediante técnicas conocidas como análisis metalográficos que mediante un procedimiento adecuado y reactivos.</p>	<p>Microestructura, es la estructura que muestra el material bajo el microscopio. Está relacionada con el tamaño, forma y disposición de las partículas primarias y las imperfecciones de los materiales agregados, no agregados, tamaño, forma y disposición de cualquier agregado presente</p>	Nominal
Propiedades mecánicas	<p>Las variables, parámetros que determinan la relación entre la aplicación de una carga externa y la respuesta interna del material mediante esfuerzo. Estas determinan el comportamiento mecánico del material. Se realiza mediante ensayos, de tracción, compresión y dureza.</p>	<p>Mediante el ensayo de tracción determinaremos el esfuerzo de fluencia, resistencia máxima a la tracción y ductilidad. Mediante el ensayo de compresión se determinará la resistencia a la compresión. Mediante el ensayo de dureza HV10 y HS D60, que medirá la resistencia a la indentación localizada.</p>	<p>Valores en Mpa, en HV10 y HS D60 de los parámetros de los diferentes tipos de ensayos realizados.</p>	Razón

Fuente: Elaboración Propia

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación:

3.1.1. Tipo

- Experimental

3.1.2. Nivel

- Descriptiva

3.2. Población y muestra de estudio

3.2.1. Población

Se trabajará con una población no probabilístico intencionada o dirigida considerando la misma consideración para el acero como para la resina.

3.2.2. Muestra:

- Dirigida.

3.3. Diseño de investigación

3.3.1. Diseño de contrastación

El diseño de contrastación corresponderá a un diseño de comparación simple, prueba t student para durezas y para los parámetros mecánicos.

3.4. Técnicas e instrumentos de investigación

3.4.1. Técnicas de recolección de datos:

- Observación directa (instalación del sistema perno-resina)
- Análisis de datos

3.4.2. Instrumentos:

Los instrumentos que se utilizarán en el estudio son la microestructura óptica y las propiedades mecánicas donde se verificarán la dureza del sistema

perno-resina, esfuerzo de fluencia, resistencia máxima a la tracción y ductilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la indentación localizada.

- Instrumento óptico (microscopio metalográfico) – Leica DM600M.
- Instrumentos para la resistencia a tracción y compresión de pernos (Vernier y Equipo Pull test)
- Instrumento para dureza del perno “LECO LMV -50V” – y dureza de resina “DUROMETRO INTEGRADO TH170” (Micro-Macrodurómetro).

3.5. Procesamiento y análisis de datos

El análisis de datos corresponde a una prueba estadística de t Student que compara los datos de dureza con los correspondientes datos de dinámica de tracción y compresión en pares. El análisis estadístico corresponde a la prueba Anova con una secuencia de prueba experimental aleatoria asociada con cada tipo de prueba.

La reducción de hipótesis y el análisis de datos utilizan un modelo experimental comparativo por pares (prueba t de Student) como primera consideración y son significativos al comparar promedios y temperaturas de precalentamiento utilizando procedimientos de prueba de hipótesis e intervalos de confianza. Indica si hay una diferencia. Niveles y durezas variables medidos en perfil cuyo punto de inicio es el centro de la soldadura comprendido el metal, Montgomery D. (2002: pág. 24:45).

El conjunto de datos se adquiere mediante el método de observación, para ello se recomienda emplear el instrumento de medición durómetro digital Lecco LMV- 50V que determina la dureza de acuerdo a la norma ASTM E-92 y Norma AWS D1.1.

Si bien es cierto podemos hacer referencia como hipótesis estadística a la confirmación, con respecto a los parámetros de una población. Por ejemplo:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

Donde μ_1 es el valor medio de dureza enfocadas en las probetas con proporciones modificadas y μ_2 es el valor medio de dureza haciendo un enfoque a las probetas no modificadas o proporciones distintas. El enunciado $H_0: \mu_1 = \mu_2$ es denominada hipótesis nula y $H_1: \mu_1 \neq \mu_2$ se anuncia como hipótesis alterna.

A fin de justificar la hipótesis, se realizará un proceso el cual consiste en tomar un modelo aleatorio y evaluar una estadística de estudio conveniente sobre la relación por pares, cuyo objeto es desmentir o no la hipótesis nula H_0 . Dicho proceso trata de especificar un conjunto de valores estadísticos de prueba que conduzcan al rechazo de H_0 . Estos conjuntos de valores son nombrados como rango crítico o rango de rechazo de prueba. Hay dos tipos de errores que pueden ocurrir al probar una hipótesis. Los errores de tipo I ocurren cuando la hipótesis nula se rechaza como verdadera. Si la hipótesis nula es falsa pero no se rechaza, se producirá un error de tipo II.

La posibilidad de cometer estos errores está marcada con un símbolo especial.

$$\alpha = P(\text{error tipo I}) = P(\text{rechazar } H_0 / H_0 \text{ es verdadera})$$

$$\beta = P(\text{error tipo II}) = P(\text{no rechazar } H_0 / H_0 \text{ es falsa})$$

En algunos casos, es más conveniente trabajar con el poder de la prueba, donde:

$$\text{Poder} = 1 - \beta = P(\text{no rechazar } H_0 / H_0 \text{ es falsa})$$

El proceso acerca de la prueba de hipótesis trata de especificar un valor para α , denominada como probabilidad de error tipo I, conocido como nivel de significación de prueba, luego se realiza un proceso que asegure el valor pequeño para la probabilidad de error tipo II.

Una estadística apropiada para emplear en la equiparación del nivel medio de los métodos de un diseño enteramente mezclada es:

$$t_0 = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

En el cual \bar{Y}_1 y \bar{Y}_2 son las medias muestrales, n_1 y n_2 la dimensión de las muestras, S_p^2 es una apreciación de la varianza $\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \sigma^2$ calculada mediante:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

Si S_1^2 , S_2^2 son las varianzas muestrales individuales. Se debe relacionar t_0 con la distribución t con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad, para determinar si se rechaza $H_0: \mu_1 = \mu_2$. Se debe rechazar H_0 e inferir que el nivel medio de dureza para las distintas temperaturas de precalentamiento si $|t_0| > t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$, donde $t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$ es el punto porcentual $\alpha/2$ superior de la distribución t con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad. Este proceso se demuestra de la siguiente forma: efectuando el muestreo de dos poblaciones muestrales, independientes, la distribución de $\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2$ es $N[\mu_1 - \mu_2, \alpha^2(1/n_1 + 1/n_2)]$. En este suceso, si σ^2 es distinguida, además $H_0: \mu_1 = \mu_2$ resulta verdadera, la distribución de:

$$Z_0 = \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Se convierte en $N(0, 1)$, pero si reemplazamos σ por S_p^2 en la ecuación cambia la distribución de Z_0 de normal estándar a t con $n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad. Aquí, si H_0 es verdadera, la distribución de t_0 en la ecuación inicial es $t_{n_1 + n_2 - 2}$ entonces 100 (1 - α) por ciento del valor t_0 es $t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$ y $t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}$. Si la hipótesis nula es verdadera, entonces la muestra que produce un valor de t_0 fuera de estos límites es anómala y evidencia que debe rechazarse H_0 . Tenga en cuenta que α es la tasa de error de tipo I de la prueba.

Aunque es útil, la prueba de hipótesis no siempre ofrece una visión general. En muchos casos, es deseable especificar un intervalo que probablemente incluya al valor de parámetro bajo enfocado a la investigación, son conocidos como intervalos de confianza. En abundantes experimentos técnicos e industriales, los investigadores saben de antemano que existe una diferencia entre la media de μ_1 y μ_2 . Por lo tanto, tiene poco sentido probar la hipótesis $\mu_1 = \mu_2$. Los experimentadores suelen estar más

interesados en los intervalos de confianza para la diferencia entre la media $\mu_1 - \mu_2$.

Para fijar el intervalo de confianza, suponga que θ es un parámetro desconocido. Para conseguir una estimación del intervalo de θ , necesitamos determinar dos estadísticos, L y U; el enunciado de probabilidad sería así:

$$P(L \leq \theta \leq U) = 1 - \alpha$$

Sea verdadero. El intervalo:

$$L \leq \theta \leq U$$

Es nombrado como intervalo de confianza de 100 (1- α) por ciento para el parámetro θ . Al analizar este intervalo, es recomendable que, si se tienen en cuenta muchos de estos intervalos en la muestra, el 100 (1- α) por ciento de ellos contendrá el valor verdadero de θ .

Las estadísticas L y U son conocidas como límites superior e inferior de confianza, respectivamente, y 1- α conocido como coeficiente de confianza. La ecuación previa se denomina como intervalo de confianza al 95 % para θ cuando $\alpha = 0.05$. Tenga en cuenta que el intervalo de confianza tiene una interpretación de frecuencia verdadera, indica que no está claro si la declaración se aplica a una muestra en particular. La verdad debe ser que el método utilizado para alcanzar el intervalo de confianza tiene un 100 (1- α) por ciento de ser correcto.

Deduzcamos que desea definir un intervalo de confianza de 100 (1- α) por ciento para la verdadera diferencia en la población $\mu_1 - \mu_2$. El intervalo se puede derivar de la siguiente forma. Estadísticas:

$$\frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Tiene una distribución $t_{n_1 + n_2 - 2}$. Por lo tanto,

$$P(-t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2} \leq \frac{\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \leq t_{\alpha/2, n_1 + n_2 - 2}) = 1 - \alpha$$

O sea

$$P \left(\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 - t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 + t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \right) = 1 - \alpha \dots$$

Al comparar las ecuaciones 2.1.7 y 2.1.5 se ve que:

$$\bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 - t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \leq \mu_1 - \mu_2 \leq \bar{Y}_1 - \bar{Y}_2 + t_{\alpha/2, n_1+n_2-2} S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}} \dots$$

Pertenece a un intervalo de confianza de 100 (1- α) por ciento para $\mu_1 - \mu_2$. La valoración del intervalo de confianza es 95 % se calcula reemplazando en la ecuación previa.

Mencionado anteriormente, es posible mejorar significativamente la precisión de algunos experimentos comparativos simples cuando la comparación se realiza en un par de materiales experimentales. Esto también es válido para los estudios actuales que comparan los perfiles de dureza utilizando el probador de dureza Vickers HV10.

La dureza de un metal se define midiendo la profundidad de la marca hecha por el indentador. La muestra consta de una muestra de prueba seleccionada al azar, más 40 unidades por milímetro medidas desde el centro de la raíz hasta el metal base de la fusión soldada. Este diseño es completamente aleatorio, por lo que puede comparar los niveles medios de las muestras utilizando la prueba t descrita en la sección anterior.

Comprobar la hipótesis $H_0: \mu_1 = \mu_2$ es similar a demostrar:

$$H_0: \mu_d = 0$$

$$H_1: \mu_d \neq 0$$

Las estadísticas para el estudio para las hipótesis son:

$$t_0 = \frac{\bar{d}}{S_p/\sqrt{n}} \dots (2.1.9)$$

En donde:

$$\bar{d} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n d_j \dots (2.1.10)$$

Es la media muestral de las diferencias y

$$S_d = \left[\frac{\sum_{j=1}^n (d_j - \bar{d})^2}{n-1} \right]^{1/2} = \left[\frac{\sum_{j=1}^n d_j^2 - \frac{1}{n} (\sum_{j=1}^n d_j)^2}{n-1} \right]^{1/2} \dots (2.1.11)$$

Es la desviación estándar muestral de las diferencias. $H_0: \mu_d = 0$ debe ser rechazada si $|t_0| > t_{\alpha/2, n-1}$.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.2. Propuesta de investigación

En nuestro trabajo de investigación, el principal objetivo es determinar las características microestructurales, propiedades mecánicas de compresión en resina y tracción en acero, empleada en fortificación minera.

4.3. Análisis e interpretación de resultados

La medición de las propiedades mecánicas es un factor importante para determinar si un material en particular es adecuado para una función determinada. Por lo tanto, surgió la necesidad de establecer normas las cuales se encarguen de medir datos y reportar resultados de los ensayos que se realizaban en los laboratorios; la cual fueron redactadas por la ASTM conocida como American Society for Testing and Materials.

Las propiedades mecánicas de un material se refieren a la capacidad del material auto resistencia a efectos de carga (fuerzas) o perturbaciones externas; también determinan su comportamiento. Bajo la influencia de fuerzas externas continuas, estáticas y dinámicas, periódicamente, a temperatura ambiente o no, aplicada sobre ellos.

Las normas de ASTM comienzan con un comentario sobre su alcance, seguido de una lista de documentos de referencia. Definen términos y resumen métodos de prueba, incluyendo su significado, usos e interferencias.

Contiene instrucciones detalladas para instrumentos de prueba con ilustraciones. También se proporcionan instrucciones para preparar muestras de prueba, calibrar equipos y ajustar el entorno. Además, se proporcionan procedimientos experimentales detallados e instrucciones computacionales.

Los índices que miden las propiedades del material o las propiedades de respuesta antes de un requisito específico se determinan mediante pruebas estándar. Deben tener parámetros de respuesta de contenido que favorezcan su elección. Ya sea por valores absolutos, que permiten aumentar el tamaño, o por valores relativos, que definen los niveles de aceptación. (UPV, 2020).

4.3.1. Análisis de resultados

Al diseñar, las propiedades mecánicas de los materiales se consideran como aquellas propiedades específicas que permiten distinguir un material de otros, desde el punto de vista del comportamiento mecánico de los materiales, es importante considerar el comportamiento del material durante el diseño; como también los diferentes procesamientos. (QUIMICA, 2023).

Entre sus características mecánicas y técnicas destacan:

Resistencia a los esfuerzos de tracción, compresión, flexión y torsión, así como al desgaste y fatiga, rigidez, flexibilidad, durabilidad, dureza, fragilidad, cohesión, plasticidad, elasticidad, deformación, porosidad, magnetismo, instalaciones en materiales de soldadura, el procesamiento de tratamiento térmico. tratamiento y resistencia a la oxidación y corrosión. De igual forma, es interesante entender su conductividad eléctrica y conductividad térmica y sus propiedades para la aleación.

Como cada material se comporta de forma diferente, es importante examinar su comportamiento mediante pruebas experimentales:

Entre las propiedades mecánicas más comunes medidas en materiales se encuentran la resistencia a la tracción, la resistencia a la compresión, la deformación, el coeficiente de Poisson y el módulo de elasticidad o módulo de Young.

Adicionalmente de estas propiedades mecánicas y técnicas, merece la pena tener en cuenta a la hora de elegir un material para un componente determinado, la densidad del material, el color, el punto de fusión, la disponibilidad y el precio. (QUIMICA, 2023).

4.3.1.1. Ensayo de tracción

Los ensayos de tracción miden las propiedades mecánicas (principalmente alargamiento, fluencia o carga de rotura) que produce un material cuando se le aplican dos fuerzas opuestas, es decir se mide el comportamiento del material y velocidad.

Por lo tanto, se puede argumentar que los ensayos de tracción muestran las propiedades mecánicas del material en relación con la fuerza aplicada.

Los ensayos de tracción son el método más importante para obtener información sobre el comportamiento mecánico de los materiales. Se usa una máquina de prueba para formar una muestra o pieza de prueba del material que se está estudiando usando

una fuerza unidireccional en la dirección del eje de la muestra.

La prueba de tracción es probablemente el tipo más básico de prueba mecánica que puede realizarse sobre un material.

Después de fijar la muestra, la fuerza (carga) generalmente se registra hasta que el fragmento se rompe. Por lo tanto, el resultado inmediato es la curva de carga versus deformación, que se convierte en tensión y deformación, la geometría de la muestra ensayada proporciona información más general.

4.3.1.1.1. PREPARACIÓN DEL ENSAYO DE TRACCION

Una buena preparación es el primer paso antes de realizar una prueba de tracción. En este paso se recogen todos los parámetros variables escogidos por la persona de la prueba, siempre según los indicadores de calidad, para que la prueba sea válida. Éstos son algunos de los parámetros importantes a tener en cuenta:

- Probetas del ensayo
- Determinación del área de la sección transversal
- Longitud inicial entre puntos y longitud base del extensómetro
- Condiciones del ensayo

4.3.1.1.2. REALIZACION DEL ENSAYO DE TRACCION

ASTM E 8 especifica métodos de prueba de tracción para determinar límite elástico, el alargamiento del punto de fluencia, la resistencia a la tracción, el alargamiento y la reducción del área de productos metálicos.

El primer punto para realizar ensayos de tracción es disponer de una máquina capaz de realizarlos. Para ello, se ha decidido utilizar la máquina MTS 810, que se encuentra en el laboratorio del Área de Ingeniería Mecánica. Es una máquina de ensayo mecánica hidráulica universal que permite realizar pruebas dinámicas y estáticas. Tiene una capacidad de carga máxima de 100 kN. Esta máquina tiene dos cabezales que pueden moverse verticalmente. Se pueden conectar dos mordazas a estos extremos para sujetar la probeta de ensayo.

Luego medimos la probeta para tener como dato las dimensiones y poder ingresar al software de la máquina, para así poder empezar con el ensayo, se ingresó una velocidad de 0.5 mm/s. para que el procesamiento de datos sea más accesible y la

máquina pueda trabajar a una buena velocidad.

Finalmente esperamos que suceda un sonido el cual nos indica que la rotura de la probeta se produjo, con lo cual nos arroja una cantidad de datos en lo cual se llegó a procesar para la realización de la gráfica Esfuerzo vs Deformación.

4.3.1.1.3. OBTENCION DE RESULTADOS:

4.3.1.1.3.1. ENSAYO N°01:

Datos:

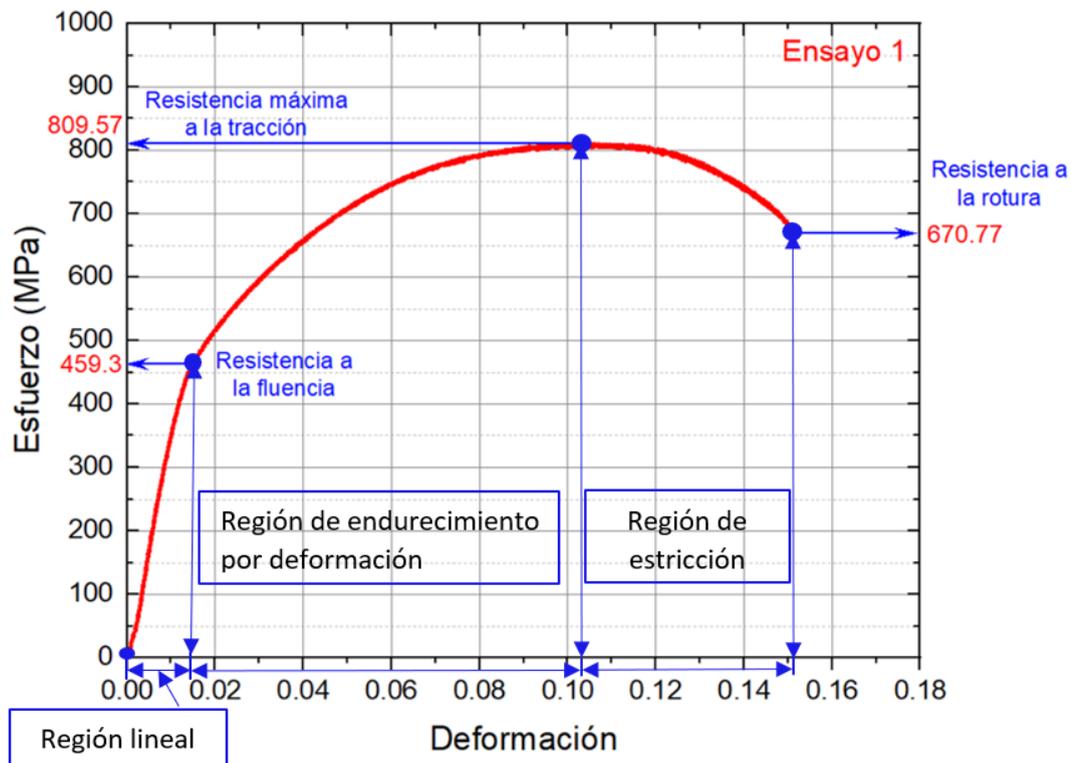
- Radio = 5.97 mm.
- Longitud inicial = 49.98 mm.
- Longitud final = 56.10 mm.
- Área = 27.99 mm².
- Ductilidad % Elongación = 12.24
- Esfuerzo de Fluencia = 459.3 Mpa.
- Resistencia Máxima = 809.57 Mpa.
- Esfuerzo de Rotura = 670.77 Mpa.
- Máxima carga = 23.07 KN.
- Módulo de elasticidad = 22747.4 Mpa.

Cálculo de % de Elongación:

$$EL = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

Gráfica 1.

Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Tracción (muestra 1)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.1.3.2. ENSAYO N°02:

Datos:

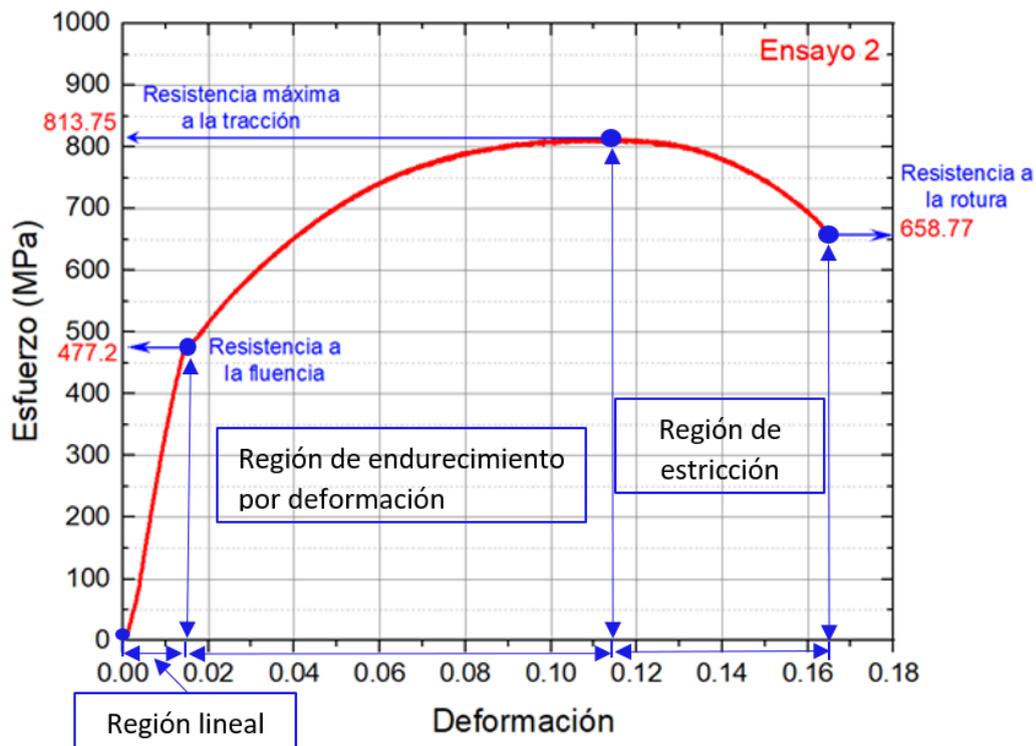
- Radio = 6.07 mm.
- Longitud inicial = 49.35 mm.
- Longitud final = 56.24 mm.
- Área = 28.94 mm².
- Ductilidad % Elongación = 13.96
- Esfuerzo de Fluencia = 477.2 Mpa.
- Resistencia Máxima = 813.75 Mpa.
- Esfuerzo de Rotura = 658.77 Mpa.
- Máxima carga = 23.56 KN.
- Módulo de elasticidad = 24329.6 Mpa.

Cálculo de % de Elongación:

$$EL = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

Gráfica 2.

Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Tracción (muestra 2)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.1.3.3. ENSAYO N°03:

Datos:

- Radio = 6.05 mm.
- Longitud inicial = 49.34 mm.
- Longitud final = 56.10 mm.
- Área = 28.75 mm².
- Ductilidad % Elongación = 13.70
- Esfuerzo de Fluencia = 476.34 Mpa.
- Resistencia Máxima = 798.95 Mpa.
- Esfuerzo de Rotura = 649.40 Mpa.

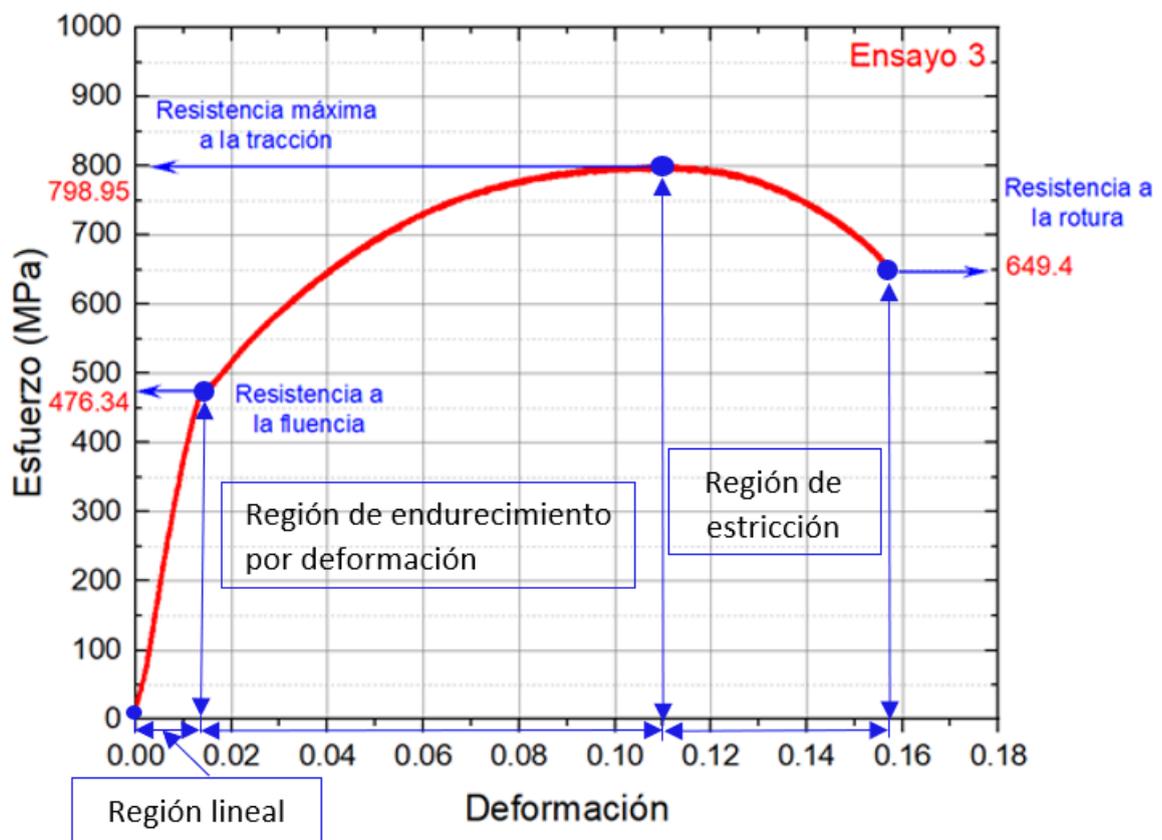
- Máxima carga = 22.98 KN.
- Módulo de elasticidad = 23616.2 Mpa.

Cálculo de % de Elongación:

$$EL = \frac{L_f - L_0}{L_0}$$

Gráfica 3.

Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Tracción (muestra 3)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.2. Ensayo de compresión

Las pruebas de compresión se utilizan para determinar cómo se comportará un material bajo cargas de fuerzas aumentadas. Cuando la muestra se comprime a un valor determinado, la muestra se comprime hasta que se resquebraja, rompe o colapsa.

Las pruebas de compresión permiten a los fabricantes valorar la integridad y seguridad de los materiales, componentes y productos en las diferentes etapas del proceso de fabricación. Las potenciales aplicaciones van desde probar la resistencia de las ventanas de los coches hasta probar la resistencia de las vigas de hormigón utilizadas en la construcción.

4.3.1.2.1. Preparación del ensayo de compresión

Por lo tanto, las pruebas de compresión a menudo se realizan en materiales frágiles como hormigón, metales, plásticos, cerámica, compuestos y materiales corrugados como el cartón. Estos materiales se utilizan a menudo en aplicaciones de carga donde su integridad bajo fuerzas de compresión es crítica.

El procedimiento consiste en colocar un tubo cilíndrico de material de ensayo en una prensa especial. Una vez allí, el cilindro está sometido a una presión creciente a una velocidad predeterminada hasta que estalla, y todos los datos necesarios se registran en los manómetros de la prensa.

4.3.1.2.2. Realización del ensayo de compresión

El método de prueba ASTM D695 cubre la determinación de las propiedades mecánicas de los termoplásticos reforzados y no reforzados, incluidos los compuestos de alto módulo, cuando se someten a cargas de compresión relativamente bajas. La preparación de la muestra es esencial y todas las operaciones de mecanizado deben realizarse con cuidado para garantizar una superficie lisa.

Para realizar la prueba, se coloca una pequeña muestra de plástico (normalmente un prisma de 0,5 x 0,5 x 1 pulgada o un cilindro de 0,5 pulgadas de diámetro y 1 pulgada de largo) entre dos objetos duros y se presiona suavemente. Los resultados de esta prueba de lágrima incluyen resistencia a la compresión, esfuerzo de fluencia en la compresión, esfuerzo de fluencia compensador y elasticidad.

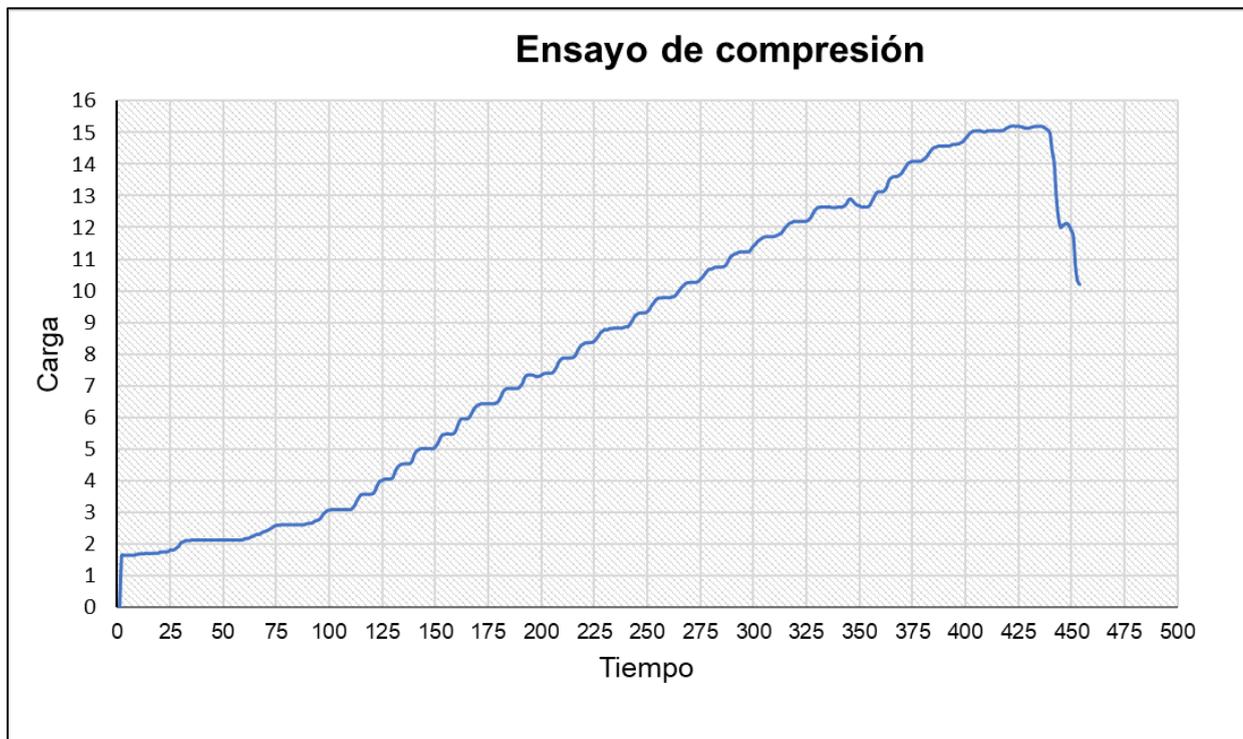
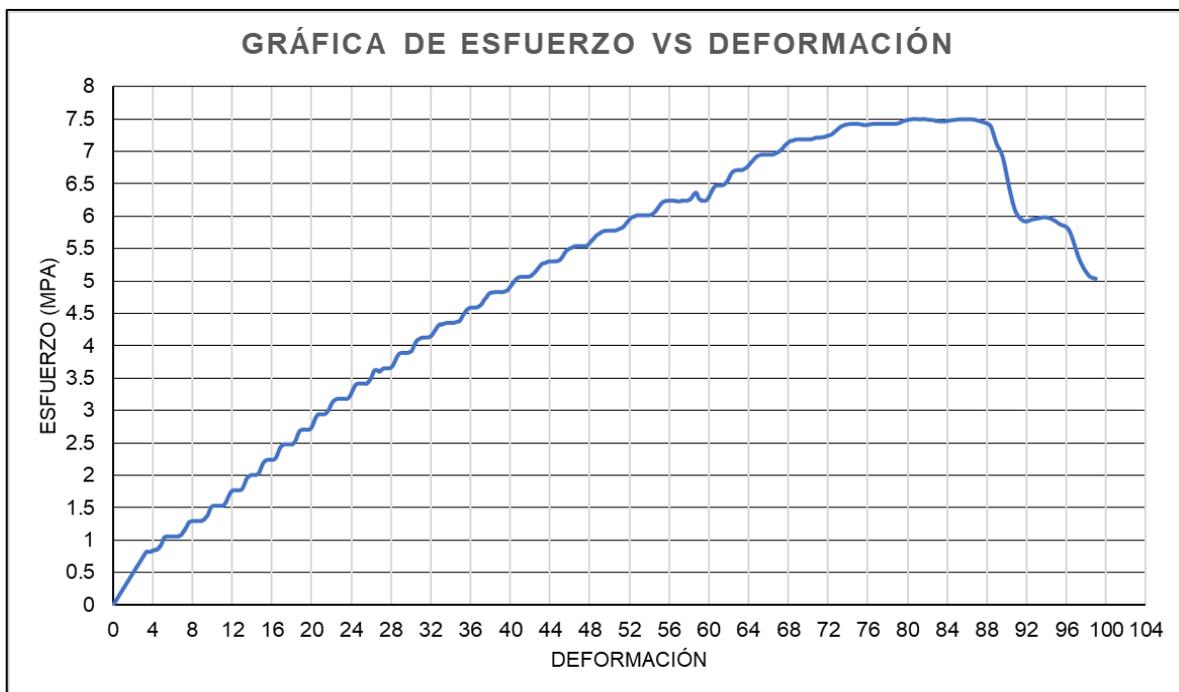
4.3.2.1.3. Obtención de resultados

Para la realización del ensayo de compresión se preparó probeta con diferentes tipos de proporción en base al volumen de la resina de dos componentes:

4.3.2.1.3.1. Proporción de resina 50/50:

Ensayo N°394:

- Componente A = 125 ml.
- Componente B = 125 ml.
- Longitud = 95 mm.
- Diámetro = 50.8 mm.
- Área = 2026.8 mm².
- Volumen peso = 1.226 Kg/dm³.
- Temperatura = 32.3 °C.
- Peso = 0.236 kg.
- Inicio de mezcla = 11:04:08 am.
- Termino de mezcla = 11:08:19 am.
- Apertura de probeta = 14-12-2022 / 09:18:32 am.

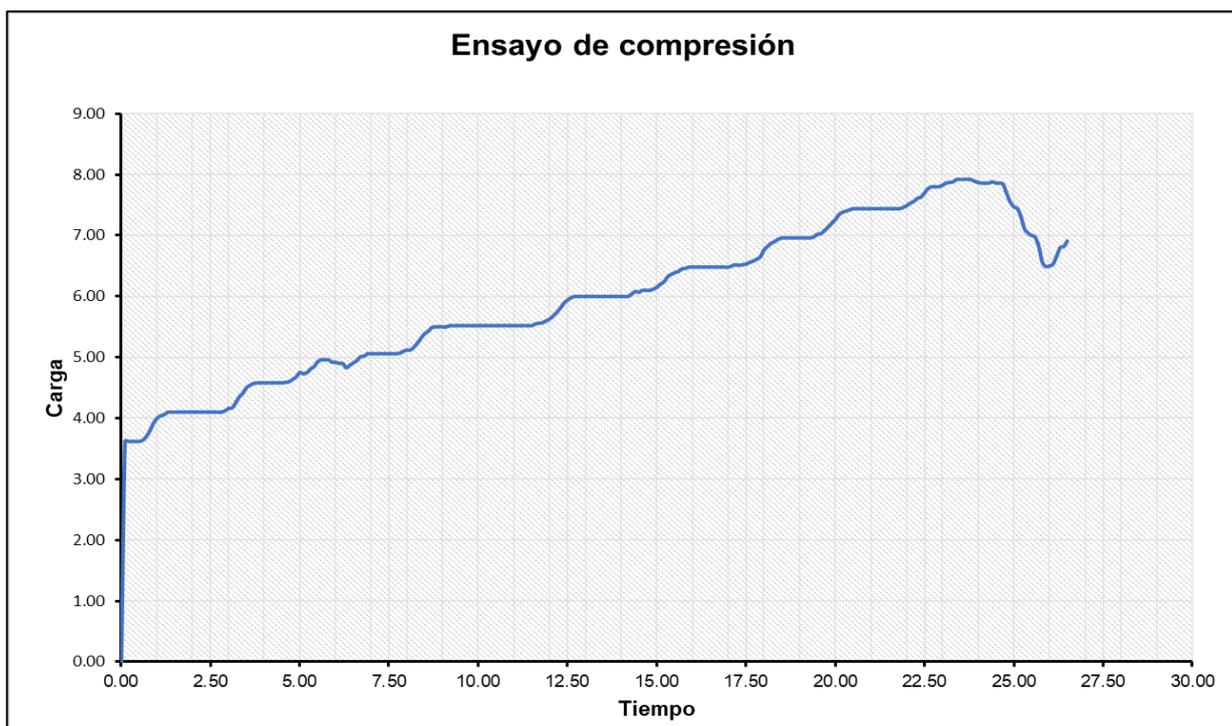
Gráfica 4.*Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°394**Fuente: Elaboración Propia***Gráfica 5.***Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°394**Fuente: Elaboración Propia*

Ensayo N°395

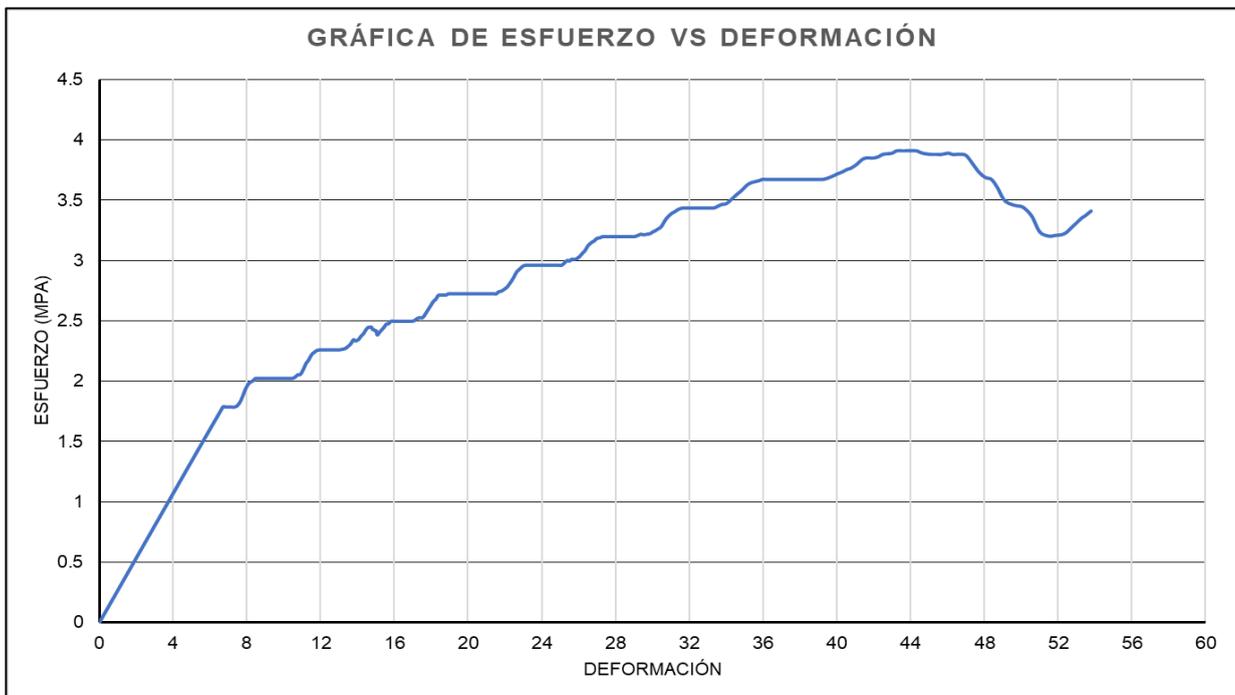
- Componente A = 125 ml.
- Componente B = 125 ml.
- Longitud = 104 mm.
- Diámetro = 50.8 mm.
- Área = 2026.8 mm².
- Volumen peso = 1.186 Kg/dm³.
- Temperatura = 28.4 °C.
- Peso = 0.250 kg.
- Inicio de mezcla = 11:18:08 am.
- Terminó de mezcla = 11:22:49 am.
- Apertura de probeta = 14-12-2022 / 09:21:43 am.

Gráfica 6.

Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°395



Fuente: Elaboración Propia

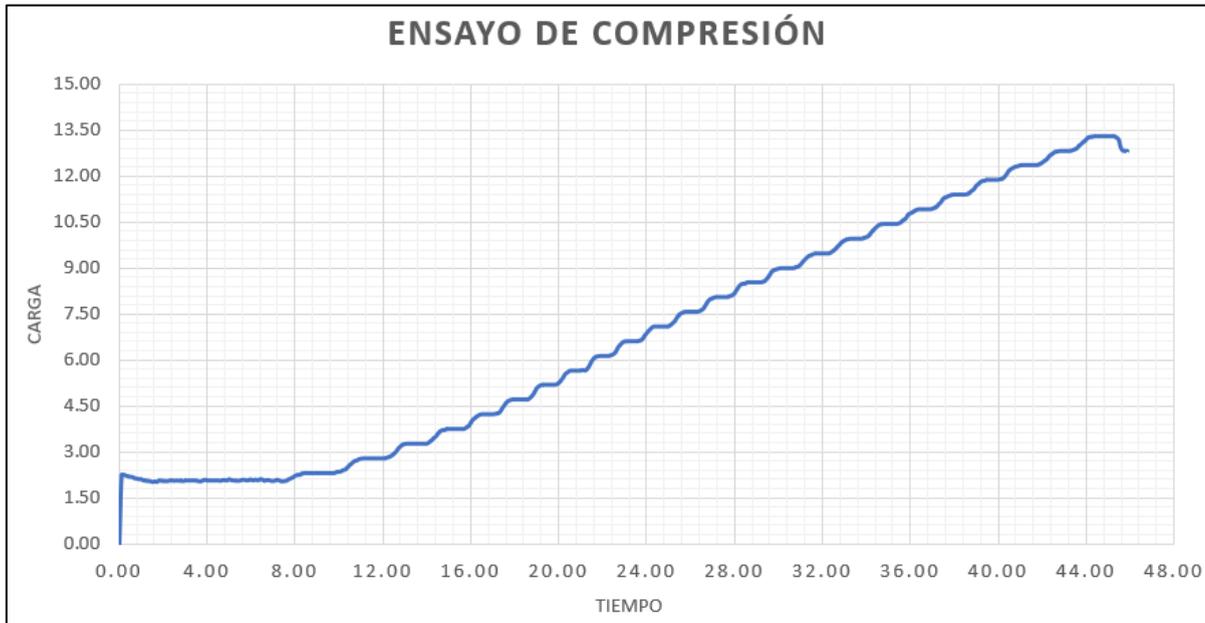
Gráfica 7.*Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°395**Fuente: Elaboración Propia***Ensayo N°403:**

- Componente A = 150 ml.
- Componente B = 150 ml.
- Longitud = 104 mm.
- Diámetro = 50.8 mm.
- Área = 2026.8 mm².
- Volumen peso = 1.257 Kg/dm³.
- Temperatura = 28.6 °C.
- Peso = 0.265 kg.
- Inicio de mezcla = 13:15:13 am.
- Terminó de mezcla = 13:17:16 am.

- Apertura de probeta = 14-12-2022 / 09:42:03 am.

Gráfica 8.

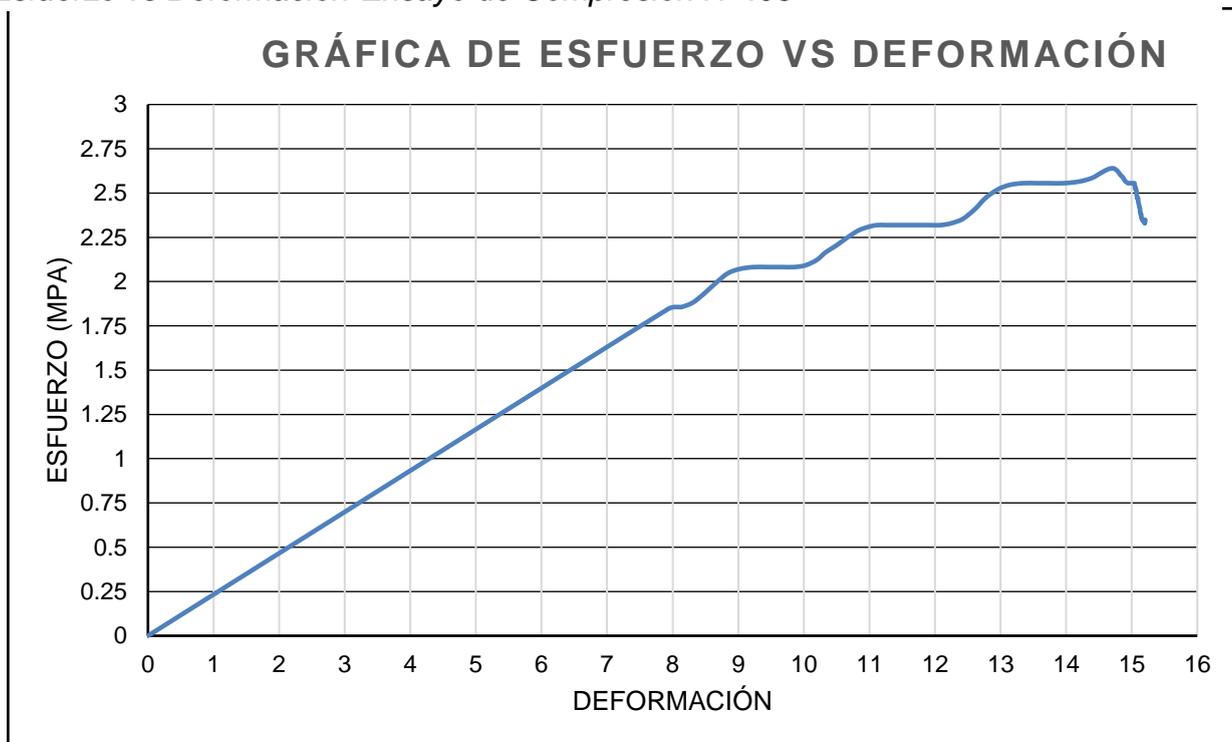
Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°403



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 9.

Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°403



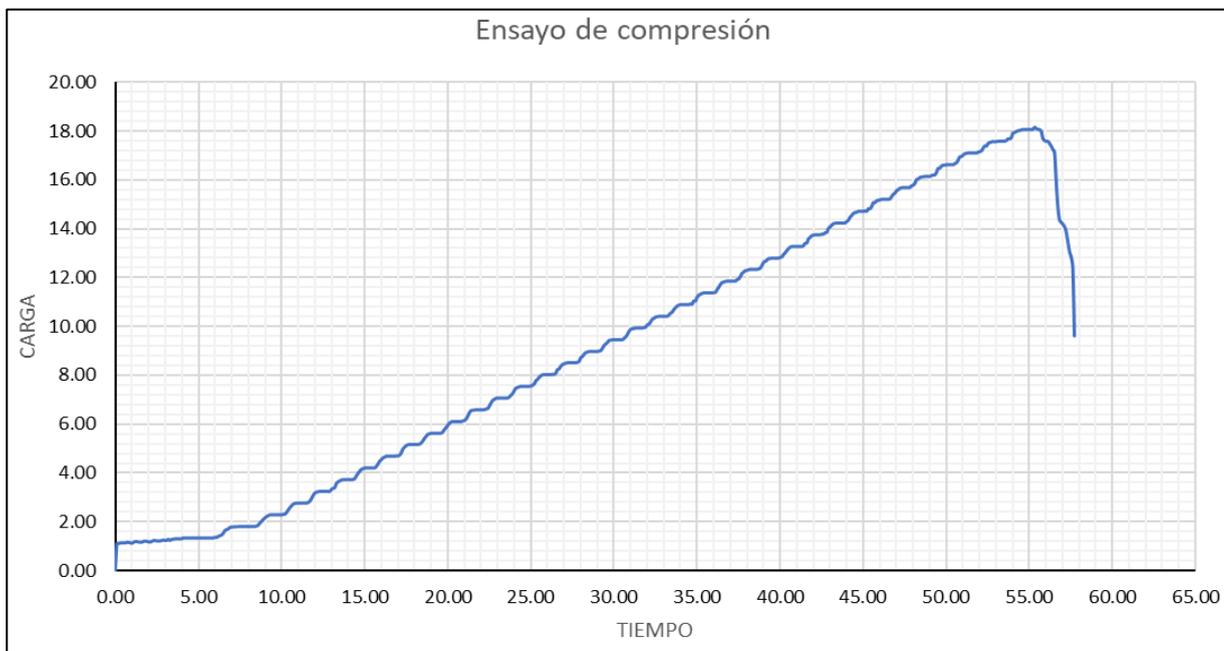
Fuente: Elaboración Propia

Ensayo N°405:

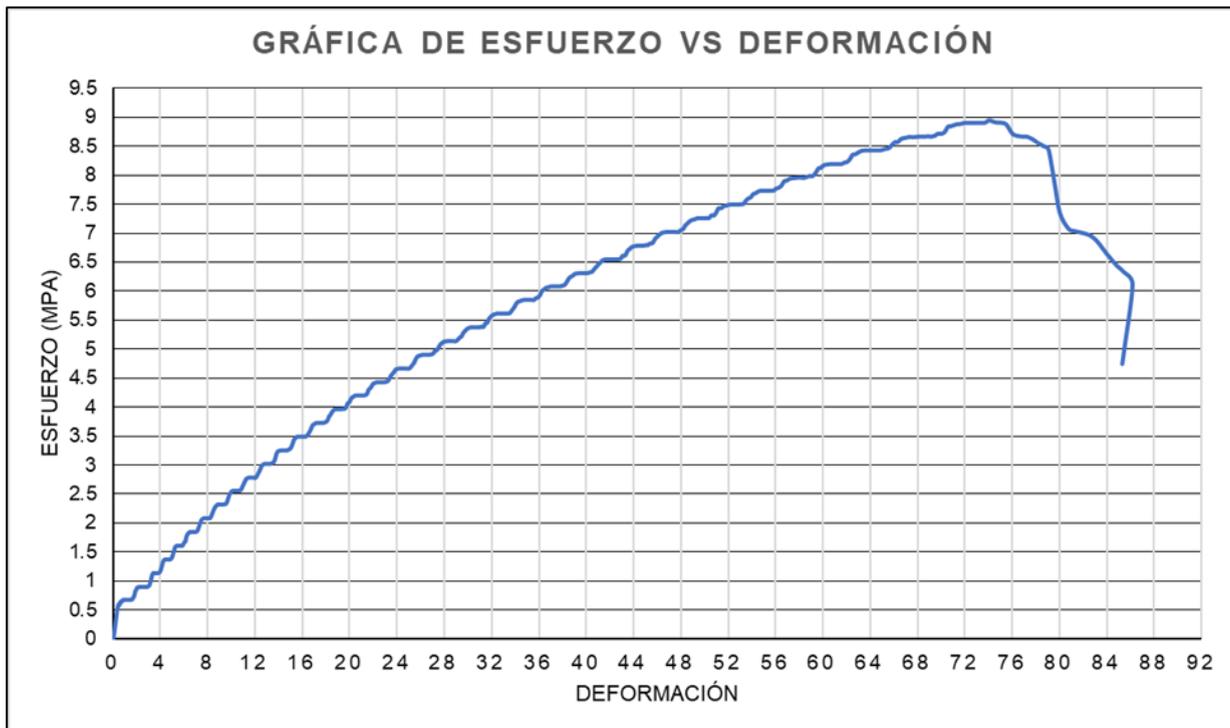
- Componente A = 150 ml.
- Componente B = 150 ml.
- Longitud = 110 mm.
- Diámetro = 50.8 mm.
- Área = 2026.8 mm².
- Volumen peso = 1.260 Kg/dm³.
- Temperatura = 31.8 °C.
- Peso = 0.281 kg.
- Inicio de mezcla = 13:17:09 am.
- Terminó de mezcla = 13:19:36 am.
- Apertura de probeta = 14-12-2022 / 09:48:07 am.

Gráfica 10.

Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°405



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 11.*Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°405**Fuente: Elaboración Propia*

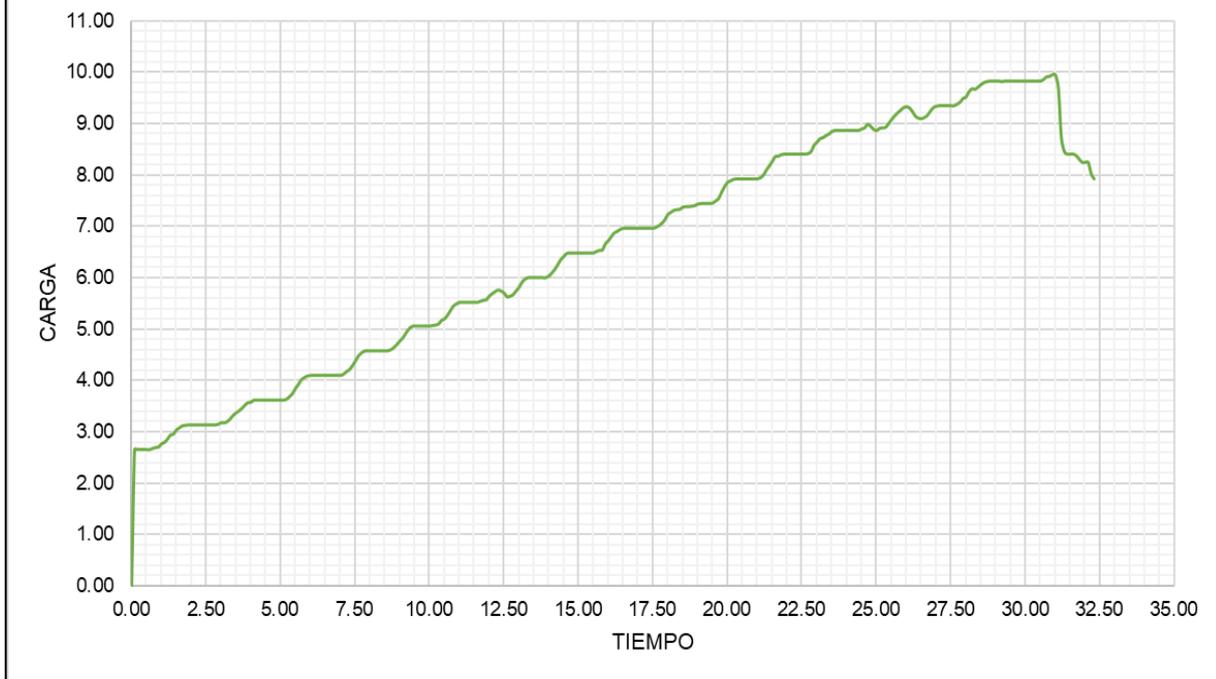
4.3.2.1.3.2. Proporción de resina 40/60:

Ensayo N°396:

- Componente A = 100 ml.
- Componente B = 150 ml.
- Longitud = 100 mm.
- Diámetro = 50.8 mm.
- Área = 2026.8 mm².
- Volumen peso = 1.002 Kg/dm³.
- Temperatura = 26.2 °C.
- Peso = 0.203 kg.
- Inicio de mezcla = 11:39:08 am.
- Termino de mezcla = 11:42:19 am.
- Apertura de probeta = 14-12-2022 / 09:27:03 am.

Gráfica 12.

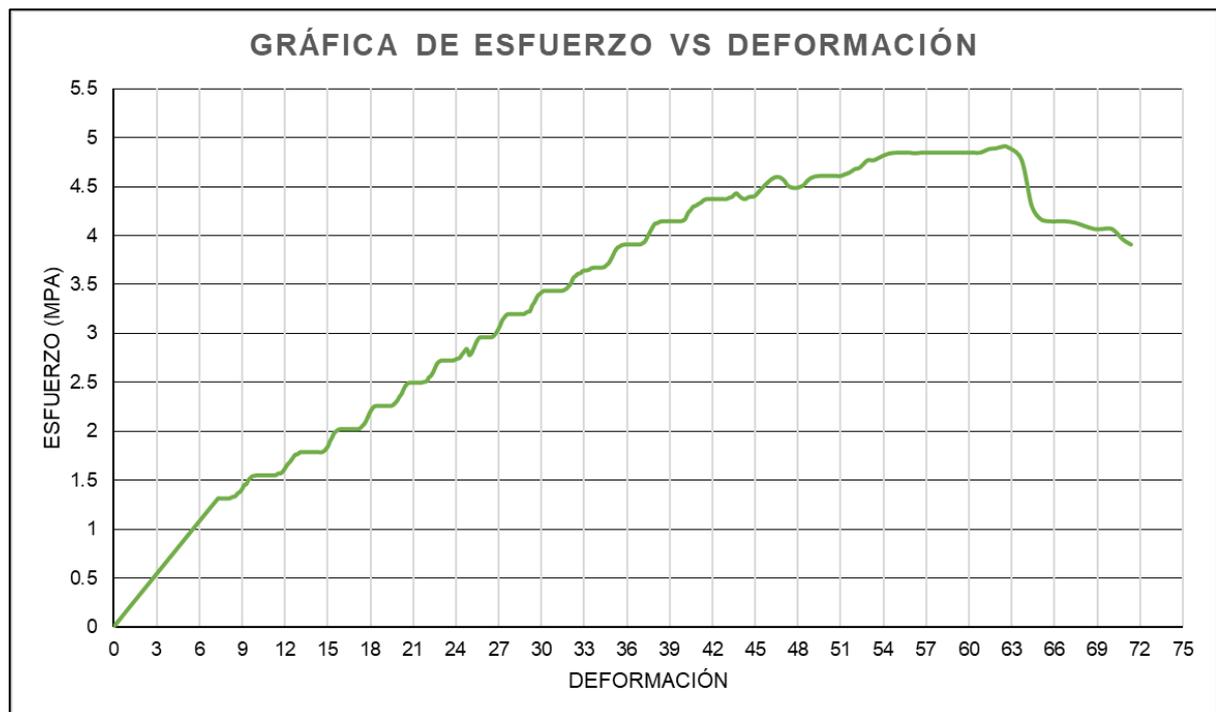
Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°396
 Ensayo de compresión



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 13.

Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°396



Fuente: Elaboración Propia

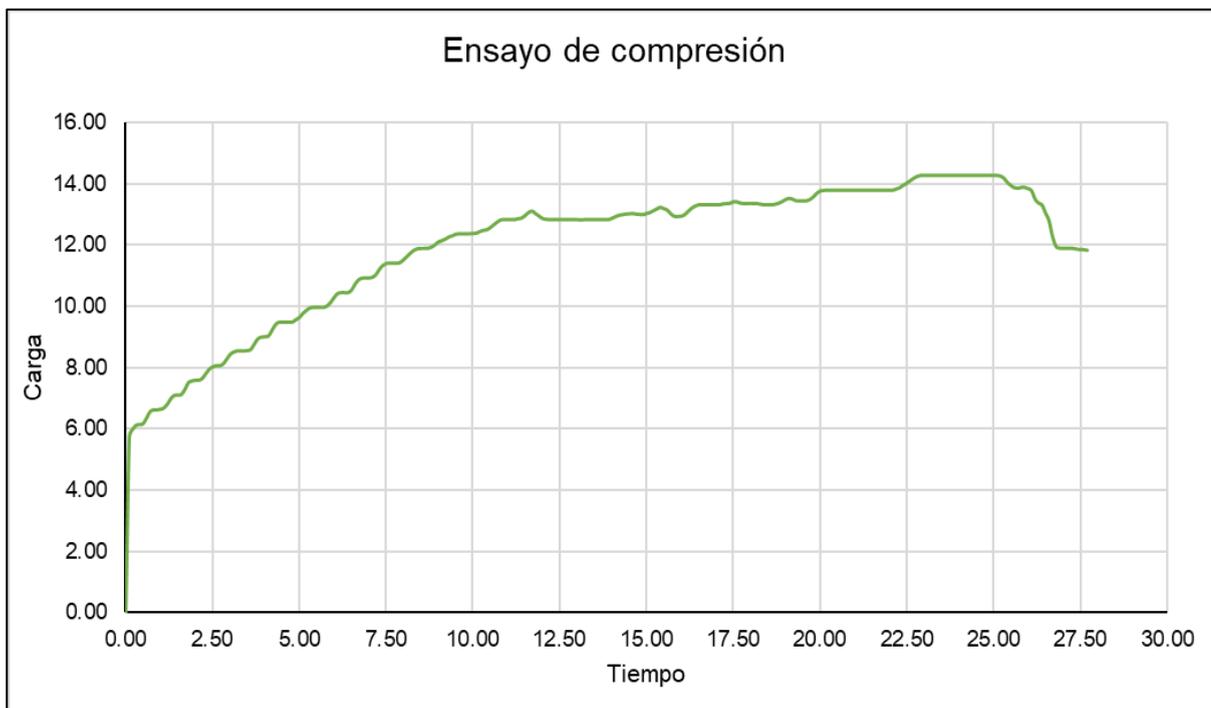
4.3.2.1.3.3. Proporción de resina 60/40:

Ensayo N°402:

- Componente A = 150 ml.
- Componente B = 100 ml.
- Longitud = 102 mm.
- Diámetro = 50.8 mm.
- Área = 2026.8 mm².
- Volumen peso = 1.209 Kg/dm³.
- Temperatura = 39.6 °C.
- Peso = 0.250 kg.
- Inicio de mezcla = 11:31:18 am.
- Terminó de mezcla = 11:34:43 am.
- Apertura de probeta = 14-12-2022 / 09:30:26 am.

Gráfica 14.

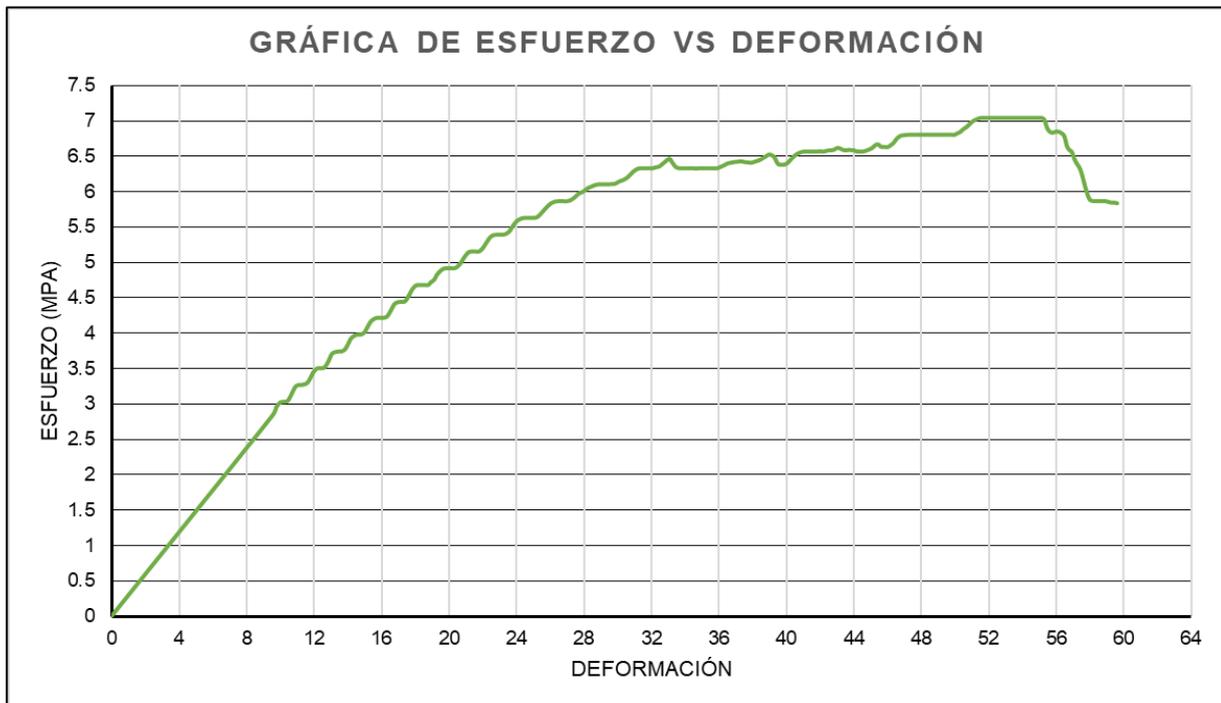
Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°402



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 15.

Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°402

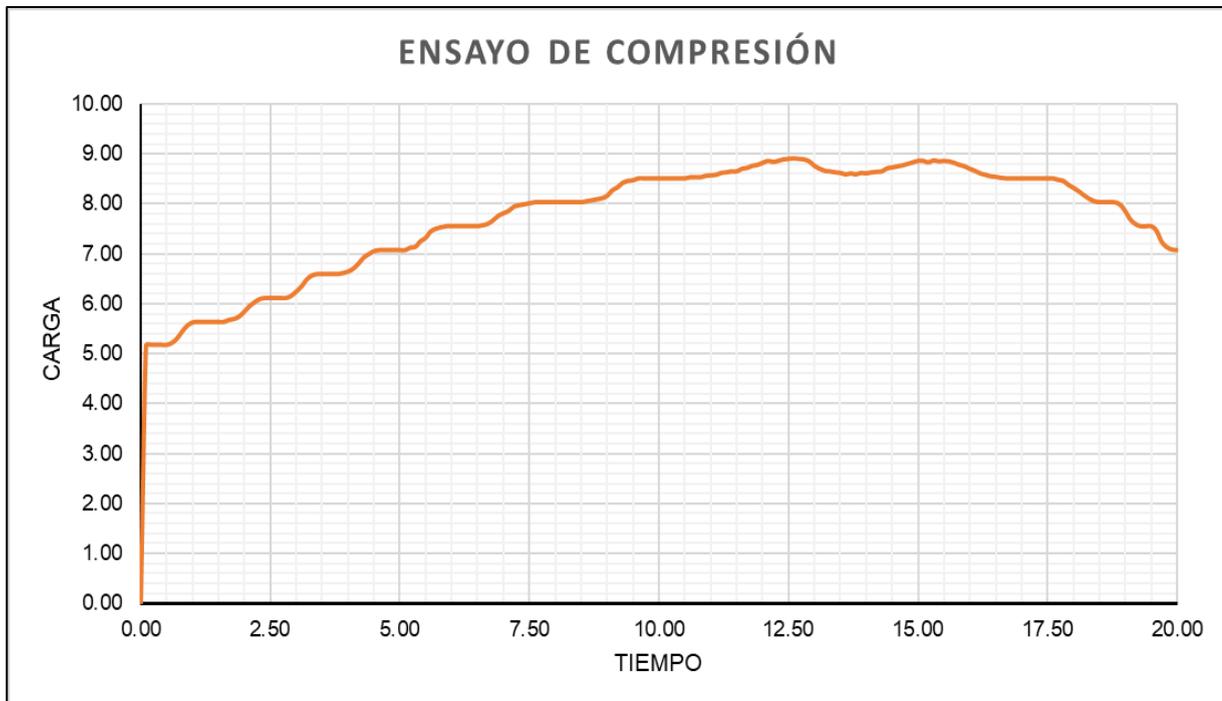
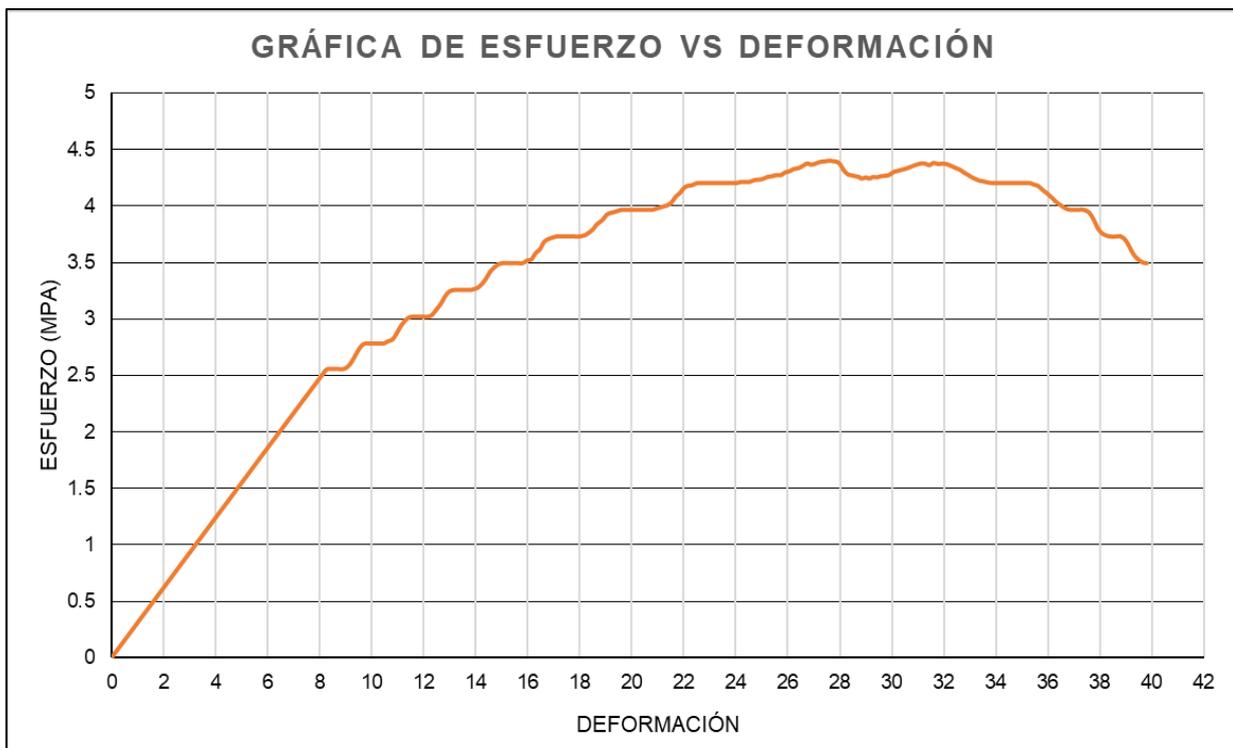


Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.1.3.4. Proporción de resina 30/70:

Ensayo N °401:

- Componente A = 75 ml.
- Componente B = 125 ml.
- Longitud = 140 mm.
- Diámetro = 50.8 mm.
- Área = 2026.8 mm².
- Volumen peso = 0.655 Kg/dm³.
- Temperatura = 39.7 °C.
- Peso = 0.186 kg.
- Inicio de mezcla = 11:52:35 am.
- Termino de mezcla = 11:55:29 am.
- Apertura de probeta = 14-12-2022 / 09:33:15 am.

Gráfica 16.*Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°401**Fuente: Elaboración Propia***Gráfica 17.***Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°401**Fuente: Elaboración Propia*

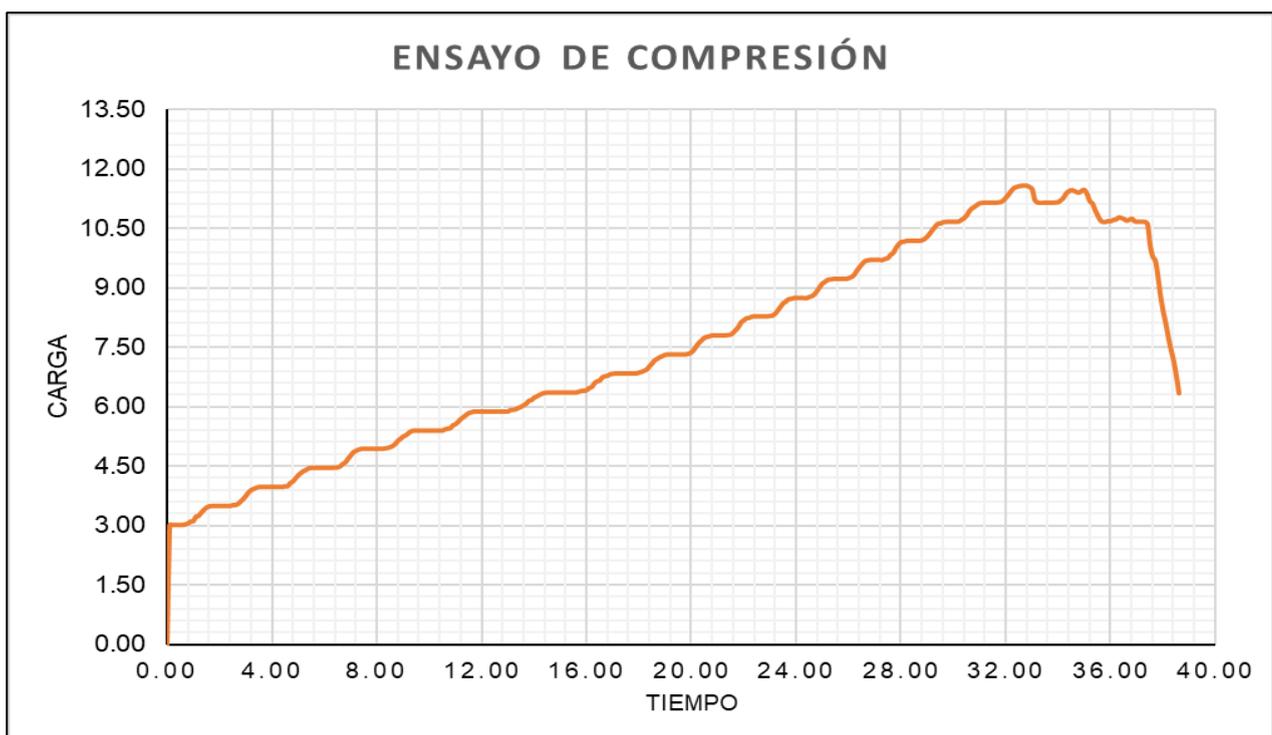
4.3.2.1.3.5. Proporción de resina 70/30:

Ensayo N° 380:

- Componente A = 125 ml.
- Componente B = 75 ml.
- Longitud = 81 mm.
- Diámetro = 25 mm.
- Área = 2026.8 mm².
- Volumen peso = 1.226 Kg/dm³.
- Temperatura = 27.5 °C.
- Peso = 0.202 kg.
- Inicio de mezcla = 11:57:23 am.
- Terminó de mezcla = 11:59:43 am.
- Apertura de probeta = 14-12-2022 / 09:36:26 am.

Gráfica 18.

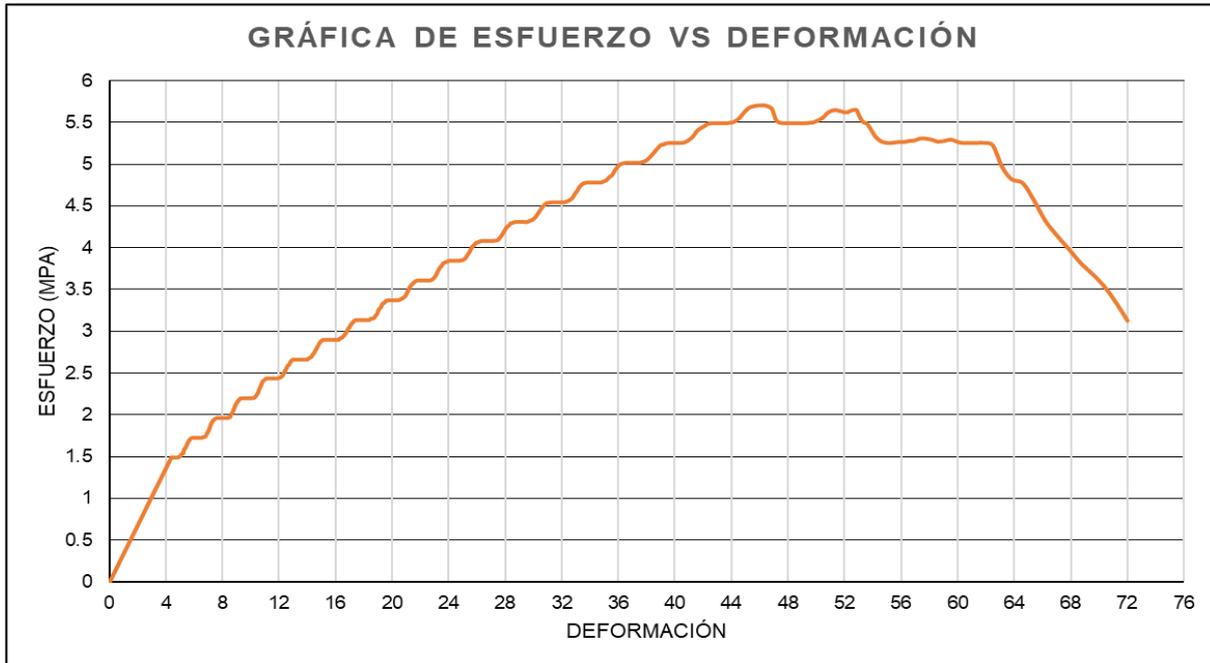
Carga vs Tiempo-Ensayo de Compresión N°380



Fuente: Elaboración Propia

Gráfica 19.

Esfuerzo vs Deformación-Ensayo de Compresión N°380



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.3. Ensayo de dureza

La dureza de un material se define como la resistencia de su superficie a la deformación plástica permanente causada por el desgaste o penetración del material. Siempre es cierto que la dureza de un material es inversamente proporcional a la marca que queda en su superficie cuando se le aplica una fuerza.

En otras palabras, la dureza se considera la propiedad de que un material generalmente debe resistir la penetración de un sangrado bajo carga, por lo que la dureza es la resistencia de un material a la deformación plástica que se produce en su superficie. (Ingemecanica, 2018).

Pero la rigidez no es la principal propiedad de un material. Sin embargo, cuando se extraen conclusiones de las comprobaciones de dureza, el valor cuantitativo debe valorarse siempre en relación con:

- La carga aplicada en el penetrador.
- Un perfil de tiempo de carga específico y una duración de carga específica.
- Una geometría de penetrador específica.

Por tanto, las medidas de dureza generalmente se pueden utilizar:

- Valorar la eficacia del tratamiento térmico.
- Valorar la resistencia al desgaste de un material.
- Valorar la maquinabilidad del material.
- Estimar la resistencia a la tracción de un material.

4.3.1.3.1. Preparación del ensayo de dureza

A menudo se utilizan pruebas de dureza y tensión para la selección de materiales y control de calidad. Debido a la automatización del ciclo de medida, se prefiere el uso de pruebas de dureza en las líneas de producción como herramienta de clasificación y control de calidad. método tradicional. En este sentido, algunos instrumentos pueden conseguir ciclos de medida automática muy rápidamente con poca o ninguna intervención del operador.

Para determinar la dureza de las muestras de la barra helicoidal estudiadas en este trabajo, se decidió realizar la dureza de Vickers. Dado que el Laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Universidad Nacional de Trujillo dispone de una máquina de ensayo de dureza Vickers, se decidió determinar la dureza mediante la siguiente prueba.

4.3.1.3.2. Realización del ensayo de dureza

La prueba de dureza Vickers consiste en determinar la dureza de un material incrustando una pirámide tetraédrica con un diamante con un ángulo entre los bordes de 136° . El valor numérico de la rigidez se obtiene dividiendo la carga entre las superficies laterales de la banda de rodadura según las especificaciones. (materiales phemycs, 2019).

Para el ensayo, prepare la pieza para el pulido de forma que las medidas ópticas sean precisas. En el curso de la prueba, el penetrador presionará contra la muestra con una carga controlada y precisa. Esta subida tardará entre 10 y 15 segundos. Este período se llama tiempo de residencia. Después de un cierto tiempo de retraso, la carga se elimina. A continuación, se hace una marca cuadrada (agujero, impresión o huella) en la superficie de la muestra de la que se toman medidas para ayudar a determinar la dureza del material. Un sistema de medida óptico será el encargado de determinar el tamaño de la hemorragia. Esto se hace midiendo la diagonal de las ranuras cuadradas restantes.

4.3.1.3.3. Obtención de resultados

Medición de dureza Hardness Vickers (10 kg-f) (Probeta de acero)

Muestra 01:

Tabla 2.

Datos de Dureza HV10-Muestra 1

Indentación	Dureza HV10
1	253.00
2	255.00
3	258.00
4	259.00
5	256.00
6	260.00
7	256.00
8	264.00
9	267.00
10	264.00
Promedio	259.20

Fuente: Elaboración Propia

Medición de dureza Hardness Shore D60

Muestra 01:

Tabla 3.

Datos de Dureza HS D60-Muestra 1

Indentación	Dureza HS D60
1	32.60
2	32.50
3	32.50
4	32.50
5	35.60
6	33.90
7	36.90
8	39.40
9	32.50
10	32.60
Promedio	34.10

Fuente: Elaboración Propia

Muestra 02:**Tabla 4.***Datos de Dureza HS D60-Muestra 2*

Indentación	Dureza HS D60
1	43.50
2	39.00
3	43.40
4	42.10
5	44.70
6	39.50
7	37.70
8	40.80
9	39.00
10	43.50
Promedio	41.24

*Fuente: Elaboración Propia***Muestra 03:****Tabla 5.***Datos de Dureza HS D60-Muestra 3*

Indentación	Dureza HS D60
1	33.00
2	38.20
3	38.70
4	38.00
5	40.90
6	35.90
7	37.40
8	39.90
9	38.20
10	33.00
Promedio	37.32

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.4. Propiedad microestructural

La microestructura es la configuración muy pequeña de un material, definida como la estructura de la superficie acabada de un material que se puede ver bajo un microscopio óptico con un aumento de más de 25x. La microestructura de un material (por ejemplo, metales, polímeros, cerámicas o compuestos) puede influir significativamente en propiedades físicas como la resistencia, la durabilidad, la tenacidad, la dureza, la resistencia a la corrosión, el comportamiento a altas y bajas temperaturas o la resistencia al desgaste. Estas propiedades, a su vez, guían el uso de estos materiales en la práctica industrial.

4.3.1.4.1. Metalografía

La metalografía es una disciplina que examina microscópicamente las propiedades estructurales de un metal o aleación, buscando microestructura, impurezas, tratamientos térmicos, micro encendidos, para determinar si el material cumple con los requisitos para los que fue diseñado; También ofrecemos materiales fundidos, forjados y laminados. Detectamos la distribución de fases en la formación de aleaciones y rodamientos no metálicos, así como la presencia de segregación y otras irregularidades.

El análisis metalográfico, o metalografía, es el estudio de la estructura microscópica de los materiales para determinar si se han procesado correctamente. Este es un paso importante para determinar la confiabilidad del producto o la causa de la falla. proceso de corrosión. Por lo tanto, se recomienda la metalografía como ayuda para el control de la corrosión y las técnicas de evaluación. (Instituto de Corrosion y Proteccion, 2013).

4.3.1.4.2. Resultado de metalografía

Las propiedades físicas y el comportamiento de los aceros a diversas temperaturas dependen en gran medida del contenido de carbono y su distribución. La mayoría de los aceros antes del tratamiento térmico son una mezcla de tres sustancias: ferrita, perlita y cementita.

La ferrita maleable es un tipo de hierro que contiene poco carbono disuelto u otros elementos. La cementita es una aleación de hierro muy duro y quebradizo que contiene unos 6,67 átomos de carbono. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita con una

estructura y composición específicas. Sus propiedades físicas se encuentran entre ambos componentes.

La resistencia y dureza del acero templado y templado está determinada por estos tres componentes. Cuanto mayor sea el contenido de carbono del acero, menos ferrita y más perlita. Si el acero contiene un 0,8% de carbono, contiene perlita. El acero de alto carbono es una mezcla de perlita y cementita.

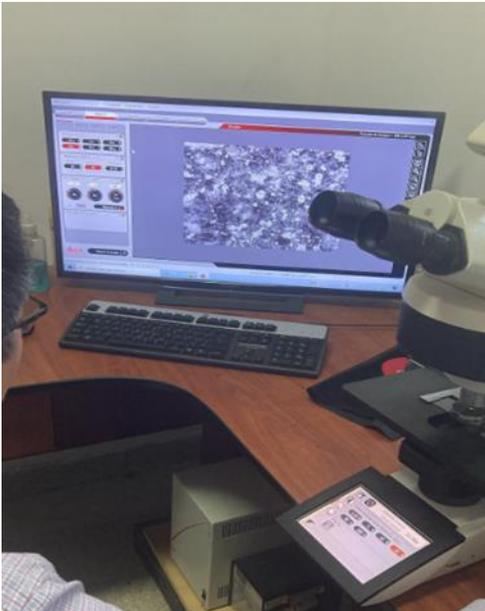
La importancia de la microscopía proviene de la influencia de la composición química de los compuestos. Estos compuestos aparecen como compuestos intermetálicos con una estructura química bien definida y se dispersan como cristales mezclados de forma homogénea en soluciones sólidas. formas de compuestos eutécticos, etc.

Estos componentes se llaman componentes metalográficos y las propiedades físicas de una aleación dependen de sus proporciones, formas y relaciones. Por tanto, el desarrollo de métodos que nos ayuden a observar estos componentes debería ser un esfuerzo consciente para estudiar regiones microscópicas representativas de los fenómenos observados, teniendo en cuenta su origen. Conseguir una superficie perfectamente plana y pulida en el espejo garantiza resultados precisos. Depende de la minuciosidad y el cuidado, en especial cuando se trabaja con técnicas tradicionales. La elección del grabador y la magnificación con la que se ven los diferentes componentes se encuentran entre las variables utilizadas en el análisis metalográfico, al igual que las masas y tamaños observados.

Nuestra observación metalográfica nos arrojó como dato de muestra que el tipo de acero era perteneciente a un acero ferrito perlítico.

Figura 7.

Observación en microscopio óptico para estudio metalográfico.



Fuente: Elaboración Propia.

En el acero, el carbono suele ligarse o disolverse en forma de cementita, sin embargo, raramente en forma de grafito. Por tanto, sólo se utiliza el diagrama de equilibrio metaestable Fe-Fe₃C para el estudio del acero. La composición equilibrada del acero es:

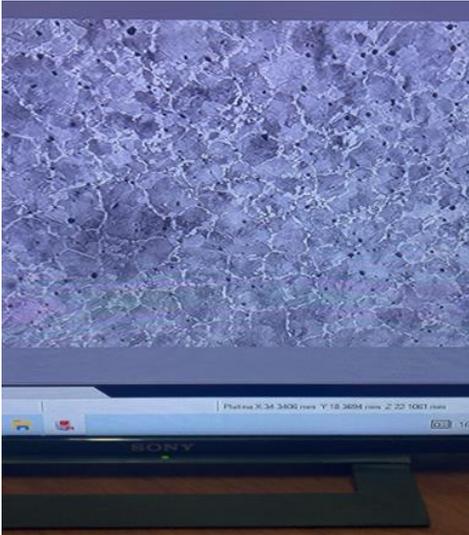
Ferrita: Esta aleación se forma a partir de una solución sólida de carbono en hierro alfa. Es la parte más blanda del acero, sin embargo, incluso la más dura y más quebradiza, con una resistencia a la tracción de 2800 N/mm² y un alargamiento del 35%. Su máxima solubilidad es del 0,008%. De la misma forma, a la solución se pueden añadir otros elementos como Si, P, Ni, Cr, Cu. Aparece en forma de impurezas o elementos de aleación en el acero. La ferrita se presenta como componente del acero hipoeutectoide y se combina con la cementita para formar un componente de perlita. Cuando el contenido de carbono del acero es muy bajo, su estructura consiste casi completamente en granos de ferrita, cuyos límites son claramente visibles en el microscopio y son atacados por el ácido nítrico.

Perlita: Se forma como una mezcla eutéctica bifásica de ferrita y cementita con una composición del 0,80% a 723 °C. Su estructura está formada por capas alternas de ferrita y cementita, el grosor de la capa de ferrita es superior al de la cementita y todavía se encuentra en reposo después del aguafuerte con ácido nítrico. Tire de la placa de ferrita.

La perlita es más dura y dúctil que la ferrita, sin embargo, más suave y dúctil que la cementita. Es plano, mallado y esférico.

Figura 8.

Fotografía metalográfica.



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2. Interpretación de resultados

4.3.2.1. Prueba estadística t Student

Una prueba t de Student es un instrumento para evaluar el promedio de uno o 2 conjuntos a través de una prueba de premisa.

Nuestra propuesta de investigación es la prueba estadística de t student pareada, ya que compararemos los dos materiales estudiados: la resina Carbothix y el perno helicoidal.

El método de prueba T de muestras emparejadas compara el promedio de 2 variables de un conjunto. Este método calcula la diferencia entre los valores de las dos variables en cada caso y prueba si la media se diferencia de 0. Este método también mecaniza el cálculo del tamaño del impacto de la prueba t.

4.3.2.1.1. Dureza (Perno muestra 1- Resina muestra 1)

La escala de dureza del perno helicoidal es la escala vickers y para la resina es la escala shore D, por lo que se propuso transformar la escala shore D a escala vickers, para así poder hacer la prueba estadística t student pareada, ya que esta se tiene que trabajar con valores de la misma magnitud.

- Paso 1: Obtener datos de la muestra 1 del perno. Véase en Tabla 2.
- Paso 2: Obtener datos de la muestra 1 de la resina. Véase en Tabla 3.
- Paso 3: Transformar escala Shore D a escala Shore A

Tabla 6.

Conversión de durómetro shore

TABLA DE CONVERSIÓN DE DURÓMETRO SHORE				
A	B	C	D	O
100	85	77	58	
95	81	70	46	
90	76	59	39	
85	71	52	33	
80	66	47	29	84
75	62	42	25	79
70	56	37	22	75
65	51	32	19	72
60	47	28	16	69
55	42	24	14	65
50	37	20	12	61
45	32	17	10	57
40	27	14	8	53
35	22	12	7	48
30	17	9	6	42
25	12			35
20				28
15				21
10				14
5				8

Fuente: Polymerdatabase, (2022)

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 7.

Límites superiores e inferiores Shore A y Shore D- t student dureza (Perno muestra 1- Resina muestra 1)

SHORE A	SHORE D
90	39
95	46
100	58

Fuente: Polymerdatabase, (2022)

Proceso de Interpolación

Tabla 8.

Nomenclatura de Interpolación-Shore A y Shore D

SHORE A	SHORE D
A ₁	D ₁
A ₀	D ₀
A ₂	D ₂

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{D_2 - D_1}{D_0 - D_1} = \frac{A_2 - A_1}{A_0 - A_1}$$

$$A_0 = \frac{(A_2 - A_1)(D_0 - D_1)}{D_2 - D_1} + A_1$$

Interpolamos

Tabla 9.

Conversión de escala Shore D a Shore A- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

INDENTACION	HS D60	SHORE A
1	32.60	89.42
2	32.50	85.36
3	32.50	89.38
4	32.50	85.36
5	35.60	87.57
6	33.90	86.36
7	36.90	91.21
8	39.40	92.25
9	32.50	89.38
10	32.60	85.43
PROMEDIO	34.10	88.17

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Transformar escala Shore A a escala Vickers (sin considerar la carga aplicada)

Figura 9.

Escala Shore A-Vickers



Fuente: Polymerdatabase, (2022)

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 10.

Límites superiores e inferiores Shore A y Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

SHORE A	VICKERS
90	700
95	800
100	900

Fuente: Elaboración Propia

Proceso de Interpolación

Tabla 11.

Nomenclatura de Interpolación-Vickers y Shore A

VICKERS	SHORE A
V_1	A_1
V_0	A_0
V_2	A_2

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{A_2 - A_1}{A_0 - A_1} = \frac{V_2 - V_1}{V_0 - V_1}$$

$$V_0 = \frac{(V_2 - V_1)(A_0 - A_1)}{A_2 - A_1} + V_1$$

Interpolamos

Tabla 12.

Conversión de escala Shore A a Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

INDENTACION	SHORE A	VICKERS
1	89.42	688.33
2	85.36	607.14
3	89.38	687.50
4	85.36	607.14
5	87.57	651.43
6	86.36	627.14
7	91.21	724.17
8	92.25	745.00
9	89.38	687.50
10	85.43	608.57
PROMEDIO	88.17	663.39

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 5: Equivalencias de carga aplicada en resina y perno

Carga aplicada en perno: 10 kgf

Carga aplicada en resina: 26.7 N = 2.72 kgf

10 carga aplicada en perno = 2.72 carga aplicada en resina

3.67 carga aplicada en perno = carga aplicada en resina

Tabla 13.

Durometría según escala Shore A y Shore D

Tabelle 1: Sollwerte der Federcharakteristika für Härteprüfgeräte nach Shore A und Shore D

Shore-Härte-Einheiten	Weg des Eindringkörpers mm	Federkraft F mN	
		Shore A ± 40	Shore D ± 200
0	$2,5 \pm 0,02$	550	0
10	lineare Charakteristik	1 300	¹⁾
20		2 050	8 900
30		2 805	13 350
40		3 555	17 800
50		4 305	22 250
60		5 060	26 700
70		5 810	31 150
80		6 560	35 600
90		7 310	40 050
100	0	8 065	44 500

¹⁾ Durch den Beginn der Federkraft mit 0 (keine Vorkraft) bei Shore D ist die vorgeschriebene Federcharakteristik im unteren Bereich bis etwa 10 Härteeinheiten nicht in der vorgegebenen Geradlinigkeit einhaltbar, weshalb der exakte Sollwert weggelassen wurde.

Fuente: Norma DIN 53505

- Paso 6: Transformar escala Vickers sin carga aplicada a escala Vickers considerando la carga aplicada

Dividimos la escala hallada entre el factor de conversión: 3.67 para tener equivalencias entre las cargas aplicadas de la resina y perno.

Tabla 14.

Conversión escala Vickers sin carga aplicada a carga aplicada- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

INDENTACION	E.V.SIN CARGA	E.V.CON CARGA
1	688.33	187.34
2	607.14	165.25
3	687.50	187.12
4	607.14	165.25
5	651.43	177.30
6	627.14	170.69
7	724.17	197.10
8	745.00	202.77
9	687.50	187.12
10	608.57	165.64
PROMEDIO	663.39	180.56

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 7: Obtenemos la escala vickers y la escala shore D previamente equiparadas.

Tabla 15.

Datos de dureza en acero y resina- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

INDENTACION	HV 10	HS D60
1	253.00	187.00
2	255.00	165.00
3	258.00	187.00
4	259.00	165.00
5	256.00	177.00
6	260.00	171.00
7	256.00	197.00
8	264.00	203.00
9	267.00	187.00
10	264.00	166.00
PROMEDIO	259.20	180.50

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 8: Calculamos las diferencias de escalas de dureza y sus promedios.

Tabla 16.

Diferencias de escalas de dureza y sus promedios- t student dureza (Perno muestra 1- Resina muestra 1)

INDENTACION	HV 10	HS D60	d
1	253.00	187.00	66.00
2	255.00	165.00	90.00
3	258.00	187.00	71.00
4	259.00	165.00	94.00
5	256.00	177.00	79.00
6	260.00	171.00	89.00
7	256.00	197.00	59.00
8	264.00	203.00	61.00
9	267.00	187.00	80.00
10	264.00	166.00	98.00
PROMEDIO	259.00	181.00	79.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 9: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H_0 : Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias aritméticas de las durezas de la resina y perno

H_i : Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las durezas de la resina y perno.

- Paso 10: Calculamos el valor estadístico (t)

$$t = \frac{d}{S_d / \sqrt{n}} \quad t = \frac{78.70}{14 / \sqrt{10}} = 17.78$$

t: Valor estadístico

d: Promedio de las diferencias; d=78.70

S_d: Desv. Estándar de las diferencias; S_d= 14

n: número de datos por columna; n= 10

- Paso 11: Calculamos el valor estadístico crítico ($t_{\text{crítico}}$)

Como las diferencias de las escalas de dureza son significativas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, calcular el valor estadístico crítico con la unilateralidad a la derecha.

$$t < -t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right), (n-1)} \text{ o } t > t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right), (n-1)} \text{ (Bilateral)}$$

$$t > t_{(1-\alpha), (n-1)} \text{ (Unilateral derecha)}$$

$$t < t_{(\alpha), (n-1)} \text{ (Unilateral izquierda)}$$

t: Valor estadístico
gl: n-1: Grados de libertad
 α : Probabilidad estadística

$$n-1=9$$

$$\alpha = 5\%$$

$$t > t_{(1-\alpha)(n-1)}$$

Calculamos el $t_{\text{crítico}}$ con unilateralidad a la derecha

$$t_{(1-\alpha)(n-1)} = 1.83$$

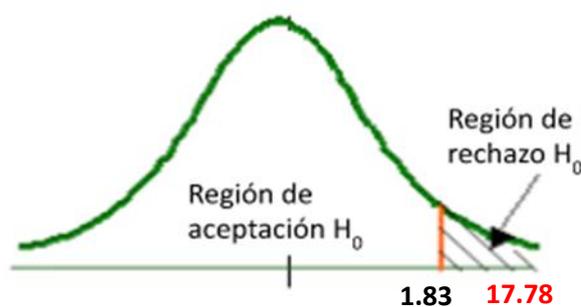
$$17.78 > 1.83$$

Corroboramos que el valor t estadístico es mayor que el valor t crítico, por lo tanto, la unilateralidad a la derecha es correcta

- Paso 12: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 20.

Región de aceptación o rechazo de H_0 - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 1)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.1.2. Dureza (Perno muestra 1- Resina muestra 02)

La escala de dureza del perno helicoidal es la escala vickers y para la resina es la escala shore D, por lo que se propuso transformar la escala shore D a escala vickers, para así poder hacer la prueba estadística t student pareada, ya que esta se tiene que trabajar con valores de la misma magnitud.

- Paso 1: Obtener datos de la muestra 1 del perno. Véase en Tabla 2.
- Paso 2: Obtener datos de la muestra 2 de la resina. Véase en Tabla 4.
- Paso 3: Transformar escala Shore D a escala Shore A. Véase en Tabla 6.

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 17.

Límites superiores e inferiores Shore A y Shore D- t student dureza (Perno muestra 1- Resina muestra 2)

SHORE A	SHORE D
90	39
95	46
100	58

Fuente: Polymerdatabase, (2022)

Proceso de Interpolación. Véase en Tabla 8.

$$\frac{D_2 - D_1}{D_0 - D_1} = \frac{A_2 - A_1}{A_0 - A_1}$$

$$A_0 = \frac{(A_2 - A_1)(D_0 - D_1)}{D_2 - D_1} + A_1$$

Interpolamos

Tabla 18.

Conversión de escala Shore D a Shore A- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

INDENTACION	HS D60	SHORE A
1	43.50	93.96
2	39.00	90.00
3	43.40	93.92
4	41.34	91.67
5	44.70	94.07
6	39.50	90.36
7	37.70	91.54
8	40.80	92.83
9	39.00	92.08
10	43.50	93.21
PROMEDIO	41.24	92.36

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Transformar escala Shore A a escala Vickers (sin considerar la carga aplicada)

Con la gráfica, ubicamos los datos , para determinar los límites, Veáse en la Figura 9.

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 19.

Escala Shore A y Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

SHORE A	VICKERS
90	700
95	800
100	900

Fuente: Elaboración Propia

Proceso de Interpolación. Veáse en la Tabla 11.

$$\frac{A_2 - A_1}{A_0 - A_1} = \frac{V_2 - V_1}{V_0 - V_1}$$

$$V_0 = \frac{(V_2 - V_1)(A_0 - A_1)}{A_2 - A_1} + V_1$$

Interpolamos

Tabla 20.

Conversión de escala Shore A a Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

INDENTACION	SHORE A	VICKERS
1	93.96	779.17
2	90.00	700.00
3	93.92	778.33
4	91.67	733.43
5	94.07	781.43
6	90.36	707.14
7	91.54	730.83
8	92.83	756.67
9	92.08	741.67
10	93.21	764.29
PROMEDIO	92.36	747.30

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 5: Equivalencias de carga aplicada en resina y perno

Carga aplicada en perno: 10 kgf

Carga aplicada en resina: 26.7 N =2.72 kgf

10 carga aplicada en perno = 2.72 carga aplicada en resina

3.67 carga aplicada en perno = carga aplicada en resina

Para hallar la carga aplicada en resina, Véase la Tabla 13.

- Paso 6: Transformar escala Vickers sin carga aplicada a escala Vickers considerando la carga aplicada
Dividimos la escala hallada entre el factor de conversión: 3.67 para tener equivalencias entre las cargas aplicadas de la resina y perno.

Tabla 21.

Conversión escala Vickers sin carga aplicada a carga aplicada-t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

INDENTACION	E.V.SIN CARGA	E.V.CON CARGA
1	779.17	212.07
2	700.00	190.52
3	778.33	211.84
4	733.43	199.62
5	781.43	212.68
6	707.14	192.46
7	730.83	198.91
8	756.67	205.94
9	741.67	201.86
10	764.29	208.02
PROMEDIO	747.30	203.39

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 7: Obtenemos la escala vickers y la escala shore D previamente equiparadas.

Tabla 22.

Datos de dureza en acero y resina-t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

INDENTACION	HV 10	HS D60
1	253.00	212.00
2	255.00	191.00
3	258.00	212.00
4	259.00	200.00
5	256.00	213.00
6	260.00	192.00
7	256.00	199.00
8	264.00	206.00
9	267.00	202.00
10	264.00	208.00
PROMEDIO	259.20	203.50

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 8: Calculamos las diferencias de escalas de dureza y sus promedios.

Tabla 23.

Diferencias de escalas de dureza y sus promedios-t student dureza (Perno muestra 1- Resina muestra 2)

INDENTACION	HV 10	HS D60	d
1	253.00	212.00	41.00
2	255.00	191.00	64.00
3	258.00	212.00	46.00
4	259.00	200.00	59.00
5	256.00	213.00	43.00
6	260.00	192.00	68.00
7	256.00	199.00	57.00
8	264.00	206.00	58.00
9	267.00	202.00	65.00
10	264.00	208.00	56.00
PROMEDIO	259.00	204.00	56.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 9: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H₀: Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias aritméticas de las durezas de la resina y perno

H_i: Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las durezas de la resina y perno.

- Paso 10: Calculamos el valor estadístico (t)

$$t = \frac{d}{s_d / \sqrt{n}}$$

t: Valor estadístico
d: Promedio de las diferencias
S_d: Desv. Estándar de las diferencias
n: número de datos por columna

$$d=55.70$$

$$n= 10$$

$$S_d= 9.41$$

$$t = \frac{78.70}{14 / \sqrt{10}} = 18.73$$

- Paso 11: Calculamos el valor estadístico crítico ($t_{\text{crítico}}$)

Como las diferencias de las escalas de dureza son significativas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, calcular el valor estadístico crítico con la unilateralidad a la derecha.

$$t < -t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right), (n-1)} \text{ o } t > t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right), (n-1)} \text{ (Bilateral)}$$

$$t > t_{(1-\alpha), (n-1)} \text{ (Unilateral derecha)}$$

$$t < t_{(\alpha), (n-1)} \text{ (Unilateral izquierda)}$$

t: Valor estadístico
gl: n-1: Grados de libertad
 α : Probabilidad estadística

$$n-1=9$$

$$\alpha = 5\%$$

$$t > t_{(1-\alpha)(n-1)}$$

Calculamos el $t_{\text{crítico}}$ con unilateralidad a la derecha

$$t_{(1-\alpha)(n-1)} = 1.83$$

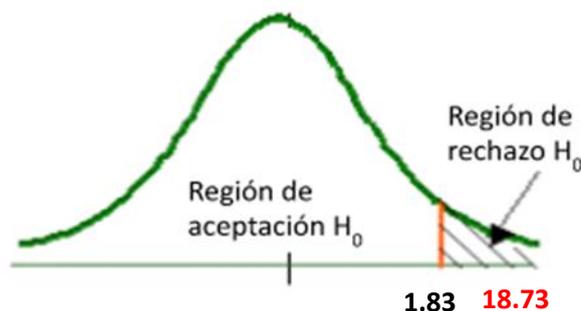
$$18.73 > 1.83$$

Corroboramos que el valor t estadístico es mayor que el valor t crítico, por lo tanto, la unilateralidad a la derecha es correcta.

- Paso 12: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 21.

Región de aceptación o rechazo de H_0 - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 2)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.2.3. Dureza (Perno muestra 1- Resina muestra 3)

La escala de dureza del perno helicoidal es la escala vickers y para la resina es la escala shore D, por lo que se propuso transformar la escala shore D a escala vickers, para así poder hacer la prueba estadística t student pareada, ya que esta se tiene que trabajar con valores de la misma magnitud.

- Paso 1: Obtener datos de la muestra 1 del perno. Véase en la Tabla 2.
- Paso 2: Obtener datos de la muestra 3 de la resina. Véase en la Tabla 5.
- Paso 3: Transformar escala Shore D a escala Shore A. Véase en Tabla 6.

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 24.

Escala Shore A y Shore D - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

SHORE A	SHORE D
90	39
95	46
100	58

Fuente: Polymerdatabase, (2022)

Proceso de Interpolación. Véase en Tabla 8.

$$\frac{D_2 - D_1}{D_0 - D_1} = \frac{A_2 - A_1}{A_0 - A_1}$$

$$A_0 = \frac{(A_2 - A_1)(D_0 - D_1)}{D_2 - D_1} + A_1$$

Interpolamos

Tabla 25.

Conversión de escala Shore D a Shore A- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

INDENTACION	HS D60	SHORE A
1	33.00	89.58
2	38.20	89.43
3	38.70	91.96
4	38.00	89.29
5	40.90	91.36
6	35.90	87.79
7	37.40	91.42
8	39.90	92.46
9	38.20	91.75
10	33.00	85.71
PROMEDIO	37.32	90.07

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Transformar escala Shore A a escala Vickers (sin considerar la carga aplicada)

Con la gráfica, ubicamos los datos , para determinar los límites, Veáse en la Figura 9.

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 26.

Escala Shore A y Vickers - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

SHORE A	VICKERS
90	700
95	800
100	900

Fuente: Elaboración Propia

Proceso de Interpolación. Veáse en la Tabla 11.

$$\frac{A_2 - A_1}{A_0 - A_1} = \frac{V_2 - V_1}{V_0 - V_1}$$

$$V_0 = \frac{(V_2 - V_1)(A_0 - A_1)}{A_2 - A_1} + V_1$$

Interpolamos

Tabla 27.

Conversión de escala Shore A a Vickers- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

INDENTACION	SHORE A	VICKERS
1	89.58	691.67
2	89.43	688.57
3	91.96	739.17
4	89.29	685.71
5	91.36	727.14
6	87.79	655.71
7	91.42	728.33
8	92.46	749.17
9	91.75	735.00
10	85.71	614.29
PROMEDIO	90.07	701.48

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 5: Equivalencias de carga aplicada en resina y perno

Carga aplicada en perno: 10 kgf.

Carga aplicada en resina: 26.7 N =2.72 kgf.

10 carga aplicada en perno = 2.72 carga aplicada en resina

3.67 carga aplicada en perno = carga aplicada en resina

Para hallar la carga aplicada en resina, Véase la Tabla 13.

- Paso 6: Transformar escala Vickers sin carga aplicada a escala Vickers considerando la carga aplicada

Dividimos la escala hallada entre el factor de conversión: 3.67 para tener equivalencias entre las cargas aplicadas de la resina y perno.

Tabla 28. Conversión escala Vickers sin carga aplicada a carga aplicada- t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

INDENTACION	E.V.SIN CARGA	E.V.CON CARGA
1	691.67	188.25
2	688.57	187.41
3	739.17	201.18
4	685.71	186.63
5	727.14	197.91
6	655.71	178.47
7	728.33	198.23
8	749.17	203.90
9	735.00	200.05
10	614.29	167.19
PROMEDIO	701.48	190.92

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 7: Obtenemos la escala vickers y la escala shore D previamente equiparadas.

Tabla 29.

Datos de dureza en acero y resina - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

INDENTACION	HV 10	HS D60
1	253.00	188.00
2	255.00	187.00
3	258.00	201.00
4	259.00	187.00
5	256.00	198.00
6	260.00	178.00
7	256.00	198.00
8	264.00	204.00
9	267.00	200.00
10	264.00	167.00
PROMEDIO	259.20	190.80

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 8: Calculamos las diferencias de escalas de dureza y sus promedios.

Tabla 30.

Diferencias de escalas de dureza y sus promedios- t student dureza (Perno muestra 1- Resina muestra 3)

INDENTACION	HV 10	HS D60	d
1	253.00	188.00	65.00
2	255.00	187.00	68.00
3	258.00	201.00	57.00
4	259.00	187.00	72.00
5	256.00	198.00	58.00
6	260.00	178.00	82.00
7	256.00	198.00	58.00
8	264.00	204.00	60.00
9	267.00	200.00	67.00
10	264.00	167.00	97.00
PROMEDIO	259.00	191.00	68.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 9: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H_0 : Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias aritméticas de las durezas de la resina y perno

H_i : Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las durezas de la resina y perno.

- Paso 10: Calculamos el valor estadístico (t)

$$t = \frac{d}{S_d / \sqrt{n}}$$

t: Valor estadístico
d: Promedio de las diferencias
 S_d : Desv. Estándar de las diferencias
n: número de datos por columna

$$d=68.40$$

$$n= 10$$

$$S_d= 12.68$$

$$t = \frac{78.70}{14 / \sqrt{10}} = 17.06$$

- Paso 11: Calculamos el valor estadístico crítico ($t_{\text{crítico}}$)

Como las diferencias de las escalas de dureza son significativas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, calcular el valor estadístico crítico con la unilateralidad a la derecha.

$$t < -t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right), (n-1)} \text{ o } t > t_{\left(1-\frac{\alpha}{2}\right), (n-1)} \text{ (Bilateral)}$$

$$t > t_{(1-\alpha), (n-1)} \text{ (Unilateral derecha)}$$

$$t < t_{(\alpha), (n-1)} \text{ (Unilateral izquierda)}$$

t: Valor estadístico
gl: n-1: Grados de libertad
 α : Probabilidad estadística

$$n-1=9$$

$$\alpha = 5\%$$

$$t > t_{(1-\alpha)(n-1)}$$

Calculamos el $t_{\text{crítico}}$ con unilateralidad a la derecha

$$t_{(1-\alpha)(n-1)} = 1.83$$

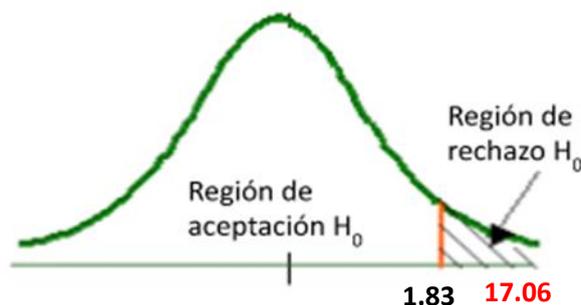
$$17.06 > 1.83$$

Corroboramos que el valor t estadístico es mayor que el valor t crítico, por lo tanto, la unilateralidad a la derecha es correcta

- Paso 12: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 22.

Región de aceptación o rechazo de H_0 - t student dureza (Perno muestra 1-Resina muestra 3)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.2.4. Resistencia Máxima

- Paso 1: Obtener datos de la muestra 1 del perno

Tabla 31.

Datos de Resistencia Máxima del perno - t student

ENSAYO	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)
1	809.57
2	813.75
3	798.95
PROMEDIO	807.42

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 2: Obtener datos de la resina proporción 50/50

Tabla 32.

Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 50/50- t student

ENSAYO	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)
1-394	7.51
2-395	3.91
3-403	2.65
4-405	8.97
PROMEDIO	5.76

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 3: Obtener datos de la resina proporción 40/60 y viceversa

PROPORCION 40/60

Tabla 33.

Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 40/60- t student

ENSAYO	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)
1-396	4.90

Fuente: Elaboración Propia

PROPORCION 60/40

Tabla 34.

Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 60/40- t student

ENSAYO	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)
1-402	7.04

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35.

Promedio de Resistencia Máxima-Resina proporción 60/40 y 40/60- t student

ENSAYO	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)
1-396	4.90
2-402	7.04
PROMEDIO	5.97

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Obtener datos de la resina proporción 30/70 y viceversa

PROPORCION 30/70

Tabla 36.

Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 30/70- t student

ENSAYO	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)
1-401	4.40

Fuente: Elaboración Propia

PROPORCION 70/30

Tabla 37.

Datos de Resistencia Máxima-Resina proporción 70/30- t student

ENSAYO	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)
1-380	5.71

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 38.

Promedio de Resistencia Máxima-Resina proporción 30/70 y 70/30

ENSAYO	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)
1-401	4.40
2-380	5.71
PROMEDIO	5.06

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 5: Calculamos las diferencias de resistencias máxima, y sus promedios.

Tabla 39.

Diferencias de resistencias máxima y sus promedios -t student

MUESTRA	PERNO	RESINA	d
	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)	
1	809.57	5.76	803.81
2	813.75	5.97	807.78
3	798.95	5.06	793.89
PROMEDIO	807.42	5.60	801.83

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 6: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H_0 : Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias aritméticas de las resistencias máximas de la resina y perno

H_i : Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las resistencias máximas de la resina y perno

- Paso 7: Calculamos el valor estadístico (t)

$$t = \frac{d}{S_d / \sqrt{n}}$$

t: Valor estadístico
 d: Promedio de las diferencias
 S_d: Desv. Estándar de las diferencias
 n: número de datos por columna

$$d=801.82$$

$$n= 3$$

$$S_d= 7.15$$

$$t = \frac{801.82}{7.15 / \sqrt{3}} = 194.16$$

- Paso 8: Calculamos el valor estadístico crítico (t crítico)

Como las diferencias de las resistencias máximas son significativas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, calcular el valor estadístico crítico con la unilateralidad a la derecha.

$$t < -t_{(1-\frac{\alpha}{2}),(n-1)} \text{ o } t > t_{(1-\frac{\alpha}{2}),(n-1)} \text{ (Bilateral)}$$

$$t > t_{(1-\alpha),(n-1)} \text{ (Unilateral derecha)}$$

$$t < t_{(\alpha),(n-1)} \text{ (Unilateral izquierda)}$$

t: Valor estadístico
 gl: n-1: Grados de libertad
 α: Probabilidad estadística

$$n-1=2$$

$$\alpha = 5\%$$

$$t > t_{(1-\alpha)(n-1)}$$

Calculamos el t_{crítico} con unilateralidad a la derecha

$$t_{(1-\alpha)(n-1)} = 2.92$$

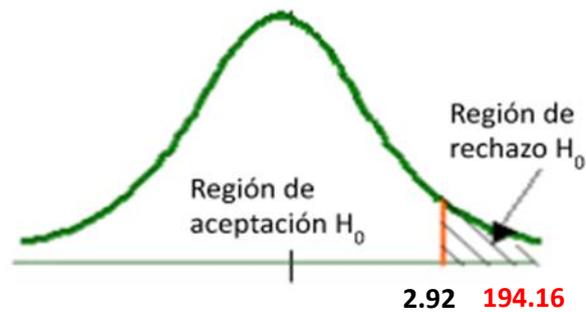
$$194.16 > 2.92$$

Corroboramos que el valor t estadístico es mayor que el valor t crítico, por lo tanto, la unilateralidad a la derecha es correcta.

- Paso 9: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 23.

Región de aceptación o rechazo de H_0 - t student (Resistencia Máxima)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.2.5. Deformación

- Paso 1: Obtener datos de la muestra 1 del perno

Tabla 40.

Datos de Deformación -Muestra 1 del perno- t student

ENSAYO	DEFORMACION (mm)
1	6.12
2	6.89
3	6.76
PROMEDIO	6.59

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 2: Obtener datos de la resina proporción 50/50

Tabla 41.

Datos de Deformación-Resina proporción 50/50- t student

ENSAYO	DEFORMACION (mm)
1-394	9.40
2-395	5.59
3-403	1.67
4-405	9.48
PROMEDIO	6.54

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 3: Obtener datos de la resina proporción 40/60 y viceversa

PROPORCION 40/60

Tabla 42.

Datos de Deformación -Resina proporción 40/60- t student

ENSAYO	DEFORMACION (mm)
1-396	7.13

Fuente: Elaboración Propia

PROPORCION 60/40

Tabla 43.

Datos de Deformación -Resina proporción 60/40- t student

ENSAYO	DEFORMACION (mm)
1-402	6.08

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44.

Promedio de Deformación-Resina proporción 60/40 y 40/60- t student

ENSAYO	DEFORMACION (mm)
1-396	7.13
2-402	6.08
PROMEDIO	6.61

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Obtener datos de la resina proporción 30/70 y viceversa

PROPORCION 30/70

Tabla 45.

Datos de Deformación -Resina proporción 30/70- t student

ENSAYO	DEFORMACION (mm)
1-401	5.57

Fuente: Elaboración Propia

PROPORCION 70/30

Tabla 46.

Datos de Deformación -Resina proporción 70/30- t student

ENSAYO	DEFORMACION (mm)
1-380	7.20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 47.

Promedio de Deformación-Resina proporción 30/70 y 70/30- t student

ENSAYO	DEFORMACION (mm)
1-401	5.57
2-380	7.20
PROMEDIO	6.39

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 5: Calculamos las diferencias de las deformaciones, y sus promedios.

Tabla 48.

Diferencias de Deformaciones y sus promedios- t student

MUESTRA	PERNO	RESINA	d
	DEFORMACION (mm)	DEFORMACION (mm)	
1	6.12	6.54	-0.42
2	6.89	6.61	0.28
3	6.76	6.39	0.37
PROMEDIO	6.59	6.51	0.08

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 6: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H_0 : Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias aritméticas de las resistencias máximas de la resina y perno

H_i: Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las resistencias máximas de la resina y perno

- Paso 7: Calculamos el valor estadístico (t)

$$t = \frac{d}{S_d / \sqrt{n}}$$

t: Valor estadístico
d: Promedio de las diferencias
S_d: Desv. Estándar de las diferencias
n: número de datos por columna

$$d=0.08$$

$$n= 3$$

$$S_d= 0.43$$

$$t = \frac{0.08}{0.43 / \sqrt{3}} = 0.32$$

- Paso 8: Calculamos el valor estadístico crítico (t_{crítico})

Como las diferencias de las deformaciones no son significativas se acepta la hipótesis nula, calcular el valor estadístico crítico con bilateralidad

$$t < -t_{(1-\frac{\alpha}{2})(n-1)} \text{ o } t > t_{(1-\frac{\alpha}{2})(n-1)} \text{ (Bilateral)}$$

$$t > t_{(1-\alpha)(n-1)} \text{ (Unilateral derecha)}$$

$$t < t_{(\alpha)(n-1)} \text{ (Unilateral izquierda)}$$

t: Valor estadístico
gl: n-1: Grados de libertad
α: Probabilidad estadística

$$n-1=2$$

$$\alpha = 5\%$$

$$t < -t_{(1-\frac{\alpha}{2})(n-1)} \text{ o } t > t_{(1-\frac{\alpha}{2})(n-1)}$$

Calculamos el t_{crítico} con bilateralidad

$$t_{(1-\frac{\alpha}{2})(n-1)} = 4.30$$

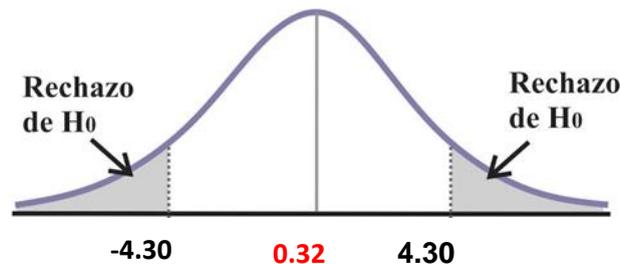
$$4.30 < 0.32$$

Corroboramos que el valor t estadístico es menor que el valor t crítico, por lo tanto, la bilateralidad es correcta.

- Paso 9: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 24.

Región de aceptación o rechazo de H_0 - t student (Deformación)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.2. Prueba estadística Anova

El estudio de varianza ANOVA es una fórmula estadística utilizada para colacionar la varianza entre los promedios de diferentes grupos. Varias configuraciones lo usan para determinar si hay una diferencia entre las medias de diferentes grupos.

En este proyecto se consideró una variable y dos variables, por lo tanto, se utilizó dos tipos de métodos:

- **Anova (un solo factor):**

Es un estudio de varianza de un factor para la variable dependiente cuantitativa en relación con la variable de un solo elemento (la variable independiente) y estima la magnitud del impacto en el ANOVA de un factor.

- **Anova (dos factores):**

Es una fórmula estadística utilizada para dividir equitativamente la varianza de diferencias entre diferentes grupos.

4.3.2.2.1. Resistencia Máxima-Anova 1 Factor (Perno Muestra 1- Resina Muestra 1)

- Paso 1: Obtener datos de la muestra 1: en un grupo la resistencia máxima a la tracción del perno y en otro grupo la resistencia máxima a la compresión de la resina.

Tabla 49.*Datos de Resistencia Máxima- Anova 1 Factor*

MUESTRA	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)	
	PERNO	RESINA
1	809.57	5.76
2	813.75	5.97
3	798.95	5.06
PROMEDIO	807.42	5.60

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 2: Obtener datos de la muestra 1: en un grupo la dureza del perno y en otro grupo la dureza de la resina.

Tabla 50.*Datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)*

MUESTRA	DUREZA	
	PERNO	RESINA
1	253.00	187.00
2	255.00	165.00
3	258.00	187.00
4	259.00	165.00
5	256.00	177.00
6	260.00	171.00
7	256.00	197.00
8	264.00	203.00
9	267.00	187.00
10	264.00	166.00
PROMEDIO	259.00	181.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 3: Seleccionamos 3 de las 10 muestras (dureza) de los 2 grupos, porque solo hay 3 muestras (resistencia máxima) del perno y resina, por lo tanto, las 3 muestras que se tomarán en cuenta de los 2 grupos serán: el valor máximo, el valor promedio y el valor mínimo.

Tabla 51.

Selección de datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

MUESTRA	DUREZA	
	PERNO	RESINA
1	267.00	203.00
2	259.00	181.00
3	253.00	165.00
PROMEDIO	260.00	183.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Transformar la dureza en resistencia máxima (1000psi)

Tabla 52.

Equivalencias entre las escalas de dureza Brinell, dureza Vickers, dureza Rockwell y la resistencia a tracción del material (en psi).

BRINELL	VICKERS	ROCKWELL		RESISTENCIA A LA TRACCIÓNX1000PSI
HB	HV	HRC	HRB	
269	270	28	104	131
262	263	26	103	128
255	256	25	102	125
248	248	24	102	122
241	241	23	100	119
235	235	22	99	116
229	229	21	98	113
223	223	20	97	110
217	217	18	96	107
212	212	17	96	104
207	207	16	95	101
202	202	15	94	99
197	197	13	93	97
192	192	12	92	95
187	187	10	91	93
183	183	9	90	91
179	179	8	89	89
174	174	7	88	87
170	170	6	87	85
166	166	4	86	83
163	163	3	85	82

Fuente: Ingemecánica (2018)

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 53.

*Límite máximo e inferior-escala vickers en resistencia (1000psi) - Anova 1 Factor
(Perno muestra 1-Resina muestra 1)*

VICKERS	RESISTENCIA (1000PSI)
270	131
263	128
256	125
248	122
241	119
235	116
229	113
223	110
217	107
212	104
207	101
202	99
197	97
192	95
187	91
183	89
179	87
174	85
170	85
166	83
163	82

Fuente: Elaboración Propia

Proceso de Interpolación

Tabla 54.

Nomenclatura de Interpolación- Resistencia Máxima y Dureza

R. Máxima	Dureza
R ₁	D₁
R ₀	D₀
R ₂	D₂

Fuente: Elaboración Propia

$$\frac{D_2 - D_1}{D_0 - D_1} = \frac{R_2 - R_1}{R_0 - R_1}$$

$$R_0 = \frac{(R_2 - R_1)(D_0 - D_1)}{D_2 - D_1} + R_1$$

Interpolamos

Tabla 55.

Datos de Resistencia Máxima (1000psi) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

MUESTRA	RESISTENCIA (1000PSI)	
	PERNO	RESINA
1	129.71	99.40
2	126.29	88.00
3	123.88	82.67
PROMEDIO	126.63	90.02

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 5: Convertimos la resistencia máxima de 1000PSI a MPA

$$145.0377PSI = 1MPA$$

Tabla 56.

Datos de Resistencia Máxima (MPA) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

MUESTRA	RESISTENCIA (MPA)	
	PERNO	RESINA
1	894.35	685.34
2	870.71	606.74
3	854.09	569.97
PROMEDIO	873.05	620.68

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 6: Calculamos la media, la suma de cada grupo, la suma total, cantidad de muestras por cada grupo, cantidad de datos y cantidad de datos por muestra.

Tabla 57.

Datos de Resistencia Máxima (MPa), Sumatoria, Media, Suma total, ni, N y k- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)

MUESTRA	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)			
	TRACCION	COMPRESION	DUREZA	DUREZA
	PERNO	RESINA	PERNO	RESINA
1	809.57	5.76	894.35	685.34
2	813.75	5.97	870.71	606.74
3	798.95	5.06	854.09	569.97
Suma (xi.)=	2422.27	16.79	2619.15	1862.04
Media=	807.42	5.60	873.05	620.68
Suma total(x..)=	6920.25			
ni=	3	3	3	3
N=	12		k=	4

Fuente: Elaboración Propia

Leyenda:

Suma (xi.): suma de las muestras por grupo

Media: Promedio de las muestras por grupo

Suma total (x..) Sumatoria de todos los datos.

ni: Cantidad total de datos por grupo.

N: Cantidad total de datos

K: Cantidad de datos por muestra.

- Paso 7: Análisis de varianza.

Tabla 58.*Análisis de Varianza*

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	$SC_{Trat} = \sum_{i=1}^k n_i (\bar{x}_i - \bar{x}_{..})^2$	$k - 1$	$CM_{Trat} = \frac{SC_{Trat}}{k - 1}$	$F = \frac{CM_{Trat}}{CM_{Error}}$
Dentro de las muestras	$SC_{Error} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)^2$	$N - k$	$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{N - k}$	
Total	$SC_{Total} = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$	$N - 1$		

Fuente: Gutiérrez H. y De la Vara R. (2018).

Con la ayuda del Excel calculamos la suma de cuadrados, que nos servirán para hallar el cuadrado medio entre las muestras y dentro las muestras, y así poder obtener el valor estadístico (F).

Tabla 59.*Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 1)*

TABLA ANOVA				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	1407453.61	3	469151.20	476.14
Dentro de las muestras	7882.53	8	985.32	
Total	1415336.15	11		

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 8: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H_0 : Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias aritméticas de los 4 grupos de ensayos.

H_1 : Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias aritméticas de los 4 grupos de ensayos.

- Paso 9: Calculamos el valor estadístico crítico ($F_{\text{crítico}}$)

Como las diferencias de las medias aritméticas son significativas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, supondremos que el valor estadístico crítico será unilateral a la derecha.

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): $k-1= 4-1=3$

Grados de libertad (denominador): $N-k= 12-4=8$

Gráfica 25.

Valores críticos de la distribución F (0.05)

área a la derecha del valor crítico = 0.05

g.d.l	Grados de libertad del Numerador										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405
3	10,128	9,552	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313
9	5,117	4,256	3,862	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,413
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,577	2,510	2,456	2,412	2,374
19	4,381	3,523	3,127	2,895	2,740	2,628	2,544	2,477	2,423	2,378	2,340
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,514	2,447	2,393	2,348	2,310
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,488	2,420	2,366	2,321	2,283
22	4,301	3,443	3,049	2,817	2,661	2,549	2,464	2,397	2,342	2,297	2,259
23	4,279	3,422	3,028	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,619	2,508	2,423	2,355	2,300	2,255	2,216
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,405	2,337	2,282	2,236	2,198

Fuente: Facultad Regional Mendoza (UTN)

Calculamos el $F_{\text{crítico}}$ con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{crítico}} = 4.066$$

$$F > F_{\text{crítico}}$$

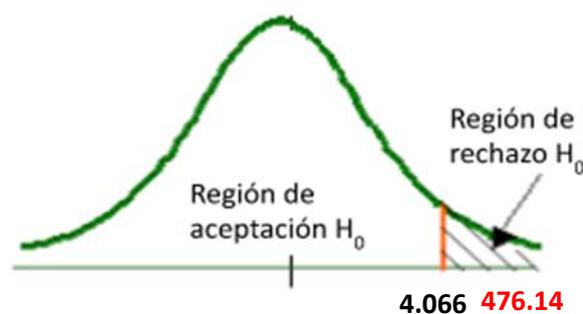
$$476.14 > 4.066$$

Corroboramos que el valor F estadístico es mayor que el valor F crítico, por lo tanto, la unilateralidad a la derecha es correcta.

- Paso 10: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 26.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 1 Factor Resistencia Máxima (Perno muestra 1-Resina muestra 1)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.2.2. Resistencia Máxima-Anova 1 Factor (Perno Muestra 1- Resina Muestra 2)

- Paso 1: Obtener datos de la muestra 1: en un grupo la resistencia máxima a la tracción del perno y en otro grupo la resistencia máxima a la compresión de la resina. Véase en la Tabla 49.
- Paso 2: Obtener datos de la muestra 2: en un grupo la dureza del perno y en otro grupo la dureza de la resina.

Tabla 60.

Datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

MUESTRA	DUREZA	
	PERNO	RESINA
1	253.00	212.00
2	255.00	191.00
3	258.00	212.00
4	259.00	200.00
5	256.00	213.00
6	260.00	192.00
7	256.00	199.00
8	264.00	206.00
9	267.00	202.00
10	264.00	208.00
PROMEDIO	259.00	204.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 3: Seleccionamos 3 de las 10 muestras (dureza) de los 2 grupos, porque solo hay 3 muestras (resistencia máxima) del perno y resina, por lo tanto, las 3 muestras que se tomarán en cuenta de los 2 grupos serán: el valor máximo, el valor promedio y el valor mínimo.

Tabla 61.

Selección de datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

MUESTRA	DUREZA	
	PERNO	RESINA
1	267.00	213.00
2	259.00	204.00
3	253.00	191.00
PROMEDIO	260.00	203.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Transformar la dureza en resistencia máxima (1000psi). Ubicamos los valores para determinar los límites superior e inferior. Véase en la Tabla 52.

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 62.

Límite máximo e inferior-escala vickers en resistencia (1000psi) - Anova 1 Factor
(Perno muestra 1-Resina muestra 2)

VICKERS	RESISTENCIA (1000XPSI)
270	131
263	128
256	125
248	122
241	119
235	116
229	113
223	110
217	107
212	104
207	101
202	99
197	97
192	95
187	93

Fuente: Elaboración Propia

Proceso de Interpolación. Véase en la Tabla 54.

$$\frac{D_2 - D_1}{D_0 - D_1} = \frac{R_2 - R_1}{R_0 - R_1}$$

$$R_0 = \frac{(R_2 - R_1)(D_0 - D_1)}{D_2 - D_1} + R_1$$

Interpolamos

Tabla 63. Datos de Resistencia Máxima (1000psi) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

MUESTRA	RESISTENCIA (1000XPSI)	
	PERNO	RESINA
1	129.71	104.60
2	126.29	99.80
3	123.88	94.60
PROMEDIO	126.63	99.67

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 5: Convertimos la resistencia máxima de 1000PSI a MPA

$$145.0377PSI = 1MPA$$

Tabla 64.

Datos de Resistencia Máxima (MPA) en perno y resina - Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

MUESTRA	RESISTENCIA (MPA)	
	PERNO	RESINA
1	894.35	721.19
2	870.71	688.10
3	854.09	652.24
PROMEDIO	873.05	687.18

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 6: Calculamos la media, la suma de cada grupo, la suma total, cantidad de muestras por cada grupo, cantidad de datos y cantidad de datos por muestra.

Tabla 65.

Datos de Resistencia Máxima (MPa), Sumatoria, Media, Suma total, ni, N y k Datos de Resistencia Máxima (1000psi) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1- Resina muestra 2)

MUESTRA	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)			
	TRACCION	COMPRESION	DUREZA	DUREZA
	PERNO	RESINA	PERNO	RESINA
1	809.57	5.76	894.35	721.19
2	813.75	5.97	870.71	688.10
3	798.95	5.06	854.09	652.24
Suma(xi.)=	2422.27	16.79	2619.15	2061.53
Media=	807.42	5.60	873.05	687.18
Suma total(x..)=	7119.73			
ni=	3	3	3	3
N=	12		k=	4

Fuente: Elaboración Propia

Leyenda:

Suma (xi.): suma de las muestras por grupo

Media: Promedio de las muestras por grupo

Suma total (x..) Sumatoria de todos los datos.

ni: Cantidad total de datos por grupo.

N: Cantidad total de datos

K: Cantidad de datos por muestra.

- Paso 7: Análisis de varianza. Véase en la Tabla 58.

Con la ayuda del Excel calculamos la suma de cuadrados, que nos servirán para hallar el cuadrado medio entre las muestras y dentro las muestras, y así poder obtener el valor estadístico (F).

Tabla 66.

Anova de un solo factor - Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 2)

TABLA ANOVA				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	1434955.24	3	478318.41	1154.76
Dentro de las muestras	3313.70	8	414.21	
Total	1438268.94	11		

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 8: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H_0 : Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias aritméticas de los 4 grupos de ensayos

H_i : Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias aritméticas de los 4 grupos de ensayos.

- Paso 9: Calculamos el valor estadístico crítico (F_{critico})

Como las diferencias de las medias aritméticas son significativas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, supondremos que el valor estadístico crítico será unilateral a la derecha.

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): $k-1 = 4-1=3$

Grados de libertad (denominador): $N-k = 12-4=8$

Para hallar el valor crítico ($F_{\text{crítico}}$), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el $F_{\text{crítico}}$ con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{crítico}} = 4.066$$

$$F > F_{\text{crítico}}$$

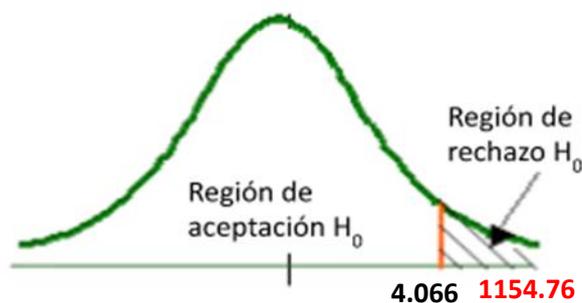
$$1154.76 > 4.066$$

Corroboramos que el valor F estadístico es mayor que el valor F crítico, por lo tanto, la unilateralidad a la derecha es correcta

- Paso 10: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 27.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 1 Factor Resistencia Máxima (Perno muestra 1-Resina muestra 2)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.2.3. Resistencia Máxima-Anova 1 Factor (Perno Muestra 1- Resina Muestra 3)

- Paso 1: Obtener datos de la muestra 1: en un grupo la resistencia máxima a la tracción del perno y en otro grupo la resistencia máxima a la compresión de la resina. Véase en la Tabla 49.
- Paso 2: Obtener datos de la muestra 3: en un grupo la dureza del perno y en otro grupo la dureza de la resina.

Tabla 67.

Datos de Dureza- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

MUESTRA	DUREZA	
	PERNO	RESINA
1	253.00	188.00
2	255.00	187.00
3	258.00	201.00
4	259.00	187.00
5	256.00	198.00
6	260.00	178.00
7	256.00	198.00
8	264.00	204.00
9	267.00	200.00
10	264.00	167.00
PROMEDIO	259.00	191.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 3: Seleccionamos 3 de las 10 muestras (dureza) de los 2 grupos, porque solo hay 3 muestras (resistencia máxima) del perno y resina, por lo tanto, las 3 muestras que se tomarán en cuenta de los 2 grupos serán: el valor máximo, el valor promedio y el valor mínimo.

Tabla 68.

Selección de datos de Dureza - Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

MUESTRA	DUREZA	
	PERNO	RESINA
1	267.00	204.00
2	259.00	191.00
3	253.00	167.00
PROMEDIO	260.00	187.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Transformar la dureza en resistencia máxima (1000psi). Ubicamos los valores para determinar los límites superior e inferior. Véase en la Tabla 52.

Determinamos los límites, para poder interpolar

Tabla 69. Límite máximo e inferior-escala vickers en resistencia (1000psi)- Anova 1
Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

VICKERS	RESISTENCIA (1000XPSI)
270	131
263	128
256	125
248	122
241	119
235	116
229	113
223	110
217	107
212	104
207	101
202	99
197	97
192	95
187	93
187	91
183	89
179	87
174	85
170	85
166	83

Fuente: Elaboración Propia

Proceso de Interpolación. Véase en la Tabla 54.

$$\frac{D_2 - D_1}{D_0 - D_1} = \frac{R_2 - R_1}{R_0 - R_1}$$

$$R_0 = \frac{(R_2 - R_1)(D_0 - D_1)}{D_2 - D_1} + R_1$$

Interpolamos

Tabla 70.

Datos de Resistencia Máxima (1000psi) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

MUESTRA	RESISTENCIA (1000XPSI)	
	PERNO	RESINA
1	129.71	99.80
2	126.29	94.60
3	123.88	83.50
PROMEDIO	126.63	92.63

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 5: Convertimos la resistencia máxima de 1000PSI a MPA

$$145.0377PSI = 1MPA$$

Tabla 71.

Datos de Resistencia Máxima (MPA) en perno y resina- Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

MUESTRA	RESISTENCIA (MPA)	
	PERNO	RESINA
1	894.35	688.10
2	870.71	652.24
3	854.09	575.71
PROMEDIO	873.05	638.68

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 6: Calculamos la media, la suma de cada grupo, la suma total, cantidad de muestras por cada grupo, cantidad de datos y cantidad de datos por muestra.

Tabla 72.

Datos de Resistencia Máxima (MPa), Sumatoria, Media, Suma total, ni, N y k Límite máximo e inferior-escala vickers en resistencia (1000psi) -Anova (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

MUESTRA	RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)			
	TRACCION	COMPRESION	DUREZA	DUREZA
	PERNO	RESINA	PERNO	RESINA
1	809.57	5.76	894.35	688.10
2	813.75	5.97	870.71	652.24
3	798.95	5.06	854.09	575.71
Suma(xi.)=	2422.27	16.79	2619.15	1916.05
Media=	807.42	5.60	873.05	638.68
Suma total(x..)=	6974.26			
ni=	3	3	3	3
N=	12		k=	4

Fuente: Elaboración Propia

Leyenda:

Suma (xi.): suma de las muestras por grupo

Media: Promedio de las muestras por grupo

Suma total (x..) Sumatoria de todos los datos.

ni: Cantidad total de datos por grupo.

N: Cantidad total de datos

K: Cantidad de datos por muestra.

- Paso 7: Análisis de varianza. Véase en la Tabla 58.

Con la ayuda del Excel calculamos la suma de cuadrados, que nos servirán para hallar el cuadrado medio entre las muestras y dentro las muestras, y así poder obtener el valor estadístico (F).

Tabla 73.

Anova 1 Factor (Perno muestra 1-Resina muestra 3)

TABLA ANOVA				
Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Entre las muestras	1412935.03	3	470978.34	500.61
Dentro de las muestras	7526.49	8	940.81	
Total	1420461.53	11		

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 8: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H_0 : Hipótesis nula: No hay diferencias significativas entre las medias aritméticas de los 4 grupos de ensayos

H_i : Hipótesis alternativa: Existe diferencia estadísticamente significativa entre las medias aritméticas de los 4 grupos de ensayos.

- Paso 9: Calculamos el valor estadístico crítico (F_{critico})

Como las diferencias de las medias aritméticas son significativas se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, supondremos que el valor estadístico crítico será unilateral a la derecha.

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): $k-1= 4-1=3$

Grados de libertad (denominador): $N-k= 12-4=8$

Para hallar el valor crítico (F_{critico}), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el F_{critico} con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{critico}} = 4.066$$

$$F > F_{\text{critico}}$$

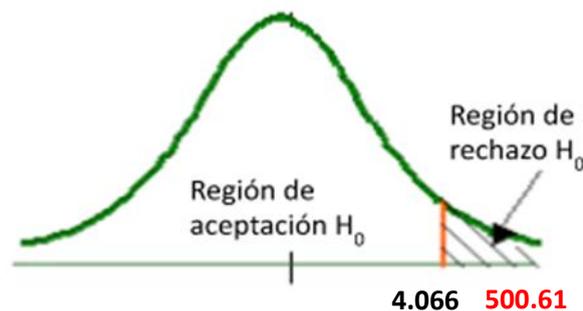
$$500.61 > 4.066$$

Corroboramos que el valor F estadístico es mayor que el valor F crítico, por lo tanto, la unilateralidad a la derecha es correcta

- Paso 10: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 28.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 1 Factor Resistencia Máxima (Perno muestra 1-Resina muestra 3)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.2.4. Tracción- Anova 2 Factores

- Paso 1: Obtener datos de los ensayos de tracción del perno helicoidal
Tabla 74.

Datos de ensayos de Tracción-Anova 2 Factores

ENSAYOS DE TRACCION			
PROPIEDADES MECANICAS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
ESFUERZO DE FLUENCIA (Mpa)	459.30	477.20	476.34
RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)	809.57	813.75	798.95
ESFUERZO DE ROTURA (Mpa)	670.77	658.77	649.40
SUMATORIAS	1939.64	1949.72	1924.69

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 2: Calculamos las sumatorias de las filas (propiedades) y columnas (ensayo de tracción)

Tabla 75.*Sumatoria de filas y columnas - ensayos de Tracción-Anova 2 Factores*

PROPIEDADES MECANICAS	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	SUMATORIAS (Mpa)
ESFUERZO DE FLUENCIA (Mpa)	459.30	477.20	476.34	1412.84
RESISTENCIA MAXIMA (Mpa)	809.57	813.75	798.95	2422.27
ESFUERZO DE ROTURA (Mpa)	670.77	658.77	649.40	1978.94
SUMATORIAS	1939.64	1949.72	1924.69	5814.05

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 3: Elevamos al cuadrado cada dato y calculamos las sumatorias de cada fila (propiedades mecánicas).

Tabla 76.*Sumatoria de datos elevando al cuadrado - ensayos de Tracción-Anova 2 Factores*

^2	^2	^2	SUMATORIAS (Mpa)
210956.49	227719.84	226899.80	665576.1256
655403.5849	662189.0625	638321.10	1955913.75
449932.3929	433977.9129	421720.36	1305630.666
			3927120.541

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Calculamos el factor de corrección

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = \frac{(\text{SUMA DE TOTALES}^2)}{N}$$

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = \frac{(5814.05^2)}{9}$$

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = 3755908.60$$

- Paso 5: Calculamos la suma de cuadrados totales

$$SCT = SCC - FC$$

$SCT = \text{SUMA DE CUADRADOS TOTALES}$

$SCC = \text{SUMA DE LOS CUADRADOS DE LAS COLUMNAS}$

$FC = \text{FACTOR DE CORRECCION}$

$$SCT = 3927120.54 - 3755908.60$$

$$SCT = 171211.94$$

- Paso 6: Calculamos la suma de cuadrados de las filas (propiedades mecánicas)

$$SCPM = \frac{(\text{SUMA DE CADA FILA}^2)}{\text{Numero de datos en cada fila}} - \text{Factor de corrección}$$

$$SCPM = \frac{(1412.84^2 + 2422.27^2 + 1978.94^2)}{3} - 3755908.60$$

$$SCPM = 170662.18$$

- Paso 7: Calculamos la suma de cuadrados de las columnas (ensayos de tracción)

$$SCET = \frac{(\text{SUMA DE CADA COLUMNA}^2)}{\text{Numero de datos en cada columna}} - \text{Factor de corrección}$$

$$SCET = \frac{(1939.64^2 + 1949.72^2 + 1924.69^2)}{3} - 3755980.60$$

$$SCET = 105.73$$

- Paso 8: Calculamos la suma de cuadrados de las columnas (ensayos de tracción)

$$SCE = SCT - SCPM - SCET$$

$$SCE = 171211.94 - 170662.18 - 105.73$$

$$SCE = 444.03$$

- Paso 9: Calculamos el cuadrado medio

$CM = \text{CUADRADO MEDIO}$

$SC = \text{SUMA DE CUADRADOS}$

$GL = \text{GRADOS DE LIBERTAD}$

$$CM = \frac{SC}{GL}$$

Tabla 77.

Cuadrado Medio- ensayos de Tracción-Anova 2 Factores

Factor de division	GL	SC	CM
INTERACCION	8	171211.941	21401.49263
PROPIEDADES MECANICAS	2	170662.1804	85331.09021
ENSAYOS DE TRACCION	2	105.7344222	52.86721111
ERROR	4	444.03	111.0065444

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 10: Calculamos el valor estadístico (F)

CM= CUADRADO MEDIO

F=VALOR ESTADISTICO

$$F_{INTERACCION} = \frac{CM_{INTERACCION}}{CM_{ERROR}}$$

$$F_{PROPIEDADES MECANICAS} = \frac{CM_{PROPIEDADES MECANICAS}}{CM_{ERROR}}$$

$$F_{ENSAYOS DE TRACCION} = \frac{CM_{ENSAYOS DE TRACCION}}{CM_{ERROR}}$$

Tabla 78.

Valor estadístico (F) - ensayos de Tracción-Anova 2 Factores

Factor de division	GL	SC	CM	F
INTERACCION	8	171211.941	21401.49263	192.7948729
PROPIEDADES MECANICAS	2	170662.1804	85331.09021	768.7032385
ENSAYOS DE TRACCION	2	105.7344222	52.86721111	0.476253102
ERROR	4	444.03	111.0065444	

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 11: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H_0 : Hipótesis nula: Todas las medias son iguales.

H_1 : Hipótesis alternativa: Al menos unos de las medias son diferentes.

- Paso 12: Calculamos el valor estadístico crítico de interacción (F_{critico})

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor interacción= 8

Grados de libertad (denominador): Factor error=4

Para hallar en valor crítico (F_{critico}), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el F_{critico} con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{critico}} = 6.041$$

$$F > F_{\text{critico}}$$

$$192.79 > 6.041$$

- Paso 13: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 29.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Interacción)



Fuente: Elaboración Propia 6.041 192.79

- Paso 14: Calculamos el valor estadístico crítico de propiedades mecánicas (F_{critico})

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor propiedades mecánicas= 2

Grados de libertad (denominador): Factor error=4

Para hallar en valor crítico (F_{critico}), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el F_{critico} con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{critico}} = 6.944$$

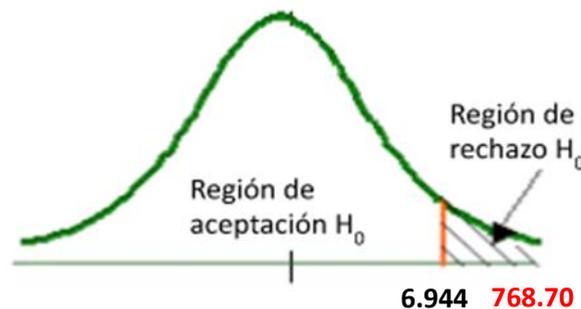
$$F > F_{\text{critico}}$$

$$768.70 > 6.944$$

- Paso 15: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 30.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Propiedades Mecánicas)



Fuente: Elaboración Propia

- Paso 16: Calculamos el valor estadístico crítico de ensayo de tracción (F_{critico})

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor ensayos de tracción= 2

Grados de libertad (denominador): Factor error=4

Para hallar en valor crítico (F_{critico}), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el $F_{\text{crítico}}$ con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{crítico}} = 6.944$$

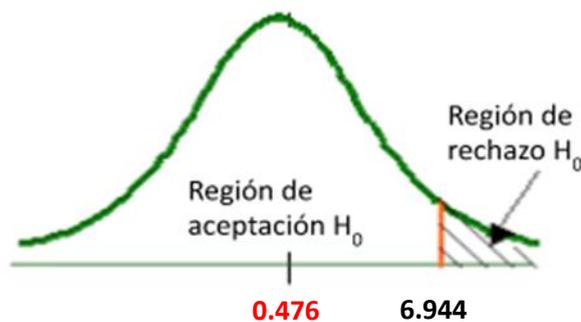
$$F < F_{\text{crítico}}$$

$$0.476 < 6.944$$

- Paso 17: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 31.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Ensayo de Tracción)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.2.5. Dureza- Anova 2 Factores

- Paso 1: Obtener datos de los ensayos de dureza, tanto de la resina como el perno.

Tabla 79.

Datos de Dureza-Anova 2 Factores

DUREZA										
MATERIAL	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
PERNO	253.00	255.00	258.00	259.00	256.00	260.00	256.00	264.00	267.00	264.00
RESINA	223.00	212.00	221.00	216.00	214.00	217.00	222.00	222.00	222.00	216.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 2: Calculamos las sumatorias de las filas (propiedades) y columnas (ensayo de tracción)

Tabla 80.*Sumatoria de filas y columnas - ensayos de Dureza-Anova 2 Factores*

DUREZA											
MATERIAL	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	SUMATORIAS (Mpa)
PERNO	253.00	255.00	258.00	259.00	256.00	260.00	256.00	264.00	267.00	264.00	2592.00
RESINA	223.00	212.00	221.00	216.00	214.00	217.00	222.00	222.00	222.00	216.00	2185.00
SUMATORIAS	476.00	467.00	479.00	475.00	470.00	477.00	478.00	486.00	489.00	480.00	4777.00

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 3: Elevamos al cuadrado cada dato y calculamos las sumatorias de cada fila (propiedades mecánicas).

Tabla 81.*Sumatoria de datos elevando al cuadrado - ensayos de Dureza-Anova 2 Factores*

^{^2}	SUMATORIAS (Mpa)										
64009	65025	66564	67081	65536	67600	65536	69696	71289	69696		672032
49729	44944	48841	46656	45796	47089	49284	49284	49284	46656		477563
											1149595

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Calculamos el factor de corrección

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = \frac{(\text{SUMA DE TOTALES}^2)}{N}$$

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = \frac{(4777^2)}{20}$$

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = 1140986.45$$

- Paso 5: Calculamos la suma de cuadrados totales

$$\text{SCT} = \text{SCC} - \text{FC}$$

$$\text{SCT} = \text{SUMA DE CUADRADOS TOTALES}$$

$$\text{SCC} = \text{SUMA DE LOS CUADRADOS DE LAS COLUMNAS}$$

$$\text{FC} = \text{FACTOR DE CORRECCION}$$

$$\text{SCT} = 1149595 - 1140986.45$$

$$\text{SCT} = 8608.55$$

- Paso 6: Calculamos la suma de cuadrados de las filas (propiedades mecánicas)

$$SCM = \frac{(SUMA DE CADA FILA^2)}{\text{Numero de datos en cada fila}} - \text{Factor de corrección}$$

$$SCM = \frac{(2592^2 + 2185^2)}{10} - 1140986.45$$

$$SCM = 8282.45$$

- Paso 7: Calculamos la suma de cuadrados de las columnas (ensayos de tracción)

$$SCD = \frac{(SUMA DE CADA COLUMNA^2)}{\text{Numero de datos en cada columna}} - \text{Factor de corrección}$$

$$SCD = \frac{(476^2 + 467^2 + 479^2 + 475^2 + 470^2 + 477^2 + 478^2 + 486^2 + 489^2 + 480^2)}{2} - 1140986.45$$

$$SCD = 194.05$$

- Paso 8: Calculamos la suma de cuadrados de las columnas (ensayos de tracción)

$$SCE = SCT - SCM - SCD$$

$$SCE = 8608.55 - 8282.45 - 194.05$$

$$SCE = 132.05$$

- Paso 9: Calculamos el cuadrado medio

CM = CUADRADO MEDIO

SC = SUMA DE CUADRADOS

GL = GRADOS DE LIBERTAD

$$CM = \frac{SC}{GL}$$

Tabla 82.

Cuadro medio- ensayos de Dureza-Anova 2 Factores

Factor de division	GL	SC	CM
INTERACCION	19	8608.55	453.08
MATERIAL	9	8282.45	920.27
DUREZA	1	194.05	194.05
ERROR	9	132.05	14.67

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 10: Calculamos el valor estadístico (F)

CM= CUADRADO MEDIO

F=VALOR ESTADISTICO

$$F_{INTERACCION} = \frac{CM_{INTERACCION}}{CM_{ERROR}}$$

$$F_{MATERIAL} = \frac{CM_{MATERIAL}}{CM_{ERROR}}$$

$$F_{DUREZA} = \frac{CM_{DUREZA}}{CM_{ERROR}}$$

Tabla 83.

Valor estadístico (F) - ensayos de Dureza-Anova 2 Factores

Factor de division	GL	SC	CM	F
INTERACCION	19	8608.55	453.08	30.88
MATERIAL	9	8282.45	920.27	62.72
DUREZA	1	194.05	194.05	13.23
ERROR	9	132.05	14.67	

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 11: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H₀: Hipótesis nula: Todas las medias son iguales.

H_i: Hipótesis alternativa: Al menos unos de las medias son diferentes.

- Paso 12: Calculamos el valor estadístico crítico de interaccion (F crítico)

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor interaccion= 19

Grados de libertad (denominador): Factor error=9

Para hallar en valor crítico ($F_{\text{crítico}}$), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el $F_{\text{crítico}}$ con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{crítico}} = 2.948$$

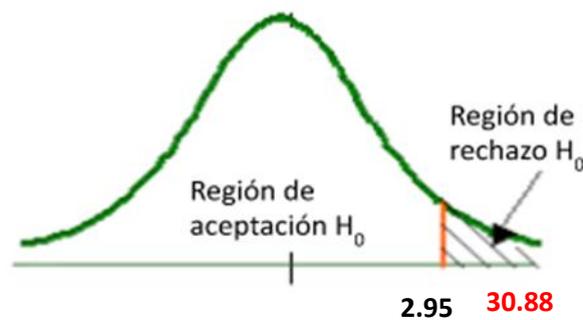
$$F > F_{\text{crítico}}$$

$$30.88 > 2.948$$

- Paso 13: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 32.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Interacción)



Fuente: Elaboración Propia

- Paso 14: Calculamos el valor estadístico crítico de material ($F_{\text{crítico}}$)

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor material= 9

Grados de libertad (denominador): Factor error=9

Para hallar en valor crítico ($F_{\text{crítico}}$), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el $F_{\text{crítico}}$ con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{crítico}} = 3.179$$

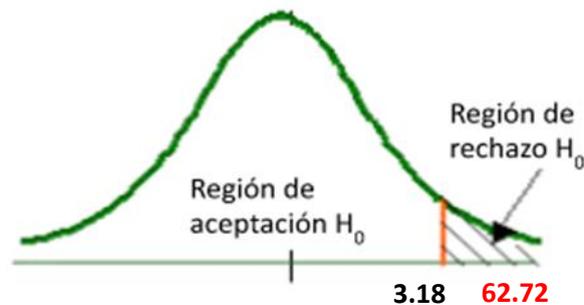
$$F > F_{\text{crítico}}$$

$$62.72 > 3.179$$

- Paso 15: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 33.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Material)



Fuente: Elaboración Propia

- Paso 16: Calculamos el valor estadístico crítico de ensayo de dureza (F_{critico})

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).

Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor ensayos de dureza= 1

Grados de libertad (denominador): Factor error=9

Para hallar el valor crítico (F_{critico}), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el F_{critico} con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{critico}} = 5.117$$

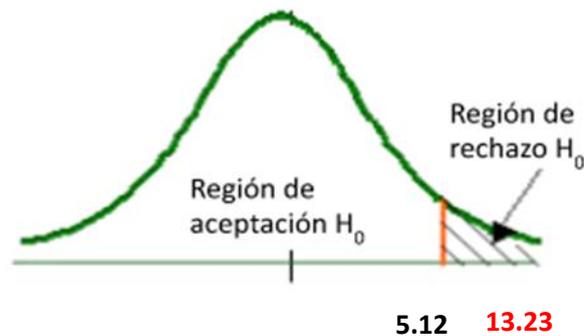
$$F < F_{\text{critico}}$$

$$13.23 > 5.117$$

- Paso 17: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 34.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Ensayo de dureza)



Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.2.6. Deformación- Anova 2 Factores

- Paso 1: Obtener datos del ensayo, donde se describe la deformación tanto de la resina como el perno.

Tabla 84.

Datos de Deformaciones-Anova 2 Factores

DEFORMACION (mm)			
MATERIAL	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
PERNO	6.12	6.89	6.76
RESINA	6.54	6.61	6.39
SUMATORIAS	12.66	13.50	13.15

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 2: Calculamos las sumatorias de las filas (material) y columnas (deformación)

Tabla 85.

Sumatoria de filas y columnas - ensayos de Deformaciones

DEFORMACION (mm)				SUMATORIAS (Mpa)
MATERIAL	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	
PERNO	6.12	6.89	6.76	19.77
RESINA	6.54	6.61	6.39	19.54
SUMATORIAS	12.66	13.50	13.15	39.31

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 3: Elevamos al cuadrado cada dato y calculamos las sumatorias de cada fila (propiedades mecánicas).

Tabla 86.

Sumatoria de datos elevando al cuadrado - ensayos de Deformaciones-Anova 2

Factores

\wedge^2	\wedge^2	\wedge^2	SUMATORIAS (Mpa)
37.45	47.47	45.70	130.62
42.77	43.69	40.83	127.30
			257.92

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 4: Calculamos el factor de corrección

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = \frac{(\text{SUMA DE TOTALES}^2)}{N}$$

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = \frac{(39.31^2)}{6}$$

$$\text{FACTOR DE CORRECCION} = 257.55$$

- Paso 5: Calculamos la suma de cuadrados totales

$$\text{SCT} = \text{SCC} - \text{FC}$$

$$\text{SCT} = \text{SUMA DE CUADRADOS TOTALES}$$

$$\text{SCC} = \text{SUMA DE LOS CUADRADOS DE LAS COLUMNAS}$$

$$\text{FC} = \text{FACTOR DE CORRECCION}$$

$$\text{SCT} = 257.92 - 257.55$$

$$\text{SCT} = 0.37$$

- Paso 6: Calculamos la suma de cuadrados de las filas (material)

$$\text{SCM} = \frac{(\text{SUMA DE CADA FILA}^2)}{\text{Numero de datos en cada fila}} - \text{Factor de corrección}$$

$$\text{SCM} = \frac{(19.77^2 + 19.54^2)}{3} - 257.55$$

$$\text{SCM} = 0.01$$

- Paso 7: Calculamos la suma de cuadrados de las columnas (ensayos de tracción)

$$SCD = \frac{(SUMA DE CADA COLUMNA^2)}{\text{Numero de datos en cada columna}} - \text{Factor de corrección}$$

$$SCD = \frac{(12.66^2 + 13.50^2 + 13.75^2)}{2} - 257.55$$

$$SCD = 0.18$$

- Paso 8: Calculamos la suma de cuadrados de las columnas (ensayos de tracción)

$$SCE = SCT - SCM - SCD$$

$$SCE = 0.37 - 0.01 - 0.18$$

$$SCE = 0.19$$

- Paso 9: Calculamos el cuadrado medio

CM = CUADRADO MEDIO

SC = SUMA DE CUADRADOS

GL = GRADOS DE LIBERTAD

$$CM = \frac{SC}{GL}$$

Tabla 87.

Cuadrado medio-Deformación-Anova 2 Factores

Factor de division	GL	SC	CM
INTERACCION	5	0.37	0.07
MATERIAL	2	0.01	0.00
DEFORMACION	1	0.18	0.18
ERROR	2	0.19	0.09

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 10: Calculamos el valor estadístico (F)

CM = CUADRADO MEDIO

F = VALOR ESTADISTICO

$$F_{INTERACCION} = \frac{CM_{INTERACCION}}{CM_{ERROR}}$$

$$F_{MATERIAL} = \frac{CM_{MATERIAL}}{CM_{ERROR}}$$

$$F_{DEFORMACION} = \frac{CM_{DEFORMACION}}{CM_{ERROR}}$$

Tabla 88.

Valor Estadístico (F)-Deformación-Anova 2 Factores

Factor de division	GL	SC	CM	F
INTERACCION	5	0.37	0.07	0.80
MATERIAL	2	0.01	0.00	0.05
DEFORMACION	1	0.18	0.18	1.90
ERROR	2	0.19	0.09	

Fuente: Elaboración Propia

- Paso 11: Prueba de hipótesis.

$$H_0: \mu_d = 0 \quad H_0: \mu_d \leq 0 \quad H_0: \mu_d \geq 0$$

$$H_i: \mu_d \neq 0 \quad H_i: \mu_d > 0 \quad H_i: \mu_d < 0$$

H₀: Hipótesis nula: Todas las medias son iguales.

H_i: Hipótesis alternativa: Al menos unos de las medias son diferentes.

- Paso 12: Calculamos el valor estadístico crítico de interacción (F_{critico})

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05).
Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor interacción= 5

Grados de libertad (denominador): Factor error=2

Para hallar en valor crítico (F_{critico}), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el F_{critico} con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{critico}} = 19.296$$

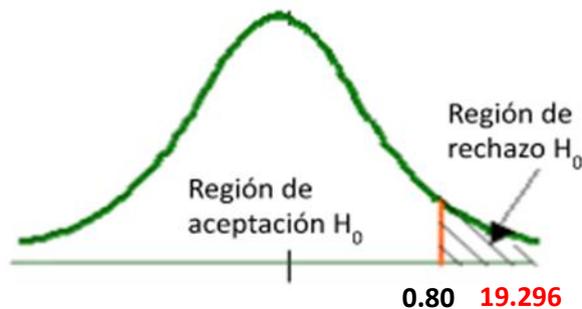
$$F < F_{critico}$$

$$0.80 < 19.296$$

- Paso 13: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 35.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Interacción)



Fuente: Elaboración Propia

- Paso 14: Calculamos el valor estadístico crítico de material ($F_{critico}$)

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05). Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor material= 2

Grados de libertad (denominador): Factor error=2

Para hallar el valor crítico ($F_{critico}$), Véase en Gráfica 25.

Calculamos el $F_{critico}$ con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{critico} = 19$$

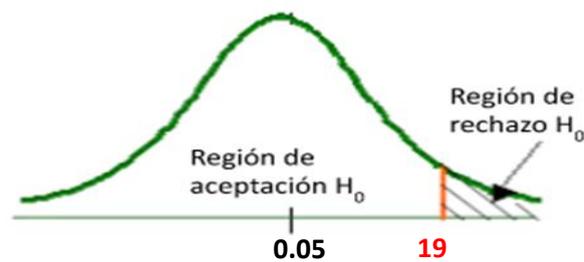
$$F < F_{critico}$$

$$0.05 < 19$$

- Paso 15: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 36.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Material)



Fuente: Elaboración Propia

- Paso 16: Calculamos el valor estadístico crítico de ensayo de deformación (F_{critico})

Trabajaremos con la tabla de valores críticos de distribución F (0.05). Para determinar el valor crítico, debemos calcular los grados de libertad en el numerador y el denominador.

Grados de libertad (numerador): Factor ensayos de deformación= 1

Grados de libertad (denominador): Factor error=2

Para hallar en valor crítico (F_{critico}), Véase en **Gráfica 25**.

Calculamos el F_{critico} con la tabla de distribución F (0.05)

$$F_{\text{critico}} = 18.513$$

$$F < F_{\text{critico}}$$

$$1.90 < 18.513$$

- Paso 17: Graficamos la región de aceptación y rechazo de hipótesis nula

Gráfica 37.

Región de aceptación o rechazo de H_0 – Anova 2 Factores (Deformación)



Fuente: Elaboración Propia

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En el presente trabajo de investigación se ha identificado las propiedades físicas y el comportamiento de los aceros a diversas temperaturas dependen en gran medida del contenido de carbono y su distribución. La mayoría de los aceros antes del tratamiento térmico son una mezcla de tres sustancias: ferrita, perlita y cementita.

A todo ello hay que agregar que la importancia de la microscopía proviene de la influencia de la composición química de los compuestos. Estos compuestos aparecen como compuestos intermetálicos con una estructura química bien definida y se dispersan como cristales mezclados de forma homogénea. Además, estos componentes se llaman componentes metalográficos y las propiedades físicas de una aleación dependen de sus proporciones, formas y relaciones. Por tanto, el desarrollo de métodos que nos ayuden a observar estos componentes debería ser un esfuerzo consciente para estudiar regiones microscópicas representativas de los fenómenos observados, teniendo en cuenta su origen. Nuestra observación metalográfica nos arrojó como dato demuestra que el tipo de acero era perteneciente a un acero ferrito perlítico, haciendo uso de la norma ASTM E3 -1995.

Siguiendo con el trabajo de investigación se han identificado el esfuerzo de fluencia, resistencia máxima, módulo de elasticidad, ductilidad en % de reducción de elongación que se obtuvieron de la máquina de ensayo tracción de la probeta de perno Saferock véase en la Figura 11, empleando la norma ASTM E8-2009, gracias a estos datos se graficó el esfuerzo vs deformación, donde obtuvimos la región lineal, región de endurecimiento y región de estricción, a partir de los resultados de tres ensayos de tracción del perno, véase en la Gráfica 1, la región lineal en el rango aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $0 \leq \sigma \leq 459.3$ y el rango aproximado deformación es, $0 \leq e \leq 0.02$, la región de endurecimiento por deformación en el rango aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $459.3 \leq \sigma \leq 809.57$ y el rango aproximado deformación es, $0.02 \leq e \leq 0.10$, la región de estricción en el rango aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $670.77 \leq \sigma \leq 809.57$ y el rango aproximado deformación es, $0.10 \leq e \leq 0.14$. véase en la Gráfica 2, la región lineal en el rango aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $0 \leq \sigma \leq 477.2$ y el rango aproximado deformación es, $0 \leq e \leq 0.02$, la región de endurecimiento por deformación en el rango aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $477.2 \leq \sigma \leq 813.75$ y el rango aproximado deformación es, $0.02 \leq e \leq 0.11$, la región de estricción en el rango

aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $658.77 \leq \sigma \leq 813.75$ y el rango aproximado de deformación es, $0.11 \leq e \leq 0.16$. véase en la Gráfica 3, la región lineal en el rango aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $0 \leq \sigma \leq 476.34$ y el rango aproximado de deformación es, $0 \leq e \leq 0.02$, la región de endurecimiento por deformación en el rango aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $476.34 \leq \sigma \leq 798.95$ y el rango aproximado de deformación es, $0.02 \leq e \leq 0.11$, la región de estricción en el rango aproximado de esfuerzo (Mpa) es, $649.4 \leq \sigma \leq 798.95$ y el rango aproximado de deformación es, $0.11 \leq e \leq 0.16$. A todo ello hay que agregar que estos datos mencionados son influenciados directamente por la longitud de la probeta, área de sección y radio de la probeta perno, para el respectivo ensayo de tracción ejecutadas en el laboratorio de Ingeniería de Materiales en la Universidad Nacional de Trujillo.

Continuando con el trabajo de investigación, se han identificado la carga aplicada en función del tiempo, que se obtuvieron de la máquina de ensayo compresión de probeta de resina Carbothix 2 Estándar véase en la Figura 24, empleando la norma ASTM D695-02a, gracias a estos datos se graficó el esfuerzo vs deformación. Para el ensayo de compresión se elaboró ocho probetas, con proporciones distintas: cuatro probetas con proporción de resina (50/50), una probeta con proporción de resina (40/60), una probeta con proporción de resina (60/40), una probeta con proporción de resina (30/70) y una probeta con proporción de resina (70/30). A todo ello hay que agregar que los datos obtenidos de la máquina de ensayo de compresión son influenciados directamente por la longitud de la probeta, área de la sección, diámetro y peso de la probeta de la resina, para el respectivo ensayo de compresión ejecutadas en el laboratorio de Ingeniería de Materiales en la Universidad Nacional de Trujillo.

Para la medición de la dureza del perno, se utilizó el Durómetro Ieco Imv-50v véase en la Figura 30, en el laboratorio de Ingeniería de Materiales en la Universidad Nacional de Trujillo, empleando la norma del acero ASTM E92. Se utilizó para este ensayo tres muestras de perno Saferock véase en la Figura 29, previamente cortadas en sentidos transversal y longitudinal.

Para la medición de la dureza de la resina, se utilizó el Durómetro integrado TH170 véase en la Figura 34, en el laboratorio de Ingeniería de Materiales en la Universidad Nacional de Trujillo, empleando la norma del acero DIN 53505. Se utilizó para este ensayo tres aros de acero inoxidable véase en la Figura 31, donde se introdujo la resina Carbothix 2 estándar, para su respectiva indentación. Los resultados obtenidos están en escala Shore D60, debido a la composición química del acero.

VI. CONCLUSIONES

- Se realizó un análisis microestructural empleando el microscopio óptico LEICA DM 600M para el perno de reforzamiento, haciendo uso de la norma ASTM E3 -1995 dando como resultado que el material estudiado es del tipo acero derrito perlítico.
- Se determinó el esfuerzo de fluencia, resistencia máxima, módulo de elasticidad, ductilidad en % de reducción de elongación, mediante el ensayo de tracción del perno de reforzamiento, empleando la norma ASTM E8-2009.
- Se determinó el esfuerzo de rotura, deformación, carga aplicada en función del tiempo, mediante el ensayo de compresión de la resina, empleando la norma ASTM D695-02a.
- El estudio ha demostrado que es inapropiado alterar las proporciones 1:1 (50/50) en cuanto al volumen de la resina Carbothix 2 Estándar porque altera las propiedades químicas del material.
- Se determinó la dureza del perno de reforzamiento en escala Vickers (10kg-f), empleando la norma del acero ASTM E92.
- Se determinó la dureza de la resina Carbothix 2 Estándar en escala Shore (D60), empleando la norma DIN 53505.
- Se determinó que, si existen diferencias significativas entre las propiedades mecánicas del perno y resina, empleando las pruebas estadísticas T student y Anova.
- La investigación nos dió como resultado que es más resistente el perno de reforzamiento que la resina Carbothix 2 estándar y debido a esta diferencia de valores no es factible realizar los ensayos de tracción y compresión para el sistema perno – resina.

VII. RECOMENDACIONES

- Se requiere hacer una limpieza profunda en caso exista presencia de óxido en el perno de reforzamiento caso contrario ocasionará la alteración en el estudio metalográfico, por tal motivo antes de realizar el estudio metalográfico del perno de reforzamiento es lijado y/o pulido eliminando toda presencia de óxido.
- Se recomienda realizar un mantenimiento periódico a las maquinarias que realizan los ensayos tanto de compresión como de tracción para evitar contratiempos que impidan realizar los ensayos.
- Se recomienda tener en cuenta las especificaciones técnicas de la resina Carbothix 2 estándar para el buen uso y manipulación del material importantes para la realización de probetas empleadas en ensayos correspondientes.
- Se recomienda el uso de las normas técnicas para establecer los parámetros de diseño de muestras utilizadas en los diferentes ensayos, ya sean para tracción, compresión, dureza o metalografía.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 3 técnicas de sostenimiento en minería subterránea. (22 de Noviembre de 2017). *Revista Seguridad Minera*.
- Acuña Montañez, E. (22 de Diciembre de 2017). *Seguridad Minera*. Obtenido de Seguridad Minera: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/caracteristicas-de-los-pernos-de-roca/>
- Acuña Montañez, E. (22 de Diciembre de 2020). *Seguridad Minera*. Obtenido de Seguridad Minera: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/caracteristicas-de-los-pernos-de-roca/>
- Alva Mallqui, L. M. (01 de Agosto de 2019). *Renati*. Obtenido de Renati: <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2993000>
- Álvarez Santana, C. O. (02 de Enero de 2020). *Repositorio UNCP*. Obtenido de Repositorio UNCP: <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6438>
- ALVAREZ, S. (2021). Resina Geoflex.
- Anderson, F. (2015). Variabilidad en Proyectos de Construcción.
- Andrade Mendoza, E. (20 de Noviembre de 2019). *repositorio.unap.edu.pe*. Obtenido de repositorio.unap.edu.pe: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12603/Andrade_Mendoza_Eusebio_Felix.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arturo, R. Y. (27 de Diciembre de 2019). *Geco.mineroartesanal*. Obtenido de Geco.mineroartesanal: http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=1201
- Bello, U. A. (8 de 11 de 2021). *Explora.unab.cl*. Obtenido de Explora.unab.cl: <https://explora.unab.cl/conoce-el-campo-laboral-de-ingenieria-civil-en-minas/>
- Características de los pernos de roca. (2012). *Seguridad minera*.
- Código N° 033C. (s.f.). *Labores Mineras*.
- CS/ESPANA. (s.f.). Obtenido de <https://www.csiespana.com/software/5/etabs>
- De La Colina Martinez, J. R. (2 de Julio de 2019). La ingeniería estructural. *redalyc.org*, 171-177. Obtenido de redalyc.org.
- *eadic*. (s.f.). Obtenido de <https://www.eadic.com>
- *esdim*. (s.f.). Obtenido de <https://esdim.com/para-que-sirve-revit-structure/>
- Horman. (2000). BUFFERS DE PROGRAMACIÓN: UNA ESTRATEGIA

COMPLEMENTARIA PARA. *Ingenieria de la Construccion.*

- Impens, M. (16 de Enero de 2019). *Gantrex*. Obtenido de Gantrex: <https://www.gantrex.com/es/productos/morteros-y-anclajes/>
- Ingemecanica. (08 de octubre de 2018). *Ingemecanica*. Obtenido de Ingemecanica: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn218.html>
- Instituto de Corrosion y Proteccion. (18 de agosto de 2013). *icp.pucp.edu.pe*. Obtenido de icp.pucp.edu.pe: <https://icp.pucp.edu.pe/formacioncontinua/analisis-metalografico/>
- Koskela. (2000). Variabilidad en Proyectos de Construccion. *Filosofia Lean Construction*.
- materiales phemtycs. (16 de junio de 2019). <https://materiales.phemtycs.com/>. Obtenido de <https://materiales.phemtycs.com/>: <https://materiales.phemtycs.com/ensayo-de-dureza-vickers/>
- MENDOZA, E. F. (2019). *PERNOS DE ANCLAJE Y FACTORES QUE INCIDEN EN LA CAIDA DE ROCAS EN MINERÍA SUBTERRANEA: CASO MINA CARIDAD - LINCUNA*. PUNO.
- Minera Seguridad. (22 de Noviembre de 2017). *Seguridad Minera*. Obtenido de Seguridad Minera: <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/tecnicas-de-sostenimiento-en-mineria-subterranea/>
- Ministerio de minería - Chile. (2019). Guías de operación para la pequeña minería. *Fortificación y acuñadura*, 7-9.
- Minova. (2019). Carbothix 2.
- Nelson, B. Z. (2020). *Repositorio.usm*. (F. O. Rodrigo, Ed.) Obtenido de Repositorio.usm: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48837/3560901064858UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ortiz Sanchez, O., Fernandez Cauti, F., & Blas Guzman, W. (2018). Sostenimiento activo de excavaciones mineras subterranas y a cielo abierto mediante mortero de resina en perno y tendones de anclaje. *Revista del instituto de investigacion*.
- Palacio Ibacache, J., & Vergara Hantsch, V. (10 de Enero de 2019). *Repositorio USM*. Obtenido de Repositorio USM: <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48128/3560901064675UTFSM>.

pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Paredes Robalino, M. B., & Topampa Muyulema, L. A. (05 de Julio de 2018). *Repositorio UTA*. Obtenido de Repositorio UTA:
<https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/28978>
- Puga, L. R. (22 de Diciembre de 2015). *Labores Mineros*. Obtenido de cupdf:
<https://cupdf.com/document/labores-mineras-567921e156934.html>
- QUIMICA. (02 de Febrero de 2023). *quimica.es*. Obtenido de quimica.es:
https://www.quimica.es/enciclopedia/Propiedades_mec%C3%A1nicas_de_los_materiales.html
- Quispe Basurco, & Portal Calderon. (2021). *El sostenimiento de las labores subterráneas*.
- Quispe Basurco, A. V., & Portal Calderon, M. A. (24 de Noviembre de 2021). *Repositorio UPN*. Obtenido de Repositorio UPN:
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/28605?show=full>
- Russo, R. (2016). Causas y efectos de la variabilidad. *CATIE*.
- S.A.S, I. &. (s.f.). *construcciones metálicas*. Obtenido de
<https://www.estructurasmetalicascolombia.com/construcciones-metalicas/suministros-metalicos/cimbras-metalicas-para-minas>
- Salvatierra Condori, A. (2018). *DISTRIBUCION´ OPTIMA DE AMORTIGUADORES VISCOSOS NO LINEALES PARA UNA EDIFICACIÓN APORTICADA DE CONCRETO ARMADO MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS*. HUANCAVELICA.
- Segura Perez, I. M. (2019). *Universidad Complutense de Madrid*. Obtenido de Universidad Complutense de Madrid:
https://oa.upm.es/2385/1/INVE_MEM_2008_55373.pdf
- SONAMI. (2019). *Fortificación y Acuñadura*. Guía de operación para la pequeña minería.
- *Sostenimiento en Minería subterránea*. (2016). Cerro Rico, Arequipa, Perú.
- *Sostenimiento en Minería Subterránea*. (16 de Noviembre de 2020).
- *Tiempo Minero*. (16 de Noviembre de 2020). *Tiempo Minero*. Obtenido de *Tiempo Minero*: <https://camiper.com/tiempominero-noticias-en-mineria-para-el-peru-y-el-mundo/sostenimiento-en-mineria-subterranea-amplia-tu-criterio/>
- UPV. (02 de agosto de 2020). *Universidad Politecnica de Valencia*. Obtenido de

Universidad Politecnica de Valencia:

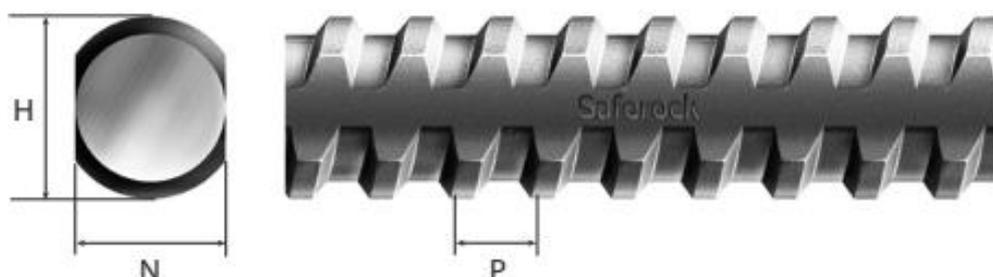
https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm02/fcm2_1.html

- Wedekamper, F., Lorio, D. A., & Strohaecker, T. R. (23 de Julio de 2018). *ResearchGate*. Obtenido de ResearchGate:
https://www.researchgate.net/publication/326662398_Caracterizacion_de_resinas_epoxi_para_uso_en_conectores_de_ductos_flexibles

ANEXO**ANEXO N°01: FICHA TÉCNICA DE
MATERIALES Y EQUIPOS PARA ENSAYO.**

PERNOS SAFEROCK® PARA REFUERZO DE ROCAS

AZA
Acero Sostenible®



Los Pernos SAFEROCK® para refuerzo de rocas, son productos de una sección transversal resistente, levemente ovalada con resaltes en forma de un hilo helicoidal izquierdo de gran paso. El suministro se hace en barras rectas, en su estado de laminación en caliente y sin tratamientos posteriores.

El diseño del hilo permite colocar una tuerca que puede rodar longitudinalmente por los resaltes, para formar una sección resistente a la torsión, en conjunto al concreto que servirá de anclaje.

ESPECIFICACIONES GENERALES

Calidad del acero: A280, A420

Los Pernos SAFEROCK® cumplen con las propiedades mecánicas de la norma NCh204 Of.2006.

1.1 PROPIEDADES MECÁNICAS

Grado del Acero	Resistencia a la Tracción MPa	Tensión de Fluencia MPa	Alargamiento %
A280	≥ 440	≥ 280	≥ 16
A420	≥ 630	420 a 580	≥ 8
Grado 60	≥ 620	≥ 420	≥ 8
Grado 75	≥ 690	≥ 520	≥ 7

Nota: % de alargamiento ver norma y diámetro correspondiente.

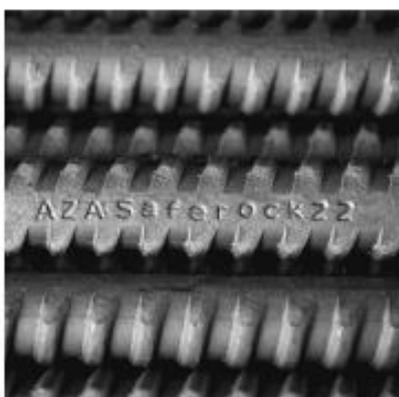
PERNOS SAFEROCK® PARA REFUERZO DE ROCAS

AZA
Acero Sostenible®

1.2 DIMENSIONES NORMALES

Díámetro nominal mm	Masa lineal media kg/m	Paso de hilo, P mm	Alto H máximo mm	Ancho N máximo mm
16	1,52	9,00	18,2	14,7
19	2,00	9,90	21,0	17,0
22	2,80	11,09	24,8	20,2
25	3,60	12,50	28,2	23,2

La tolerancia en la masa lineal \pm 3,5% sobre el valor nominal.



TRAZABILIDAD

El número de colada va grabada bajo relieve en cada Perno SAFEROCK® para garantizar los estándares de calidad de los procesos. La trazabilidad de los pernos SAFEROCK® va desde su fabricación hasta su entrega final.

IDENTIFICACIÓN DE LAS BARRAS

Los Pernos SAFEROCK® llevan la marca de origen AZA por un lado y el grado del acero bajo relieve en un costado: A280 o A420, correspondiente al Grado A440 o A630, de la norma NCh204 Of.2006 respectivamente. Por otra parte, para indicar el extremo recomendado para introducir la tuerca, los pernos SAFEROCK® se pintan con color amarillo para A440 y blanco para A630. Además se pueden fabricar en otros grados (sujeto a consulta).

LARGOS NORMALES

AZA suministra estos productos al largo estándar de 6 m; y sujeto a consulta previa, se entregan en largos especiales distintos del estándar.

APLICACIONES

Los Pernos SAFEROCK® se utilizan para la fortificación y el reforzamiento de rocas, taludes y suelos. Estos permiten mantener la integridad de la roca sometida a esfuerzos, de manera que actúen de forma efectiva, ya sea como arco o viga tendida, a través de la excavación. También para fijar cualquier roca suelta o estrato delgado en la superficie de la cavidad, anclándolos profundamente.

Grado del Acero	Composición Química, %					Carbono Equivalente
	C	Mn	P máx	S máx	Si	% Ceq (máx.)
(1)						(2)
AZA 1005	0,06 máx.	0,40 - 0,50	0,030	0,035	-	0,21
AZA 1006	0,08 máx.	0,30 - 0,50	0,030	0,035	-	0,23
SAE 1010	0,08 - 0,13	0,30 - 0,60	0,030	0,050	0,10 - 0,15	0,34
SAE 1015	0,13 - 0,18	0,30 - 0,60	0,030	0,050	0,10 - 0,15	0,39
SAE 1020	0,18 - 0,23	0,30 - 0,60	0,030	0,050	0,10 - 0,15	0,44
SAE 1045	0,43 - 0,50	0,60 - 0,90	0,030	0,050	0,15 - 0,30	0,76
A240ES	≤ 0,22	≤ 1,15	0,040	0,050	-	0,48
A270ES	≤ 0,23	≤ 1,25	0,040	0,050	-	0,48
A345ES	≤ 0,24	≤ 1,45	0,040	0,050	-	0,48
ASTM A36	≤ 0,26	-	0,04	0,050	-	0,52
Comercial	0,08 - 0,28	0,30 - 0,80	0,050	0,060	-	0,55

(1) Silicio: En los grados SAE, los siguientes límites serán empleados: SAE 1015 y SAE 1020 los rangos de 0,10% - 0,20%, 0,15% - 0,30%, 0,20% - 0,40% ó 0,30% - 0,60%. Para el SAE 1045, los rangos de Silicio son 0,10% - 0,20%, 0,15% - 0,30%, 0,20% - 0,40% ó 0,30% - 0,60%.

(2) El Carbono equivalente (Ceq) es un índice de la soldabilidad del acero, recomendándose los valores según normativas correspondientes.

El Ceq se determina por la siguiente expresión:

$$\text{Según norma NCh203:2006} \quad C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \leq 0,48\%$$

$$\text{Según norma NCh3334} \quad C_{eq} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{40} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr}{10} - \frac{Mo}{50} - \frac{V}{10} \leq 0,55\%$$

Grado del Acero	Resistencia a la Tracción F_u		Límite de Fluencia F_y		Alargamiento %		
	MPa	kgf/mm ²	MPa	kgf/mm ²			
(1) A345ES	510 - 610	51 - 61	345	(2) 34	e≤5 20	5<e≤16 18	e>16 16
A270ES	410 - 510	41 - 51	270	27	22	20	18
ASTM A36	400 - 550	40,7	250	25,4	20 (3)		
(4) A440 - 280H	440	44,9	280	28,6	16		
A630 - 420H	630	64,2	420 - 580	42,8 - 59,1	$\frac{7000}{F_u} - K \geq 8$		

En las designaciones de los aceros, según las normas chilenas, la letra A indica que el material es acero de carbono; los números se refieren a la resistencia a la tracción y al límite de fluencia mínimo por tracción, respectivamente, expresados en MPa, la letra E indica que el acero es para usos estructurales, la letra S que el acero es de soldabilidad garantizada, la letra H indica que el acero es para uso en hormigón armado.

(1) La Norma NCh203 Of.2006: Acero para uso estructural. Son requisitos adicionales de esta norma el cumplir con un ensayo de doblado practicado sobre una probeta estandarizada, además de cumplir exigencias en la composición química para asegurar su soldabilidad.

(2) Válido para probetas de 50 mm entre marcas. Para espesores o diámetros sobre 16 mm y menores a 50 mm, estos valores deben disminuirse en 2%; para espesores o diámetros menores o iguales a 5 mm, deben aumentarse en 2%.

(3) Alargamiento mínimo en probetas de 200 mm.

(4) la Norma NCh204 Of.2006: Barras laminadas en caliente para hormigón armado. Son requisitos en esta norma, el cumplimiento de un ensayo de doblado efectuado sobre una probeta, además de cumplir los requisitos de la forma y dimensiones de los resaltes y de masas de las barras.

K es un coeficiente que depende del diámetro nominal de la barra (e) y cuyo valor se indica a continuación:

e (mm) :	6	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
K :	3	2	1	0	0	0	1	2	3	4	5

FICHA TÉCNICA



MINERÍA / CONSTRUCCIÓN

CARBOTHIX 2 / ESTÁNDAR

JUNTA DE ANCLAJE DE RESINA DE SILICATO

DESCRIPCIÓN

CarboThix 2 / Standard es una resina de silicato de dos componentes de curado rápido y espesamiento instantáneo para la unión de pernos y anclajes de cables. CarboThix 2 / Standard fue desarrollado para mejorar la productividad de las instalaciones de soporte en tierra en aplicaciones de minería subterránea y túneles. El uso de la resina bombeable permite que la carga se recupere en minutos en lugar de las típicas 24 horas de los sistemas cementosos con lechada. Las aplicaciones típicas de CarboThix 2 / Standard incluyen lechada de pernos de inyección, varillas de acero o GFRP y sellado de pernos de techo.

Durante la aplicación, los dos componentes se mezclan íntimamente y logran una viscosidad similar a la grasa (el llamado efecto Thix) de modo que la lechada deja de fluir y se cura para formar una resina resistente, elástica y no porosa que no se mezcla con agua ni se diluye en agujeros mojados. CarboThix 2 / Standard es resistente a ácidos y álcalis diluidos, así como a grasas. Como el sistema está bajo la presión de la bomba, un poco de lechada se introduce en pequeñas grietas y fisuras alrededor del orificio del ancla, lo que garantiza la encapsulación completa del ancla. Como los dos componentes de resina se mezclan en un volumen establecido, se garantiza una mezcla constante de la lechada, una ventaja sobre las lechadas cementosas. Esto brinda una calidad confiable de lechada y desempeño de anclaje. Los problemas de seguridad y manejo del operador también mejoran con respecto a los sistemas de lechada cementosa.

Como sistema de resina bombeable, CarboThix 2 / Standard se puede bombear a largas distancias (hasta 1500 pies) mejorando la flexibilidad operativa.



VENTAJAS

- Encapsulado completo de anclajes
- Capacidad de carga inmediata del cerrojo
- Bombeo de larga distancia (hasta 1500 pies)

MÉTODO DE APLICACIÓN

Después de mezclar a fondo los dos componentes, la resina alcanza instantáneamente un nivel de viscosidad similar a la grasa de modo que la mezcla deja de fluir, incluso en fisuras grandes, y requiere presión de la bomba para su desplazamiento. Los componentes deben bombearse en una proporción volumétrica de 1: 1 utilizando una bomba de dos componentes y la mezcla final de los materiales se logra en la varilla mediante un mezclador estático antes de la colocación. La alta resistencia de CarboThix proporciona una transferencia uniforme de las tensiones locales de la roca en toda la longitud del perno.

Para la unión de anclajes de inyección (SDA y barra hueca), la resina mezclada se inyecta en el orificio perforado hasta la profundidad máxima para llenar el espacio anular y las juntas adyacentes. Para obtener instrucciones detalladas de uso (especialmente antes de un cambio de resinas de inyección), consulte el "Manual técnico para el uso seguro de resinas de inyección en el sector minero" de Minova.

Datos técnicos

Los datos a continuación son datos de laboratorio. Los resultados pueden variar en la práctica debido al intercambio térmico entre la resina y los estratos, las propiedades superficiales de la roca, la humedad, la presión y otros factores.

Datos materiales

Parámetro	Unidad	Componente A	Componente B	Estándar
Densidad a 25 ° C	kg / m ³	1430 ± 60	1160 ± 50	DIN 12791-1
Color		pardusco-turbio	marrón	
punto de inflamabilidad	F °	N / A	> 212	DIN 53213
Viscosidad a 25 ° C	cps	310 ± 50	190 ± 40	ISO 3219

Datos de Reacción

Temperatura inicial	86 ° F (30 ° C)
Mezclar la viscosidad después de 10 segundos	> 100.000 cps
Tiempo abierto	40 segundos ± 5 segundos

Datos mecánicos

Parámetro	15 minutos	30 minutos	60 minutos	120 minutos	240 minutos
Resistencia en% a 77 ° F (25 ° C)	50	70	90	100	100
Módulo de elasticidad					Aprox. 200 MPa
Resistencia a la cizalladura					Aprox. 14 MPa
Dureza de la orilla					D 60

Máquina de Tracción Universal

La máquina de tracción universal está diseñada para someter una probeta normalizada, de diferentes tipos de materiales puros o aleaciones, a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta producir la fractura del mismo.

Características:

- Tensión de línea trifásica 220V. 50-60HZ
- Ajuste manual.
- Color azul.
- Capacidad: 10 toneladas.
- Marca: Jinan.

Procedimiento:

Para realizar un buen uso de la máquina de tracción universal:

- Revisar los componentes si se encuentran debidamente ajustados.
- Comprobar que el sistema (Software) está debidamente calibrada.
- Separar entre si las mordazas para colocar de manera cómoda la probeta a ensayar.
- Una vez conforme la instalación de la probeta, salir del Área de riesgo y realizar el ensayo.
- Al terminar el ensayo abrir una mordaza para la separación prudente de las mismas.
- Retirar con cuidado las partes de la probeta fracturada.
- Apagar y desconectar la máquina de tracción.

Advertencias de seguridad:

- No cruzar la línea de seguridad cuando se desarrolla el ensayo.
- Nunca colocar la probeta cuando las mordazas está en movimiento.
- No abrir las mordazas cuando se está realizando el ensayo.
- Nunca sujetar la probeta cuando se desarrolla el trabajo.

Leica DM6000 M – El microscopio de investigación que cumple todos sus deseos

Déjese entusiasmar por el Leica DM6000 M con su automatización inteligente hasta en el más pequeño de los módulos.

- Sistema hecho a medida para tareas de investigación, con cámaras digitales de alta resolución y módulos de software para el análisis y el archivo de imágenes.
- Bajo pedido, se encuentran disponibles un eje episcópico para campo claro, campo oscuro, polarización, contraste interferencial y fluorescencia, todos ellos automáticos.
- Luz de episcopía con 4 unidades de discos reflectores (dos unidades fijas, dos unidades intercambiables) para prismas o filtros de fluorescencia.
- Eje diascópico* totalmente automatizado para todos los métodos habituales (campo claro, campo oscuro, contraste de fases, polarización y con graduación de brillo en color neutro).
- Control automático de la iluminación y el contraste, así como del diafragma de apertura y de campo.
- Mando de enfoque z y platina motorizados con posiciones en x, y, z reproducibles.
- Revólver porta objetivos motorizado de 6 posiciones.
- Función única de memoria para el cambio simultáneo del objetivo y del método de contraste.
- Pantalla táctil Leica SmartTouch para controlar y manejar todos los módulos automatizados.
- Nuevo: panel opcional externo Leica STP6000 (SmartTouchPanel) para el control remoto intuitivo y sin vibraciones.]



Mediante el nuevo panel externo SmartTouch Leica STP6000 se pueden manejar a distancia todas las funciones automáticas del microscopio. Para ello se trabaja con la misma interfaz de usuario intuitiva que tiene el software Leica Application Suite.

Leica
MICROSYSTEMS



Leica DM6000 M con tubo de documentación MBOT motorizado.

Datos técnicos

Leica DM6000 M		
Estativo	Alimentación	- Caja electrónica CTR6000
	Pantalla	- Leica SmartTouch (7,3 x 7,3 cm) con panel de información y control
	Puertos	- 2 x USB 2.0
Manejo	Enfoque	- Motorizado - 5 transmisiones electrónicas - incl. función de "Parfocalidad" - conmutación entre modo macrométrico y micrométrico - posición de memoria para 2 posiciones-z
	Revólver porta objetivos	- totalmente codificado y motorizado - 6 alojamientos con rosca M32 - incl. modo en seco y de inmersión
	Platinas	- Motorizada - con motor paso a paso - conmutación entre modo rápido y de precisión - incl. posición de memoria para hasta 8 posiciones de la platina - manual - con recubrimiento cerámico - accionamiento-y con cable de tracción - platina con mecanismo telescópico con par de torsión ajustable - manual - 4" x 4" - manual - 8" x 4" - manual - platina con accionamiento invertido (para muestras altas) - 6" x 6" para muestras grandes
Eje diascópico	Iluminación	- lámpara halógena de 12 V 100 W
	Automatismos	- control automático de la iluminación (adaptación del brillo) - control automático del contraste (adaptación del diafragma de campo y apertura) - graduación de brillo en color neutro
	Métodos de contraste	- BF, POL, PH, DIC
Eje episcópico	Disco de filtros motorizado	- 4 alojamientos - 2 posiciones fijas - 2 posiciones variables
	Iluminación	- lámpara halógena de 100 W - lámpara Hg 100 W - lámpara Hg 50 W
	Automatismos	- control automático de la iluminación (adaptación de la intensidad luminosa) - control automático del contraste (adaptación del diafragma de campo y apertura) - diafragmas de campo claro redondos y cuadrangulares para observaciones oculares o a través de cámara
	Métodos de contraste	- BF - DF - POL - DIC (automatizada) - fluorescencia
Condensadores	Automatismo	- lente superior del condensador, mot. - disco condensador mot. (opcional) con 7 alojamientos - polarizador mot. (opcional)

LMV-50V

Probador automático de dureza micro/macro

Sistema de prueba de dureza Multi-Vickers completamente automático con tecnología de celda de carga

Avance al sistema de prueba de dureza Multi-Vickers más versátil y avanzado que LECO haya ofrecido jamás: el LMV-50V

- Dos celdas de carga para una mejor repetibilidad
- Amplio rango de carga—10 gf a 50 kgf
- Rangos de carga personalizables

El LMV-50V, que utiliza tecnología de celdas de carga autocompensantes, de bucle cerrado y de última generación, está diseñado con una interfaz fácil de usar para brindarle lo último en flexibilidad para sus aplicaciones de prueba de materiales.

El LMV-50V puede realizar pruebas Vickers/Knoop/Brinell (carga ligera) y resistencia a la fractura. El probador se carga con el toque de un dedo (no hay perillas para girar para cambiar las cargas). Las posibilidades de error del operador se eliminan virtualmente. Simplemente seleccione la carga deseada en la pantalla táctil y el LMV-50V hace el resto.

Además de proporcionarle todas las cargas de prueba micro/macro estándar, el LMV-50V también le permite crear una prueba personalizada utilizando la opción de carga libre, ideal para aplicaciones de investigación.



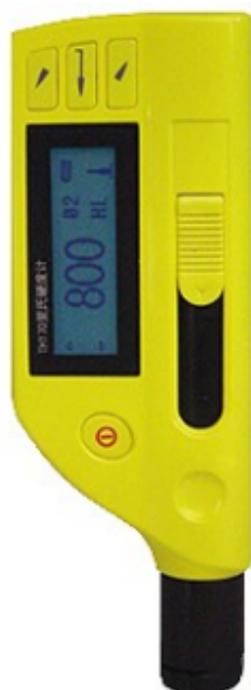
Torreta automática para mayor comodidad



Pantalla táctil LCD a color fácil de usar



Durómetro Integrado TH170



Escalas de Durezas: Rockwell B, Rockwell C, Vickers, Brinell, Shore D y Leeb.

Mide en cualquier dirección

Salida USB y memoria para 270 valores promedio en 9 grupos

Pantalla con luz de respaldo

¡SIN CABLES!

El **TH-170** es un avanzado medidor de dureza integrado que se distingue por su tamaño muy compacto amplio campo de medición y simpleza de manejo. Es adecuado para realizar ensayos de dureza de todos los metales y es ampliamente utilizado en diversas áreas industriales.

El durómetro **TH-170** combina un elemento de impacto universal tipo D y un procesador de datos en una sola unidad y calcula automáticamente los valores de dureza Rockwell, Vickers, Brinell o Shore D. La dirección de impacto puede ser predefinida por el usuario o detectada automáticamente por el equipo, de tal forma de alcanzar valores exactos en cualquier ángulo, aún midiendo hacia arriba. Entrega automáticamente el valor promedio de las lecturas obtenidas.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Dimensiones	155 x 55 x 25 mm
Indentador	Tipo D
Energía de impacto	11 Nmm
Material del elemento de impacto	Carburo de Tungsteno
Exactitud	±0,8% (correspondiente a ±1 RC a 58 RC)
Dureza máxima de la muestra	955 V
Peso	166 g
Duración de la batería	150 horas de uso continuo (sin luz de respaldo)
Dirección de impacto	Cualquier ángulo
Temperatura de operación	0 a 40° C
Peso mínimo de la muestra	5 kg (entre 2 y 5 kg se requiere que la muestra tenga un soporte)
Espesor mínimo de capas	0,8 mm
Radio de curvatura mínimo de la superficie	50 mm

APLICACIONES TÍPICAS

- En ensayos de dureza de objetos grandes y pesados.
- En componentes de maquinarias o estructuras.
- En la identificación de materiales.
- En lugares de difícil acceso o espacios reducidos.
- En control de calidad en general.

Se incluye:

- ❖ Durómetro TH-170
- ❖ Driver y cable de comunicación PC
- ❖ 2 pilas de 1,5 V tipo AAA
- ❖ Bloque de calibración de acero
- ❖ Escobilla de limpieza
- ❖ Manual de operaciones **en Español**
- ❖ Maletín de Transporte

ANEXO N°02: Panel fotográfico.

Ensayo de tracción:**Figura 10.**

Pernos Saferock A420



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11.

Probeta de perno SAFEROCK



Fuente: Elaboración Propia

Figura 12.

Máquina universal para ensayo de tracción



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13.

Probeta sujeta a mordaza en máquina universal de tracción



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14.

Probeta mecanizada en máquina universal de tracción



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15.

Rotura de probeta de perno SAFEROCK en máquina universal de tracción



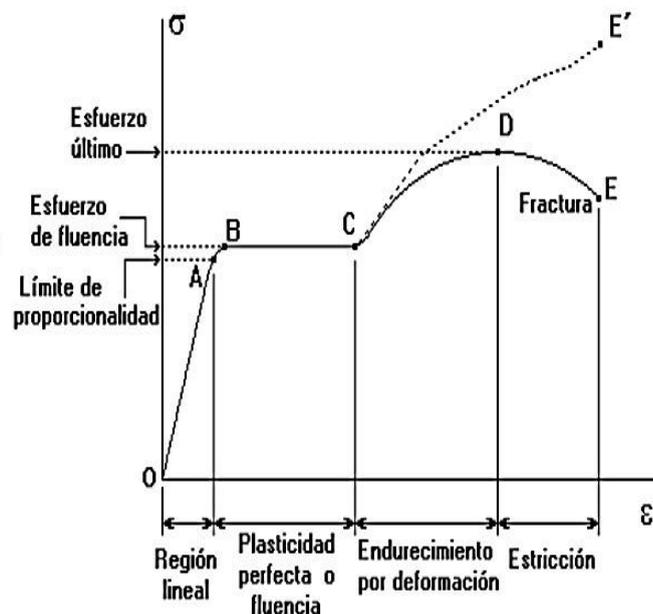
Fuente: Elaboración Propia

Figura 16.

Representación esquemática del acero

ENSAYO DE TRACCION: Grafico para el acero(esquemático).

- O: comienzo del ensayo.
- A: (δ_p) Limite de proporcionalidad
- B. (δ_z) Limite elástico aparente o superior de fluencia.
- C: Incremento de la carga por endurecimiento.
- D: (Q_m) Carga máxima.
- E: Rotura



Fuente: Elaboración Propia

INTERPRETACIÓN DEL GRÁFICO

- 1) **Zona 0-A: Periodo elástico**, se representa por una recta que pone de manifiesto la proporcionalidad entre alargamiento y carga que la produce, Ley de Hooke. Los aceros retoman su longitud inicial al cesar la carga no sobrepasando el punto A.
- 2) **Zona A-B: Zona de alargamiento pseudoelástico**, Se presenta un pequeño tramo ligeramente curvo que es prácticamente la continuación de la recta. Se les suma a los alargamientos elásticos una pequeña deformación que es incluso recuperable en el tiempo. Por lo tanto, al punto B se lo denomina Limite Elástico Aparente o Superior de Fluencia.
- 3) **Zona B-C: Zona de fluencia**, comienzan oscilaciones a pequeños avances y retrocesos de la carga, dejando una importante deformación permanente del material, el mismo escurre sin aumento considerable de carga, las oscilaciones denotan que la fluencia no se produce simultáneamente en todo el material. Este fenómeno es una significativa característica de los aceros dúctiles.

- 4) **Zona C-D: Zona de alargamiento homogéneo**, se produce luego de concluida la fluencia, por causa de la deformación se produce un efecto de endurecimiento conocido con el nombre de “ACRITUD”. El material al deformarse aumenta su capacidad de carga hasta un máximo que será el punto D, las deformaciones son grandes y en toda la pieza. Al llegar a D se concentran las deformaciones en una zona específica (estricción).
- 5) **Zona D-E: Zona de estricción**, en este periodo la ACRITUD subsiste, pero, no puede compensar la rápida disminución de algunas secciones transversales que sufre la probeta, por lo tanto, desciende la carga hasta la fractura.

Ensayo de compresión

Figura 17.

Resina Carbothix 2 estándar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 18.

Probeta para muestra de resina Carbothix 2 estándar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 19.

Jarra de plástico para medir el volumen de resina Carbothix 2 estándar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 20.

Embudo para vaciar la resina Carbothix 2 estándar y termómetro sumergible



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21.

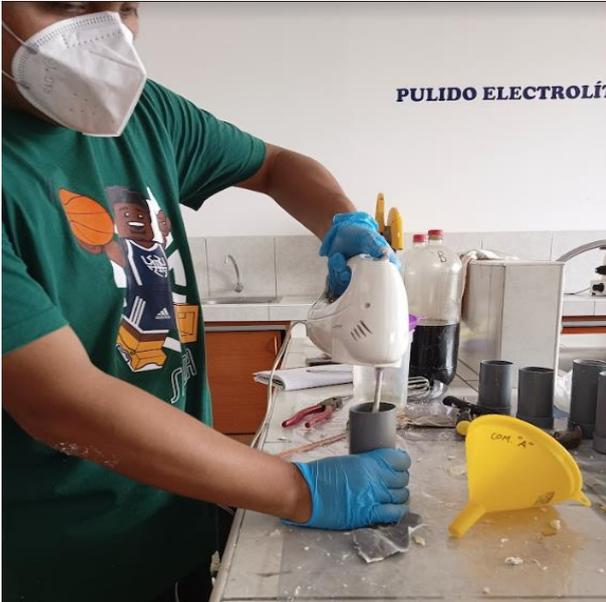
Traslado de resina Carbothix 2 estándar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22.

Preparación de muestra de resina



Fuente: Elaboración Propia

Figura 23.

Apertura de muestra de resina Carbothix 2 estándar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24.

Muestras de resina Carbothix 2 estándar



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25.

Máquina universal para ensayo de compresión



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26.

Rotura de muestra de resina Carbothix 2 estándar



Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de dureza en escala Vickers (acero helicoidal)

Figura 27.

Aros de acero inoxidable para toma de muestra



Fuente: Elaboración Propia

Figura 28.

Materiales para el ensayo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 29.

Muestra para ensayo de dureza en escala Vickers



Fuente: Elaboración Propia

Figura 30.

Durómetro Ieco Imv-50v



Fuente: Elaboración Propia

Ensayo de dureza en escala shore D60 (resina)

Figura 31.

Aros de acero inoxidable para toma de muestra



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32.

Preparación de muestras para ensayo de dureza en escala Shore D60



Fuente: Elaboración Propia

Figura 33.

Muestras para ensayo de dureza en escala Shore D60



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34.

Durómetro integrado TH170



Fuente: Elaboración Propia

Ensayo microestructural

Figura 35.

Muestras para ensayo de MICROESTRUCTURA



Fuente: Elaboración Propia

Figura 36.

Microscopio Óptico LEICA DM600M



Fuente: Elaboración Propia

ANEXO N°03: Normas técnicas para realización de ensayos.



Designación: E8/E8M – 09

Métodos de prueba estándar para Prueba de tensión de materiales metálicos 1

Esta norma se emite con la designación fija E8/E8M; el número que sigue inmediatamente a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. Un superíndice epsilon (⁠) indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación.

Este estándar ha sido aprobado para su uso por agencias del Departamento de Defensa.

1. Alcance

- 1.1. Estos métodos de prueba cubren la prueba de tensión de materiales metálicos en cualquier forma a temperatura ambiente, específicamente, los métodos de determinación de la resistencia a la fluencia, elongación del punto de fluencia, resistencia a la tracción, elongación y reducción del área.
- 1.2. Los valores indicados en unidades SI deben considerarse separados de las unidades de pulgadas/libras. Los valores establecidos en cada sistema no son equivalentes exactos; por lo tanto, cada sistema debe usarse independientemente del otro. La combinación de valores de los dos sistemas puede resultar en la no conformidad con el estándar.
- 1.3. Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hubiere, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Importancia y uso

- 2.1. Las pruebas de tensión brindan información sobre la resistencia y ductilidad de los materiales bajo esfuerzos de tracción uniaxiales. Esta información puede ser útil en comparaciones de materiales, desarrollo de aleaciones, control de calidad y diseño bajo circunstancias.
- 2.2. Los resultados de las pruebas de tensión de especímenes maquinados a dimensiones estandarizadas de porciones seleccionadas de una pieza o material pueden no representar

totalmente las propiedades de resistencia y ductilidad de todo el producto final o su comportamiento en servicio en diferentes ambientes.

- 2.3. Estos métodos de prueba se consideran satisfactorios para las pruebas de aceptación de envíos comerciales. Los métodos de prueba se han utilizado ampliamente en el comercio para este propósito.

3. Aparatos

- 3.1. Máquinas de prueba: Las fuerzas utilizadas para determinar la resistencia a la tracción y el límite elástico deben estar dentro del rango de aplicación de fuerza verificada de la máquina de ensayo.
- 3.2. Dispositivos de agarre: se pueden usar varios tipos de dispositivos de agarre para transmitir las fuerzas medida aplicada por la máquina de prueba a las muestras de prueba. Para garantizar la tensión de tracción axial dentro de la longitud de referencia, el eje de la muestra de ensayo debe coincidir con la línea central de los cabezales de la máquina de ensayo. Cualquier desviación de este requisito puede introducir esfuerzos de flexión que no están incluidos en el cálculo habitual de esfuerzos (fuerza dividida por el área de la sección transversal).
- 3.3. Mordazas de cuña: las máquinas de ensayo generalmente están equipadas con mordazas de cuña. Estas mordazas de cuña generalmente proporcionan un medio satisfactorio para agarrar muestras largas de metal dúctil.

- 3.4. Mordazas para alambre. Mordazas de tipo cuña o snubbing como se muestra en las Figs. 5 y 6 o se pueden usar agarres de cuña plana.
- 3.5. Dispositivos de medición de dimensiones: los micrómetros y otros dispositivos utilizados para medir dimensiones lineales deben ser exactos y precisos al menos a la mitad de la unidad más pequeña a la que se requiere medir la dimensión individual.
- 3.6. Extensómetros: los extensómetros utilizados en las pruebas de tensión deben cumplir con los requisitos de la Práctica E83 para las clasificaciones especificadas en la sección de procedimiento de este método de prueba. Los extensómetros deben usarse y verificarse para incluir las deformaciones correspondientes al límite elástico y el alargamiento a la fractura (si se determina).
- 3.7. Se pueden usar extensómetros con longitudes calibradas iguales o más cortas que la longitud calibrada nominal del espécimen (dimensión que se muestra como "Longitud calibrada G" en las figuras adjuntas) para determinar el comportamiento de fluencia.

Para especímenes sin sección reducida (por ejemplo, especímenes de sección transversal completa de alambre, varilla o barra), la longitud calibrada del extensómetro para la determinación del comportamiento de fluencia no debe exceder el 80 % de la distancia entre mordazas. Para medir el alargamiento a la fractura con un extensómetro apropiado, la longitud calibrada del extensómetro debe ser igual a la longitud calibrada nominal requerida para el espécimen que se está ensayando.

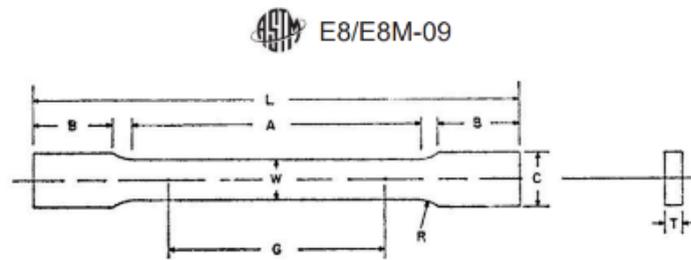
4. Muestras de prueba

4.1. General:

4.1.1. Tamaño de la muestra: las muestras de prueba deben ser sustancialmente de tamaño completo o maquinadas, según lo prescrito en las especificaciones del producto para el material que se está probando.

Figura 37.

Dimensiones de probeta



Dimensiones	Muestras estándar		
	Tipo placa, 40 mm [1.500 pulg.] de ancho	Tipo hoja, 12,5 mm [0.500 pulg.] de ancho	Muestra subdimensionada 6 mm [0,250 pulg.] de ancho
	mm [pulgadas]	mm [pulgadas]	mm [pulgadas]
G—Longitud de calibre (Nota 1 y Nota 2)	200,0 6 0,2 [8,00 6 0,01] 40,0	50,0 6 0,1 [2,000 6 0,005] 12,5	25,0 6 0,1 [1,000 6 0,003] 6,0 6
W—Ancho (Nota 3 y Nota 4)	6 2,0 [1,500 6 0,125, -0,250]	6 0,2 [0,500 6 0,010] espesor del material 12,5 [0,500] 200	0,1 [0,250 6 0,006]
T—Espesor (Nota 5)			
R—Radio del filoteo, min (Nota 6)	25 [1]	[8] 57 [2,25] 50 [2] 20 [0,750]	6 [0,250]
L—Longitud total, min (Nota 2, nota 7 y nota 8)	450 [16]		100 [4] 32
A—Longitud de la sección reducida, min	225 [9] 75		[1,25] 30
B—Longitud de la sección de agarre, min (Nota 9)	[3] 50 [2]		[1,25] 10
C—Ancho de la sección de agarre, aproximado (Nota 4 y Nota 9)			[0,375]

Fuente: Norma astm e8.

4.1.2. Ubicación: a menos que se especifique lo contrario, el eje de la muestra de ensayo debe ubicarse dentro del material base de la siguiente manera:

4.1.2.1. En el centro para productos de 40 mm [1,500 pulg.] o menos en espesor, diámetro o distancia entre planos.

4.1.2.2. A la mitad del centro de la superficie para productos de más de 40 mm [1.500 pulgadas] de espesor, diámetro o distancia entre planos.

4.1.3. Mecanizado de especímenes: los especímenes de prueba preparados incorrectamente a menudo son la razón de resultados de prueba insatisfactorios e incorrectos. Por lo tanto, es importante que se tenga cuidado en la preparación de los especímenes, particularmente en el maquinado, para maximizar la precisión y minimizar el sesgo en los resultados de las pruebas.

4.1.3.1. Las secciones reducidas de los especímenes preparados deben estar libres de trabajo en frío, muescas, marcas de vibración, ranuras, estrías, rebabas, superficies o bordes ásperos, sobrecalentamiento o cualquier otra condición que pueda afectar negativamente las propiedades a medir.

NOTA 1: el punzonado o el troquelado de la sección reducida pueden producir un trabajo en frío significativo o rebabas de corte, o ambos, a lo largo de los bordes que deben eliminarse mediante el mecanizado.

4.1.3.2 Dentro de la sección reducida de las probetas rectangulares, los bordes o las esquinas no se deberían esmerilar ni desgastar de manera que el área de la sección transversal real de la probeta sea significativamente diferente del área calculada.

4.1.3.3 Para materiales quebradizos, se deben usar filetes de radio grande en los extremos de la longitud de referencia.

4.1.3.4 El área de la sección transversal del espécimen debe ser la más pequeña en el centro de la sección reducida para asegurar la fractura dentro de la longitud de referencia. Por esta razón, se permite una pequeña conicidad en la sección reducida de cada uno de los especímenes descritos en las secciones siguientes.

4.1.4 Acabado de la superficie de la muestra: cuando los materiales se prueban con condiciones de superficie diferentes a las de fabricación, el acabado de la superficie de las muestras de prueba debe ser como se indica en las especificaciones del producto correspondiente.

NOTA 2: se debe prestar especial atención a la uniformidad y la calidad del acabado superficial de las muestras para materiales de alta resistencia y muy baja ductilidad, ya que se ha demostrado que esto es un factor en la variabilidad de los resultados de las pruebas.

4.1.5 Muestras Redondas:

4.1.5.1 La muestra de prueba redonda estándar de 12,5 mm [0,500 pulgadas] de diámetro que se muestra, se usa generalmente para probar materiales metálicos, tanto fundidos como forjados.

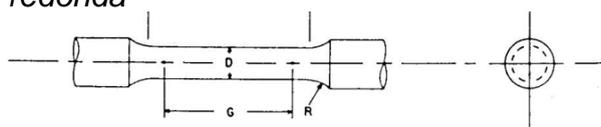
4.1.5.2 También muestra muestras de tamaño pequeño proporcionales a la muestra estándar. Estos pueden usarse cuando es necesario probar material del cual no se puede preparar el espécimen estándar. Se pueden utilizar otros tamaños de muestras redondas pequeñas.

4.1.5.3 La forma de los extremos del espécimen fuera de la longitud de referencia debe ser adecuada para el material y de una forma que se ajuste a los soportes o mordazas de la máquina de ensayo para que las fuerzas puedan aplicarse axialmente.

4.1.5.4 Muestras para láminas, tiras, alambres planos y placas. En las pruebas de láminas, tiras, alambres planos y placas, use un tipo de muestra apropiado para el espesor nominal del material.

Figura 38.

Dimensiones de probeta redonda



Dimensiones, mm [pulgadas]					
Para probetas con longitud calibrada cuatro veces el diámetro [E8]					
	Estándar		Muestras de tamaño pequeño proporcional al estándar		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
G—Longitud de calibre	50,0 6 0,1 [2,000 6 0,005]	36,0 6 0,1 [1,400 6 0,005]	24,0 6 0,1 [0,950 6 0,005]	16,0 6 0,1 [0,640 6 0,005]	10,0 6 0,1 [0,450 6 0,005]
D—Diámetro (Nota 1)	12,5 6 0,2 [0,500 6 0,010]	9,0 6 0,1 [0,350 6 0,007] 8	6,0 6 0,1 [0,250 6 0,005] 6	4,0 6 0,1 [0,160 6 0,003] 4	2,5 6 0,1 [0,113 6 0,002] 2
R—Radio del filete, min	10 [0,375] 56	[0,25] 45	[0,188] 30	[0,156] 20	[0,094] 16
A—Longitud de la sección reducida, min (Nota 2)	[2,25]	[1,75]	[1,25]	[0,75]	[0,625]

Dimensiones, mm [pulgadas]					
Para probetas con longitud calibrada cinco veces el diámetro [E8M]					
	Muestra estándar		Muestras de tamaño pequeño proporcional al estándar		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
G—Longitud de calibre	62,5 6 0,1 [2,500 6 0,005]	45,0 6 0,1 [1,750 6 0,005]	30,0 6 0,1 [1,250 6 0,005]	20,0 6 0,1 [0,800 6 0,005]	12,5 6 0,1 [0,565 6 0,005]
D—Diámetro (Nota 1)	12,5 6 0,2 [0,500 6 0,010]	9,0 6 0,1 [0,350 6 0,007] 8	6,0 6 0,1 [0,250 6 0,005] 6	4,0 6 0,1 [0,160 6 0,003] 4	2,5 6 0,1 [0,113 6 0,002] 2
R—Radio del filete, min	10 [0,375] 75	[0,25] 54 [2,0]	[0,188] 36	[0,156] 24 [1,0]	[0,094] 20
A—Longitud de la sección reducida, min (Nota 2)	[3,0]	[1,4]	[1,4]	[0,75]	[0,75]



Designación: D695 – 15

Método de prueba estándar para Propiedades compresivas de los plásticos rígidos¹

Esta norma se emite con la designación fija D695; el número que sigue inmediatamente a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. Un superíndice épsilon (') indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación.

Este estándar ha sido aprobado para su uso por agencias del Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

1. Alcance

1.1. Este método de ensayo cubre la determinación de las propiedades mecánicas de los plásticos rígidos reforzados y no reforzados, incluidos los compuestos de alto módulo, cuando se cargan en compresión a velocidades uniformes relativamente bajas de deformación o carga. Se emplean especímenes de prueba de forma estándar. Este procedimiento es aplicable para un módulo compuesto de hasta 41 370 MPa (6 000 000 psi) inclusive.

1.2 Los valores indicados en unidades SI deben considerarse como estándar. Los valores entre paréntesis son solo para información.

1.3 Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hubiere, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Importancia y uso

2.1 Los ensayos de compresión proporcionan información sobre las propiedades de compresión de los plásticos cuando se emplean en condiciones que se aproximan a aquellas en las que se realizan los ensayos.

2.2 Las propiedades de compresión incluyen el módulo de elasticidad, el límite elástico, la deformación más allá del límite elástico y la resistencia a la compresión (a menos que el material simplemente se aplane, pero no se rompa). Los materiales que poseen un orden bajo de ductilidad pueden no exhibir un límite elástico. En el caso de un material que falla a la compresión por una fractura por rotura, la resistencia a la compresión tiene un valor muy definido. En el caso de un material que no

fallan en la compresión por una fractura por rotura, la resistencia a la compresión es arbitraria y depende del grado de distorsión que se considera que indica la falla completa del material. Muchos materiales plásticos continuarán deformándose en compresión hasta que se produzca un disco plano, el esfuerzo de compresión (nominal) aumentando constantemente en el proceso, sin que ocurra ninguna fractura bien definida. La resistencia a la compresión no puede tener un significado real en tales casos.

2.3 Las pruebas de compresión proporcionan un método estándar para obtener datos para investigación y desarrollo, control de calidad, aceptación o rechazo según especificaciones y fines especiales.

Las pruebas no pueden considerarse significativas para el diseño de ingeniería en aplicaciones que difieren mucho de la escala de tiempo de carga de la prueba estándar. Tales aplicaciones requieren pruebas adicionales como impacto, fluencia y fatiga.

2.4 Antes de proceder con este método de prueba, se debe hacer referencia a la especificación ASTM para el material que se está probando. Cualquier preparación, acondicionamiento, dimensiones y parámetros de prueba de la muestra de prueba cubiertos en la especificación de materiales tendrá prioridad sobre los mencionados en este método de prueba. Si no hay especificación de material, se aplican las condiciones predeterminadas. La Tabla 1 en la Clasificación D4000 enumera los estándares de materiales de ASTM que existen actualmente.

3. Aparatos

3.1 Máquina de prueba: cualquier máquina de prueba adecuada capaz de controlar el movimiento de la cruceta a velocidad constante y que comprende esencialmente lo siguiente: velocidad con respecto a la base.

3.1.2 Indicador de carga: un mecanismo indicador de carga capaz de mostrar la carga de compresión total soportada por el espécimen de prueba. El mecanismo estará esencialmente libre de retrasos por inercia a la velocidad de prueba especificada y deberá indicar la carga con una precisión del 61 % del valor máximo indicado de la prueba (carga).

3.2 Compresómetro: un instrumento adecuado para determinar la distancia entre dos puntos fijos en la muestra de prueba en cualquier momento durante la prueba. Es deseable que este instrumento registre automáticamente esta distancia (o cualquier cambio en ella) en función de la carga sobre la muestra de ensayo. El instrumento debe estar esencialmente libre de retraso de inercia a la tasa de carga especificada y debe cumplir con los requisitos para un extensómetro Clase B-2.

3.3 Herramienta de compresión: una herramienta de compresión para aplicar la carga a la muestra de ensayo. Esta herramienta debe construirse de manera que la carga sea axial dentro de 1:1000 y aplicada a través de superficies planas dentro de 0,025 mm (0,001 pulg.) y paralelas entre sí en un plano normal al eje de carga vertical.

3.4 Micrómetros: micrómetros adecuados, con una lectura de 0,01 mm o 0,001 pulg. para medir el ancho, el espesor, el diámetro y la longitud de las muestras.

4. Muestras de prueba

4.1 A menos que se especifique lo contrario en las especificaciones de materiales, los especímenes descritos en 6.2 a 6.8 deben ser usados. Estos especímenes pueden prepararse mediante operaciones de maquinado a partir de materiales en forma de hoja, placa, varilla, tubo o similar, o pueden prepararse mediante compresión o moldeo por inyección del material a ensayar.

Todas las operaciones de maquinado deben hacerse con cuidado para que resulten superficies lisas. Se debe tener mucho cuidado al maquinar los extremos para que resulten superficies lisas, planas y paralelas y bordes afilados y limpios, con una precisión de 0,025 mm (0,001 pulg.) perpendicular al eje longitudinal de la muestra.

4.2 El espécimen de prueba estándar para mediciones de resistencia, debe tener la forma de un cilindro recto o prisma cuya longitud sea el doble de su ancho o diámetro principal. Los tamaños de muestra preferidos son 12,7 por 12,7 por 25,4 mm (0,50 por 0,50 por 1 pulgada) (prisma), o 12,7 mm de diámetro por 25,4 mm (cilindro). El espécimen de prueba estándar para las mediciones de módulo o de compensación de rendimiento debe tener dimensiones tales que la relación de esbeltez esté en el rango de 11 a 16:1. En este caso, los tamaños de muestra preferidos son 12,7 por 12,7 por 50,8 mm (0,50 por 0,50 por 2 pulgadas) (prisma) o 12,7 mm de diámetro por 50,8 mm (cilindro).

4.3 Para los tubos, la muestra de ensayo para las mediciones de resistencia debe tener un diámetro igual al diámetro del tubo y una longitud de 25,4 mm (1 pulgada). Este espécimen se utilizará para tubos con un espesor de pared de 1 mm (0,039 pulg.) o más, con diámetros interiores de 6,4 mm (0,25 pulg.) o más, y con diámetros exteriores de 50,8 mm (2,0 pulg.) o menos. Si el diámetro del tubo es demasiado grande para fallar debido a las limitaciones del equipo de prueba, las muestras descritas en 6.2 deben maquinarse a partir de la pared del tubo. Para determinaciones de carga de aplastamiento (a la derecha ángulos al eje longitudinal), el tamaño del espécimen debe ser el mismo, con el diámetro convirtiéndose en la altura. El espécimen de prueba para las mediciones de módulo o de compensación de rendimiento deberá tener un diámetro igual al diámetro del tubo y una longitud tal que la relación de esbeltez esté en el rango de 11 a 16:1.



Métodos de prueba estándar para Dureza Vickers y dureza Knoop del metal Materiales¹

Esta norma se emite con la designación fija E92; el número que sigue inmediatamente a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. Un superíndice epsilon (') indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación.

Este estándar ha sido aprobado para su uso por agencias del Departamento de Defensa de los Estados Unidos.

1. Alcance

1.1 Estos métodos de prueba cubren la determinación de la dureza Vickers y la dureza Knoop de materiales metálicos mediante los principios de dureza por indentación Vickers y Knoop. Esta norma proporciona los requisitos para las máquinas de dureza Vickers y Knoop y los procedimientos para realizar las pruebas de dureza Vickers y Knoop.

1.2 Este método de prueba cubre las pruebas de dureza Vickers realizadas utilizando fuerzas de prueba que van desde $9,807 \times 10^{-3}$ N hasta 1176,80 N (1 gf a 120 kgf), y las pruebas de dureza Knoop realizadas utilizando fuerzas de prueba desde $9,807 \times 10^{-3}$ N hasta 19,613 N (1 gf a 2 kgf).

1.3 En el Método de prueba E384, Método de prueba para la dureza de materiales por microindentación, se puede encontrar información adicional sobre los procedimientos y la orientación cuando se realizan pruebas en el rango de fuerza de microindentación (fuerzas ≤ 1 kgf).

1.4 Unidades: cuando se desarrollaron las pruebas de dureza Vickers y Knoop, los niveles de fuerza se especificaron en unidades de gramos-fuerza (gf) y kilogramos-fuerza (kgf). Esta norma especifica las unidades de fuerza y longitud en el Sistema Internacional de Unidades (SI); es decir, fuerza en Newtons (N) y longitud en mm o μm . Sin embargo, debido al precedente histórico y uso común continuo, los valores de fuerza en unidades gf y kgf se proporcionan para información y gran parte de la discusión en este estándar, así como el método para informar los resultados de las pruebas, se refiere a estas unidades.

1.5 Los principios de prueba, los procedimientos de prueba y los procedimientos de verificación son esencialmente idénticos para las pruebas de dureza Vickers y Knoop. Las diferencias significativas entre las dos pruebas son las geometrías de los respectivos indentadores, el método de cálculo de los números de dureza y que la dureza Vickers se puede usar a niveles de fuerza más altos que la dureza Knoop.

1.6 Esta norma internacional fue desarrollada de acuerdo con principios reconocidos internacionalmente sobre normalización establecidos en la Decisión sobre Principios para el Desarrollo de Normas, Guías y Recomendaciones Internacionales emitida por el Comité de Obstáculos Técnicos al Comercio (TBT) de la Organización Mundial del Comercio.

2. Importancia y uso

2.1 Se ha descubierto que las pruebas de dureza de Vickers y Knoop son muy útiles para la evaluación de materiales, el control de calidad de los procesos de fabricación y los esfuerzos de investigación y desarrollo.

La dureza, aunque de naturaleza empírica, se puede correlacionar con la resistencia a la tracción de muchos metales y es un indicador de la resistencia al desgaste y la ductilidad.

2.2 La prueba de dureza por microindentación amplían las pruebas a materiales que son demasiado delgados o demasiado pequeños para la macroindentación pruebas de dureza. Las pruebas de dureza por microindentación también permiten fases o constituyentes específicos y regiones o gradientes demasiado pequeños para evaluar las pruebas de dureza por macroindentación.

2.3 Debido a que la dureza Vickers y Knoop revelará las variaciones de dureza que pueden existir dentro de un material, un solo valor de prueba puede no ser representativo de la dureza a granel.

2.4 El indentador Vickers generalmente produce esencialmente el mismo número de dureza en todas las fuerzas de prueba cuando se prueba material homogéneo, excepto para pruebas que usan fuerzas muy bajas (por debajo de 25 gf) o para muescas con diagonales menores de aproximadamente 25 μm . Para materiales isotrópicos, las dos diagonales de una muesca Vickers tienen la misma longitud.

2.5 El penetrador Knoop generalmente produce números de dureza similares en una amplia gama de fuerzas de prueba, pero los números tienden a aumentar a medida que disminuye la fuerza de prueba. Este aumento en el número de dureza con fuerzas de prueba más bajas suele ser más significativo cuando se prueban materiales de mayor dureza, y es cada vez más significativo cuando se usan fuerzas de prueba por debajo de 50 gf.

3. Aparatos

3.1 Principio de la prueba de dureza Vickers y Knoop: el principio general de la prueba de dureza por indentación Vickers y Knoop consta de dos pasos.

3.1.1 Paso 1: el penetrador especificado aplicable se pone en contacto con la muestra de prueba en una dirección normal a la superficie y se aplica la fuerza de prueba F . La fuerza de prueba se mantiene durante un tiempo de permanencia especificado y luego se retira.

5.1.2 Paso 2: para la prueba de dureza Vickers, se miden las longitudes de las dos diagonales y se calcula la longitud media de la diagonal, que se utiliza para derivar el valor de dureza Vickers. Para la prueba de dureza Knoop, se mide la longitud de la diagonal larga, que se utiliza para derivar el valor de dureza Knoop.

3.1.3 La mayoría de los materiales mostrarán cierta recuperación elástica cuando se retire el penetrador después del ciclo de carga. Sin embargo, a los efectos de calcular los resultados de dureza de las longitudes diagonales de la indentación, se supone que la indentación conserva la forma del indentador después de

eliminar la fuerza. En la prueba de Knoop, se supone que la relación entre la diagonal larga y la diagonal corta de la indentación es la misma que para el indentador.

3.2 Máquina de prueba: la máquina de prueba debe soportar el espécimen de prueba y controlar el movimiento del indentador en el espécimen bajo una fuerza de prueba preseleccionada, y debe tener un microscopio óptico de luz para seleccionar la ubicación de prueba deseada y medir el tamaño de la indentación producida. por la prueba El plano de la superficie de la probeta debe ser perpendicular al eje del penetrador que es la dirección de aplicación de la fuerza.

3.2.1 Consulte el manual de instrucciones del fabricante del equipo para obtener una descripción de las características, limitaciones y procedimientos operativos respectivos de la máquina.

3.3 Indentadores:

3.3.1 Los indentadores para pruebas generales de dureza Vickers o Knoop deben cumplir con los requisitos de un indentador Clase B.

3.3.2 Indentador Vickers—El indentador Vickers ideal es un diamante piramidal de base cuadrada, puntiagudo y muy pulido con ángulos de cara de $136^\circ 0'$.

NOTA 4: el usuario debe consultar con el fabricante antes de aplicar fuerzas de prueba de macroindentación (más de 1 kgf) con indentadores de diamante utilizados previamente para pruebas de microindentación. Es posible que la montura de diamante no sea lo suficientemente fuerte para soportar las fuerzas de prueba más altas y que el diamante no sea lo suficientemente grande para producir los tamaños de indentación más grandes.

3.4 Dispositivo de medición: las diagonales de la indentación se miden utilizando un microscopio óptico equipado con un ocular de tipo filar u otro tipo de dispositivo de medición. Puede encontrar orientación adicional sobre los dispositivos de medición en el método de prueba E384.

3.4.2 El dispositivo de medición puede ser una parte integral del probador o un instrumento independiente, como un microscopio de medición de alta calidad o un sistema de medición. Para obtener la imagen de la más alta calidad para medir la diagonal de indentación, el microscopio de medición debe tener una intensidad de iluminación ajustable, alineación ajustable, apertura y diafragmas de campo.

3.4.3 Deberían proporcionarse ampliaciones para que la diagonal pueda ampliarse a más del 25 % pero menos del 75 % del ancho del campo. El dispositivo se puede construir con objetivos de aumento únicos o múltiples.

3.5 Cálculo del número de dureza Vickers: el número de dureza Vickers se basa en la fuerza de prueba de indentación F en kgf dividida por el área superficial A_S de la indentación en mm².

$$HV = \frac{\text{Test force}}{\text{Surface Area}} = \frac{F_{(\text{kgf})}}{A_S (\text{mm}^2)}$$

El área superficial (AS) de la indentación se calcula como:

$$A_S = \frac{d_V^2}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{d_V^2}{1.8544}$$

Donde:

α = ángulo de la cara del indentador de diamante = 136°
 d_V = longitud media de la diagonal de la indentación Vickers (mm).

TABLE 1 Standard Hardness Scales and Test Forces

Vickers scale	Knoop scale ^A	Test force (N)	Approximate Test force (kgf)	Approximate Test force (gf)
HV 0.001	HK 0.001	0.009807	0.001	1
HV 0.01	HK 0.01	0.09807	0.01	10
HV 0.015	HK 0.015	0.1471	0.015	15
HV 0.02	HK 0.02	0.1961	0.02	20
HV 0.025	HK 0.025	0.2451	0.025	25
HV 0.05	HK 0.05	0.4903	0.05	50
HV 0.1	HK 0.1	0.9807	0.1	100
HV 0.2	HK 0.2	1.961	0.2	200
HV 0.3	HK 0.3	2.942	0.3	300
HV 0.5	HK 0.5	4.903	0.5	500
HV 1	HK 1	9.807	1	1000
HV 2	HK 2	19.61	2	2000
HV 3		29.41	3	
HV 5		49.03	5	
HV 10		98.07	10	
HV 20		196.1	20	
HV 30		294.1	30	
HV 50		490.3	50	
HV 100		980.7	100	
HV 120		1177	120	

3.6 La dureza Vickers de microindentación se determina típicamente usando fuerzas de prueba de indentación en gramos-fuerza (gf) y diagonales de indentación medidas en micrómetros (μm). El número de dureza Vickers, en términos de gf y μm , se calcula de la siguiente manera:

$$HV = 1000 \times 1.8544 \times \frac{F_{(\text{gf})}}{d_V^2 (\mu\text{m})} = 1854.4 \times \frac{F_{(\text{gf})}}{d_V^2 (\mu\text{m})}$$

3.7 La dureza Vickers de macroindentación se determina típicamente usando fuerzas de prueba de indentación en kilogramos-fuerza (kgf) y diagonales de indentación medidas en milímetros (mm). El número de dureza Vickers, en términos de kgf y mm, se calcula de la siguiente manera:

$$HV = 1.8544 \times \frac{F_{(\text{kgf})}}{d_V^2 (\text{mm})}$$

3.8 El número de dureza Vickers, en términos de fuerzas de prueba de indentación en Newtons (N) y diagonales de indentación medidas en milímetros (mm), se calcula de la siguiente manera:

$$HV = \frac{1.8544}{9.80665} \times \frac{F_{(\text{N})}}{d_V^2 (\text{mm})} = 0.1891 \times \frac{F_{(\text{N})}}{d_V^2 (\text{mm})}$$

3.9 Número de dureza: los valores de dureza de Vickers y Knoop no se designan solo con un número porque es necesario indicar qué fuerza se ha empleado para realizar la prueba. Los números de dureza deben ir seguidos del símbolo HV para dureza Vickers, o HK para dureza Knoop, y deben complementarse con un valor que represente la fuerza de prueba en kgf.

3.9.1 Para tiempos de permanencia no estándar, que no sean de 10 a 15 s, la dureza se debe complementar con el tiempo de permanencia de fuerza total real utilizado en segundos separados por una "/".

3.9.2 El número de dureza Vickers y Knoop reportado debe ser redondeado a tres dígitos significativos.

4. Muestras de prueba

4.1 No existe una forma o tamaño estándar para una muestra de ensayo Vickers o Knoop. El espécimen en el que se hace la muesca debe cumplir con lo siguiente:

4.2 Preparación: para una precisión óptima de la medición, la prueba debe realizarse en una muestra plana con una superficie pulida o preparada de otra manera adecuada. La calidad del acabado superficial requerido puede variar con las fuerzas y los aumentos utilizados. Cuanto menor sea la fuerza de prueba y menor el tamaño de la muesca, más crítica será la preparación de la superficie. En todas las pruebas, la preparación debe ser tal que el perímetro de la indentación y, en particular, las puntas de la indentación, puedan definirse claramente cuando se observan mediante el sistema de medición.

4.2.1 La superficie de ensayo debe estar libre de cualquier defecto que pueda afectar la indentación o la medición posterior de las diagonales. Es bien sabido que los métodos inadecuados de esmerilado y pulido pueden alterar los resultados de las pruebas debido al calentamiento excesivo o al trabajo en frío. Algunos materiales son más sensibles al daño inducido por la preparación que otros; por lo tanto, se deben tomar precauciones especiales durante la preparación de la muestra.

4.2.2 La superficie de la muestra no debe grabarse antes de hacer una muesca. Las superficies grabadas pueden oscurecer el borde de la muesca, lo que dificulta una medición precisa del tamaño de la muesca. Puede haber aplicaciones de prueba de microindentación donde un grabado ligero puede ser apropiado.

4.3 Alineación: para obtener información útil de la prueba, la muestra debe prepararse o montarse de modo que la superficie de prueba sea perpendicular al eje del penetrador. Esto se puede lograr fácilmente rectificando la superficie (o mecanizando de otro modo) el lado opuesto de la muestra en paralelo con el lado que se va a ensayar. Los especímenes de prueba no paralelos se pueden probar usando accesorios de sujeción y nivelación diseñados para alinear la superficie de prueba correctamente con el penetrador.

4.4 Muestras de prueba montadas: en muchos casos, especialmente en las pruebas de microindentación, es necesario montar la muestra por conveniencia en la preparación y para mantener un borde afilado cuando se realicen pruebas de gradiente de superficie en la muestra de prueba. Cuando se requiere el montaje, el espécimen debe estar adecuadamente soportado por el medio de montaje para que el espécimen no se mueva durante la aplicación de la fuerza, es decir, evite el uso de compuestos de montaje poliméricos que se deslicen bajo la fuerza del indentador (consulte el Método de prueba E384).

4.5 Radio de curvatura: se debe tener la precaución debida al interpretar o aceptar los resultados de las pruebas realizadas en superficies esféricas o cilíndricas, particularmente cuando se usan fuerzas de prueba bajas. Los resultados se verán afectados incluso en el caso de la prueba de Knoop, donde el radio de curvatura está en la dirección de la diagonal corta.

4.6 Temperatura de prueba: las pruebas de dureza Vickers y Knoop deben realizarse a una temperatura dentro de los límites de 10 a 35 °C (50 a 95 °F). Debido a que las variaciones dentro de este rango de temperatura pueden afectar los resultados, los usuarios pueden optar por controlar la temperatura dentro de un rango más estricto.

4.7 Los penetradores deben examinarse periódicamente y reemplazarse si se desgastan, desafilan, astillan, agrietan o separan del material de montaje. Las comprobaciones del penetrador por parte del usuario pueden realizarse mediante una inspección visual de las muescas resultantes realizadas en los bloques de prueba.

4.8 Magnitud de la fuerza de prueba: establezca la fuerza de prueba deseada en probador siguiendo las instrucciones del fabricante.

NOTE 5—The Vickers indentation depth h_V is approximately

$$h_V = 0.143 \times d_V \quad (15)$$

or approximately 1/7 of the mean diagonal length d_V . The Knoop indentation depth h_K is approximately

$$h_K = 0.033 \times d_K \quad (16)$$

or approximately 1/30 of the long diagonal length d_K .



Designación: E 3 – 95
Práctica estándar para
Preparación de muestras metalográficas¹

Esta norma se emite bajo la designación fija E 3; el número que sigue inmediatamente a la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de la última revisión. Un número entre paréntesis indica el año de la última reaprobación. Un superíndice épsilon (ϵ) indica un cambio editorial desde la última revisión o reaprobación. Este estándar ha sido aprobado para su uso por agencias del Departamento de Defensa.

1. Alcance

1.1 El objetivo principal de los exámenes metalográficos es revelar los constituyentes y la estructura de los metales y sus aleaciones por medio del microscopio óptico. En casos especiales, el objetivo del examen puede requerir el desarrollo de menos detalles que en otros casos, pero, en casi todas las condiciones, la selección y preparación adecuada de la muestra es de suma importancia. Debido a la diversidad de equipos disponibles y la gran variedad de problemas encontrados, el siguiente texto presenta para orientación del metalógrafo sólo aquellas prácticas que la experiencia ha demostrado que son generalmente satisfactorias; no puede y no describe las variaciones en la técnica requerida para resolver problemas individuales.

1.2 Esta norma no pretende abordar todos los problemas de seguridad, si los hubiere, asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Importancia y uso

2.1 Las microestructuras tienen una fuerte influencia en las propiedades de unión y aplicación exitosa de metales y aleaciones. La determinación y el control de la microestructura requieren el uso de un examen metalográfico.

2.2 Muchas especificaciones contienen un requisito relacionado con la microestructura; por lo tanto, un uso importante para el examen metalográfico es la inspección para garantizar que se cumpla el requisito. Otros usos importantes del examen metalográfico son el análisis de fallas y la investigación y el desarrollo.

2.3 La elección adecuada de la ubicación y orientación de las muestras minimizará el número de muestras requeridas y simplificará su interpretación. Es fácil tomar muy pocos especímenes para el estudio, pero rara vez se estudian demasiados.

3. Aparatos

3.1 La selección de especímenes de prueba para el examen metalográfico es extremadamente importante porque, para que su interpretación sea valiosa, los especímenes deben ser representativos del material que se está estudiando. La intención o propósito del examen metalográfico usualmente dictará la ubicación de los especímenes a ser estudiados. Con respecto al propósito del estudio, el examen metalográfico se puede dividir en tres clasificaciones:

3.1.1 Estudios generales o trabajo de rutina. Deben elegirse especímenes de ubicaciones que tengan más probabilidades de revelar las variaciones máximas dentro del material bajo estudio. Por ejemplo, los especímenes deben tomarse de una fundición en las zonas donde se espera que ocurra la máxima segregación, así como los especímenes de las secciones donde la segregación debe ser mínima. En el examen de tiras o alambres, se deben tomar especímenes de prueba de cada extremo de las bobinas.

3.1.2 Estudio de fallas: Los especímenes de prueba deben tomarse lo más cerca posible de la fractura o del inicio de la falla. Antes de tomar las muestras metalográficas, se debe completar el estudio de la superficie de fractura o, al menos, se debe documentar la superficie de fractura. Las muestras deben tomarse en muchos casos de un área sólida para comparar estructuras y propiedades.

3.1.3 Estudios de investigación: la naturaleza del estudio dictará la ubicación, la orientación, etc. de la muestra. El muestreo generalmente será más extenso que en los exámenes de rutina.

3.2 Una vez establecida la ubicación de las muestras metalográficas a estudiar, se debe determinar el tipo de sección a examinar.

4. Muestras de prueba

- 4.1. Los especímenes a pulir para el examen metalográfico generalmente no tienen más de 12 a 25 mm (0,5 a 1,0 pulg.) cuadrados, o aproximadamente 12 a 25 mm de diámetro si el material es redondo. La altura de la muestra no debe ser mayor que la necesaria para un manejo conveniente durante el pulido.
- 4.2. No siempre es posible obtener especímenes que tengan las dimensiones dadas en 5.1, cuando el material a examinar es más pequeño que las dimensiones ideales. Por ejemplo, en el pulido de alambres, tiras y otros artículos pequeños, es necesario montar las muestras debido a su tamaño y forma.
- 4.3. La limpieza durante la preparación de la muestra es esencial. Todas las grasas y aceites de la muestra deben eliminarse con algún disolvente orgánico adecuado. Si no se limpia a fondo, las resinas moldeables de montaje en frío pueden evitar que se adhieran a la superficie de la muestra. La limpieza ultrasónica es particularmente efectiva para eliminar los últimos rastros de residuos en la superficie de una muestra.
- 4.4. Las muestras más grandes pueden montarse o no, según lo dicte el equipo disponible. Sin embargo, cuanto más grandes son las muestras, más difícil es prepararlas, especialmente con métodos manuales.
- 4.5. Los especímenes que son demasiado pequeños para ser manipulados fácilmente durante el pulido deben montarse para asegurar una superficie satisfactoria para el estudio microscópico. Existen, según la técnica utilizada, tres métodos fundamentales para el montaje de especímenes.
- 4.6. Al cortar la muestra metalográfica de la placa principal cuerpo del material, se debe tener cuidado para minimizar la alteración de la estructura del metal. Tres tipos comunes de seccionamiento son los siguientes:
- 4.6.1. El aserrado, ya sea a mano o a máquina con lubricación, es fácil, rápido y relativamente fresco. Se puede utilizar en todos los materiales con durezas por debajo de aproximadamente 35 HRC. Produce una superficie áspera que contiene una gran cantidad de flujo plástico que debe eliminarse en la preparación posterior.
- 4.6.2. Un disco de corte abrasivo producirá una superficie lisa, a menudo lista para un esmerilado fino. Este método de corte es normalmente más rápido que el aserrado. La elección del disco de corte, el lubricante, las condiciones de enfriamiento y el grado y la dureza del metal que se está cortando influirán en la calidad del corte. Una mala elección de las condiciones de corte puede fácilmente sobrecalentar la probeta, produciendo una alteración de la microestructura. Como regla general, los materiales blandos se cortan con un disco de aglomerante duro y los materiales duros con un disco de aglomerante blando. Se prefieren ruedas abrasivas de óxido de aluminio para metales ferrosos y ruedas de carburo de silicio para aleaciones no ferrosas. Los discos de corte abrasivos son esenciales para seccionar metales con durezas superiores a 35 HRC. Los materiales metálicos y cerámicos extremadamente duros se pueden cortar de forma más eficaz con discos de corte impregnados de diamante. Deben seguirse las instrucciones del fabricante en cuanto a la elección de la rueda y las velocidades.
- 4.6.3. El corte con llama altera completamente la estructura del metal en el borde cortado con llama. Si es necesario cortar con soplete para retirar el espécimen, debe cortarse lo suficientemente grande para que pueda volver a cortarse al tamaño adecuado mediante algún otro método que no altere sustancialmente la estructura. Tenga cuidado para asegurarse de que la región de interés no se ve alterada por el calor de la llama de corte.
- 4.7. Se permiten otros métodos de corte siempre que no alteren la microestructura en el plano de pulido. Todas las operaciones de corte producen una cierta profundidad de daño, que deberá eliminarse en los pasos de preparación posteriores.

Norma Alemana

	Prueba de dureza Shore A y Shore D	DIN 53505
--	---	----------------------

1. Alcance

Esta norma especifica la prueba de dureza de piezas de prueba y productos de caucho. La dureza de un caucho está determinada por sus propiedades viscoelásticas, en particular el módulo elástico determinado en DIN 53504.

Los durómetros tipo A son adecuados para pruebas en el rango de dureza de 10 a 90 Shore A, mientras que los durómetros tipo D se utilizan en el rango de dureza alto.

El método de indentación con bola se puede utilizar para el rango de dureza media, ya sea utilizando una bola de 2,5 mm de diámetro como se especifica en DIN 53519-1 o, para probetas más blandas, con una bola de 5 mm de diámetro como se especifica en DIN EN ISO 2039- 1. Las piezas de prueba que son demasiado pequeñas para ser ensayadas como en DIN 53519-1 pueden ensayarse de acuerdo con DIN 53519-2.

2. Aparatos

2.1. Durómetros

Los durómetros deben cumplir con los siguientes requisitos y deben estar marcados como 'durómetro tipo A, DIN 53505' o 'durómetro tipo D, DIN 53505', junto con la marca comercial y el número de serie del fabricante.

El intervalo de escala corresponderá a una unidad de dureza Shore, y el espaciado de escala será de al menos 1 mm. La forma y las dimensiones del indentador y el pie de presión deben ser como se muestra en la figura 1.

Las características de carga se determinarán aplicando fuerzas al penetrador por medio de pesas y deberán cumplir con los valores nominales dados en la tabla 1 con una aproximación de 5 mN.

Los instrumentos deberán ser capaces de medir con una precisión de ± 1 unidad Shore A o Shore D. Los instrumentos utilizados para las pruebas internas deben ser inspeccionados periódicamente por el usuario, mientras que los utilizados para la evaluación de la conformidad (p. ej., en las pruebas de aceptación o como base para la certificación) deben ser verificados anualmente según DIN 51220 por un laboratorio de pruebas acreditado.

2.2. Soporte de durómetro

El durómetro se puede colocar en un soporte para garantizar que una carga de hasta $(12,5 \pm 0,5)$ N para durómetros tipo A o $(50 \pm 0,5)$ N para durómetros tipo D se pueda aplicar uniformemente a la prueba pieza, y que el pie de presión esté paralelo a la superficie de la pieza de prueba.

Figura 39

Características de carga para durómetros tipo A y tipo D

Valor de dureza Shore	Recorrido del penetrador, en mm	Fuerza, F, en mN	
		Shore A (± 40)	Shore D (± 200)
0	$2,5 \pm 0,02$	550	0
10	Características lineales	1 300	1)
20		2 050	8 900
30		2 805	13 350
40		3 555	17 800
50		4 305	22 250
60		5 060	26 700
70		5 810	31 150
80	6 560	35 600	
90	7 310	40 050	
100	0	8 065	44 500

1) No se especifica ningún valor aquí porque la linealidad requerida no se puede lograr en el microrango (0 a 10 Shore D) ya que no hay precarga para las pruebas de Shore D.

Nota: Tabla para valores de durómetros tipo A y tipo D; Fuente: Norma Alemana DIN 53505 (2023).

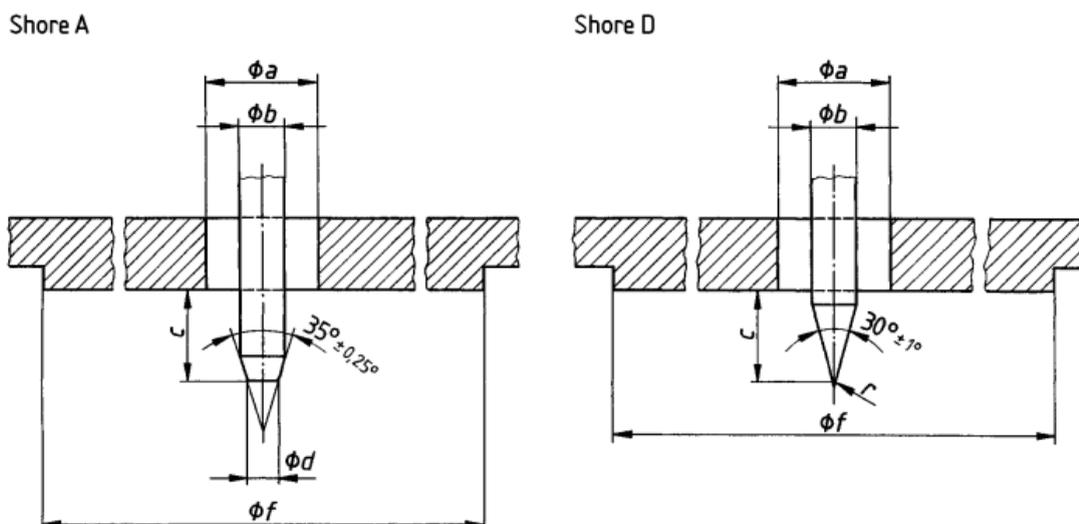


Figura 40:

Dimensiones del penetrador y del pie de presión.

a	$\varnothing (3 \pm 0,10) \text{ mm}$	Eindringkörper gehärtet und poliert
b	$\varnothing (1,25 \pm 0,15) \text{ mm}$	
c	$(2,5 \pm 0,02) \text{ mm}$	
d	$(0,79 \pm 0,01) \text{ mm}$	
r	$(0,1 \pm 0,01) \text{ mm}$, kugelig	
f	$\varnothing (18 \pm 0,50) \text{ mm}$	

Nota: Dimensiones de indentador tipo A y tipo D; Fuente: Norma Alemana DIN 53505 (2023).

2.3. Cámara de acondicionamiento

Si se van a realizar mediciones por encima o por debajo de la temperatura ambiente, puede proporcionarse una cámara en la que se mantenga la temperatura de ensayo y en la que se realicen las mediciones. Por ejemplo, la pieza de prueba, el soporte de la pieza de prueba, el indentador y el pie de presión pueden colocarse en la cámara, mientras que el dispositivo indicador permanece afuera a temperatura ambiente, o todo el aparato puede acondicionarse en la cámara.

3. Probetas**3.1. Forma**

Las probetas deben tener un diámetro mínimo de 35 mm, un espesor mínimo de 6 mm y una superficie lisa y plana. Las probetas para el ensayo Shore A deben espolvorearse ligeramente con talco antes de realizar las mediciones.

El ensayo de materiales delgados puede llevarse a cabo usando probetas apiladas compuestas de no más de tres capas, cada capa con un espesor mínimo de 2 mm. Se debe tener cuidado de que no quede aire atrapado entre las capas. El uso de probetas apiladas y el número de capas se anotarán en el informe de ensayo.

Las mediciones se pueden realizar en productos de cualquier forma, aunque en el caso de productos curvos, se debe especificar la ubicación de los puntos de medición. Tenga en cuenta que los resultados para un producto que no tiene las dimensiones especificadas anteriormente solo se aplican a productos que tienen la misma forma que el probado y no se deben considerar constantes materiales.

3.2. Número de piezas de prueba

Se debe ensayar una pieza de prueba, a menos que se especifique lo contrario.

4. Procedimiento

- 4.1. Los ensayos se realizarán sobre probetas que no hayan sido sometidas a esfuerzos mecánicos, a una temperatura de (23 ± 2) °C, y al menos 16 horas después de la vulcanización. Si es necesario, se pueden acordar otras temperaturas de ensayo, en cuyo caso la temperatura de la probeta no se desviará del valor nominal en más de ± 1 °C. Esto se aplica especialmente a las pruebas a bajas temperaturas. Antes de la prueba, acondicione las piezas de prueba en la cámara a la temperatura de prueba durante al menos 30 minutos. Para pruebas a baja temperatura como en DIN 53541 o DIN 53545, se debe acordar el tiempo de acondicionamiento.
- 4.2. En cada probeta, las mediciones deben hacerse en tres o más puntos separados por lo menos 5 mm y por lo menos 13 mm del borde de la probeta.
- 4.3. Coloque el durómetro sobre la pieza de prueba, sin golpes, de modo que el pie de presión esté en contacto firme con la pieza de prueba. Si no se usa un soporte como en la subcláusula 5.2 (por ejemplo, debido a la forma de la pieza de prueba), el durómetro se puede sostener con la mano, aunque esto aumentará la incertidumbre de la medición, al igual que el hecho de no mantener el pie de presión paralelo a la superficie de la pieza de prueba.
- 4.4. Una vez que el pie de presión entre en contacto con la pieza de prueba, espere tres segundos y luego lea el valor de dureza. Para piezas de prueba con fuertes características de flujo, la lectura también se puede tomar después de 15 segundos. Tenga en cuenta el intervalo de tiempo entre la aplicación del pie de presión y la lectura.