



**“ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075 SOMETIDO A TRATAMIENTO
TÉRMICO DE NORMALIZADO”**

**ESCOLA YACELGA, STALIN GEOVANNY Y GRANADA MOLINA JHONNY
PATRICIO**

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AUTOMOTRIZ**

ING. ARGUELLO MAYA, ÉDISON OSWALDO

20 DE AGOSTO DE 2020



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075 SOMETIDO A TRATAMIENTO TÉRMICO DE NORMALIZADO**” fue realizado por los señores **Escola Yacelga, Stalin Geovanny, Granada Molina, Jhonny Patricio** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 28 de agosto de 2020

.....
Arguello Maya, Edison Oswaldo
C. C.:1708903024



URKUND ANALYSISRESULT

Analysed Document: Trabajo de Titulación Granada, Escola
aprobado.pdf (D78175930) Submitted: 08/26/2020 5:08:00 AM
Submitted By: biblioteca@espe.edu.ec
Significance: 1%

Sources included in the report:

Trabajo de titulación completa.....

<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/9473/Trabajo%20De%20Grad>
<https://docplayer.es/52626135-Influencia-del-tratamiento-TÉRMICO-de-envejecido-a-1...>
<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/12438/T-ESPEL-MEC-0074...>
https://www.alacernas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_7075_aluminio.pdf
<https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10582/TRABAJO%20DE%20GRA..>
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000200013#fig...
[https://www.academia.edu/26487091/The_metallurgy_of_zinc-coated_steelMATERIALS,](https://www.academia.edu/26487091/The_metallurgy_of_zinc-coated_steelMATERIALS)

Instances where selected sources appear:

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Arguello Maya', written over a set of horizontal lines.

.....
Arguello Maya, Édison Oswaldo
C. C.:1708903024



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRÍZ**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Nosotros, **Escola Yacelga, Stalin Geovanny, Granada Molina, Jhonny Patricio**, con cédulas de ciudadanía n°1003735519, 1723151518 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075 SOMETIDO A TRATAMIENTO TÉRMICO DE NORMALIZADO”**. es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 28 de agosto de 2020

Escola Yacelga, Stalin Geovanny
C.C.: 1003735519

Granda Molina, Jhonny Patricio
C.C.: 1723151518



**DEPARTAMENTO DE ENERGÍA MECÁNICA
CARRERA DE AUTOMOTRÍZ**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Nosotros **Escola Yacelga, Stalin Geovanny, Granada Molina, Jhonny Patricio**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN ALUMINIO 7075 SOMETIDO A TRATAMIENTO TÉRMICO DE NORMALIZADO**” en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 28 de agosto de 2020

Escola Yacelga, Stalin Geovanny
C.C.: 1003735519

Granada Molina, Jhonny Patricio
C.C.: 1723151518

DEDICATORIA

A mi padre Patricio Granada que ha sido el pilar fundamental en mi vida, es un ejemplo para mí, sus palabras y consejos siempre en el momento indicado me guiaron para tomar buenas decisiones y ser una persona no perfecta, pero si con buenos valores y de buen corazón, gracias por ese amor tan grande, por estar siempre presente en las situaciones buenas y en especial en las malas buscando lo mejor para mí.

A mi madre Martha Molina por todo el sacrificio que ha realizado para que yo pueda cumplir esta nueva meta, por su amor, su apoyo, por esas palabras de ánimo, por esos abrazos cuando todo parecía difícil, por inculcar en mí buenas cualidades, por nunca dejarme solo, además con su ejemplo de esfuerzo y perseverancia que me han ayudado en todo momento.

A mis hermanos Gabriel y Sole por estar siempre juntos, apoyándonos en todo momento y poder contar con ellos

A toda mi familia que siempre me apoyo y confió en mí.

Jhonny Patricio Granada Molina

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedica a mi familia, a mis padres José Escola y Nancy Yacelga quienes me brindaron su apoyo incondicionalmente para culminar esta etapa académica con mucha paciencia y comprensión.

Stalin Geovanny Escola Yacelga

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primero a Jehová Adíós por la vida que nos da diariamente y la capacidad con la que nos ha creado para poder aprender día a día.

Agradezco a mis padres Patricio Granada y Martha Molina por su apoyo y guía que me han dedicado en el cumplimiento de esta meta.

Agradezco a mi tíos y abuelitos por los ánimos y consejos brindados en el transcurso de estos años.

A los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz por compartir sus conocimientos y experiencias para formarme como profesionales y de manera especial al Ing. Edison Arguello por la ayuda brindada en la ejecución de este trabajo de titulación.

Jhonny Patricio Granada Molina

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todas las personas que apoyaron a mi formación personal y académica en especial a mi familia que siempre estuvieron apoyándome. Doy gracias los Ingenieros y amigos que me apoyaron en los momentos difíciles.

Gracias a todos ellos por su ayuda y paciencia y se fe en mí.

Stalin Geovanny Escola Yacelga

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	1
CERTIFICACIÓN	2
URKUND ANALYSISRESULT	3
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA.....	4
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN.....	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	8
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	10
ÍNDICE DE TABLAS.....	17
ÍNDICE DE FIGURAS	19
RESUMEN	22
ABSTRACT.....	23
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	24
1.1. Antecedentes Investigativos	24
1.2. Planteamiento del problema	27
1.3. Descripción resumida del proyecto	29
1.4. Justificación e importancia	30
1.5. Objetivos del proyecto	31

	11
1.5.1. Objetivo general.....	31
1.5.2. Objetivos específicos.....	31
1.6. Metas.....	32
1.7. Hipótesis.....	33
1.8. Variables de Investigación.....	33
1.8.1. Variable Independiente.....	33
1.8.2. Variable Dependiente.....	34
1.9. Metodología del desarrollo del proyecto.....	35
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO.....	40
2.1. El Aluminio.....	40
2.1.1. Aleación de Aluminio 7075.....	40
2.1.2. Composición química del Aluminio 7075.....	41
2.1.3. Características Mecánicas.....	41
2.1.4. Diagrama de equilibrio de la aleación de aluminio-zinc.....	42
2.2. Tratamiento Térmico.....	44
2.2.1. Etapas del tratamiento térmico.....	45
2.2.2. Tratamiento térmico de Normalizado.....	45
2.2.3. Propósito del normalizado.....	46
2.2.4. Horno para tratamiento térmico de materiales.....	47
2.2.5. Principio de funcionamiento de hornos mufla.....	47

	12
2.3. Ensayo de tracción	49
2.4. Propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de tracción	52
2.4.1. Tensión de ingeniería	53
2.4.2. Fundamentos de la Fractura	54
2.4.3. Módulo de Elasticidad.....	56
2.4.4. Elongación.....	57
2.4.5. Porcentaje de alargamiento.	58
2.5. Marco legal y normativo.....	58
2.5.1. ASTM B557-15 (Standard Test Methods for Tracción Testing Wrought).....	59
2.5.2. ASTM E-03 (Standard Practice for Preparation of Metallographic	
Specimens).....	60
2.5.3. ASTM E-18 (Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic	
Materials).....	60
2.6. Metalografía de las aleaciones de Aluminio.	61
2.6.1. Examen Metalográfico.	61
2.6.2. Corte de la muestra metalográfica	61
2.6.3. Lijado.....	62
2.6.4. Pulido Especular.....	62
2.6.5. Ataque Químico	63
2.6.6. Micrografía Óptica	63
2.7. Dureza	64

	13
2.7.1. Ensayo de Dureza	65
2.7.2. Dureza de Rockwell	67
2.8. Desviación Estándar	68
2.9. Máquina Universal	69

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE DESAROLLO DEL PROYECTO	71
3.1. Diseño de las probetas de aluminio	71
3.1.1. Dimensiones de las probetas de Aluminio	71
3.2. Proceso de mecanizado por CNC	72
3.2.1. Ubicación de la plancha de aluminio	73
3.2.2. Corte y refrigeración	73
3.2.3. Acabado de las probetas.	74
3.3. Tratamiento térmico de normalizado	75
3.4. Puesta a punto de la máquina universal	76
3.4.1. Sistema Hidráulico	76
3.4.2. Revisión de las tuberías hidráulicas	77
3.4.3. Cambio de aceite hidráulico	77
3.4.4. Cambio de retenedor	77
3.4.5. Sistema eléctrico.	77
3.4.6. Encoder	78
3.4.7. myDAQ	78

	14
3.4.8. Filtrado de la señal del sensor de presión.....	79
3.4.9. Calibración del transductor de presión.....	79
3.4.10. Calibración del Encoder	80
3.5. Diseño y construcción del Interfaz Hombre-Máquina para la visualización de resultados en un ordenador.	81
3.6. Comparación de datos de la máquina universal.....	82
3.7. Ensayo de Tracción	84
3.8. Cálculo de la deformación Unitaria	85
3.9. Cálculo de la tenacidad.....	85
3.10. Datos de las propiedades mecánicas de las probetas en condición original.....	86
3.11. Datos de las propiedades mecánicas de las probetas con tratamiento térmico de normalizado a 300°C.....	92
3.12. Datos de las propiedades mecánicas de las probetas con tratamiento térmico de normalizado a 325°C.....	98
3.13. Ensayo de dureza Rockwell	104
3.14. Análisis Metalográfico	106
3.14.1. Corte de Probetas	106
3.14.2. Semipulido	107
3.14.3. Pulido especular.....	108
3.14.4. Ataque Químico	108
3.14.5. Secado.....	109

	15
3.14.6. Vista Microscópica	109
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS DE RESULTADOS	113
4.1. Ensayo de Tracción	113
4.2. Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del aluminio.....	119
4.3. Análisis del Porcentaje de elongación de las Probetas.	122
4.4. Análisis de la media de los esfuerzos máximos de fluencia y de rotura	125
4.5. Análisis de la Tenacidad del aluminio 7075	131
4.6. Dureza	135
4.7. Análisis Metalográfico.	138
4.7.1. Micrografía de la probeta en estado original.	139
4.7.2. Micrografía de la probeta con tratamiento térmico a 300°Celsius.....	139
4.7.3. Micrografía de la probeta con tratamiento térmico a 325°Celsius.....	140
4.8. Análisis de las Imágenes a 200X y 500X de las muestras de aluminio	141
CAPÍTULO V	
MARCO ADMINISTRATIVO	143
2.1. Recursos	143
2.2. Recursos Humanos	143
2.3. Recursos Materiales	143
2.4. Recursos tecnológicos.....	144
2.5. Costo neto del proyecto	145

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	146
6.1. Conclusiones	146
6.2. Recomendaciones	148
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
ANEXOS	153

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Preparación del material.....	33
Tabla 2. Propiedades mecánicas y microestructura.	34
Tabla 3. Metodología, instrumentación y lugar del proyecto.....	37
Tabla 4. Composición química del aluminio 7075.....	41
Tabla 5. Características mecánicas del aluminio 7075.....	41
Tabla 6. Unidades de la tensión de ingeniería.....	54
Tabla 7. Representación de la figura 14.....	59
Tabla 8. Forma del penetrador.....	66
Tabla 9. Especificaciones técnicas de la máquina universal time shijin.....	69
Tabla 10. Señales y voltajes.	78
Tabla 11. Calibración con presión y voltaje.	80
Tabla 12. Calibración encoder y desplazamiento.	80
Tabla 13. Ensayo probeta 1 sin tratamiento térmico.....	86
Tabla 14. Deformación unitaria probeta 1 sin tratamiento térmico.....	87
Tabla 15. Ensayo probeta 2 sin tratamiento térmico.....	88
Tabla 16. Deformación unitaria probeta 2 sin tratamiento térmico.....	89
Tabla 17. Ensayo probeta 3 sin tratamiento térmico.....	90
Tabla 18. Deformación unitaria probeta 3 sin tratamiento térmico.....	91
Tabla 19. Ensayo probeta 4 con tratamiento térmico a 300 °C.....	92
Tabla 20. Deformación unitaria probeta 1 con tratamiento térmico a 300 °C	93
Tabla 21. Ensayo probeta 5 con tratamiento térmico a 300 °C	94
Tabla 22. Deformación unitaria probeta 5 con tratamiento térmico a 300 °C	95
Tabla 23. Ensayo probeta 6 con tratamiento térmico a 300°C.....	96
Tabla 24. Deformación unitaria probeta 6 con tratamiento térmico a 300 °C	97

Tabla 25. Ensayo probeta 7 con tratamiento térmico a 325 °C	98
Tabla 26. Deformación unitaria probeta 7 con tratamiento térmico a 325 °C	99
Tabla 27. Ensayo probeta 8 con tratamiento térmico a 325 °C	100
Tabla 28. Deformación unitaria probeta 8 con tratamiento térmico a 325 °C	101
Tabla 29. Ensayo probeta 9 con tratamiento térmico a 325 °C	102
Tabla 30. Deformación unitaria probeta 9 con tratamiento térmico a 325 °C	103
Tabla 31. Datos obtenidos del ensayo de dureza Rockwell.....	105
Tabla 32. Propiedades mecánicas de las probetas sin tratamiento Térmico.	113
Tabla 33. Propiedades mecánicas de las probetas con tratamiento térmico a 300° C.....	115
Tabla 34. Propiedades mecánicas de las probetas con tratamiento Térmico a 325°C.....	117
Tabla 35. Valores de elongación en las probetas 1,2 y 3 en estado Original.....	122
Tabla 36. Valores de elongación en las probetas 4,5 y 6 a 300° C.....	123
Tabla 37. Valores de elongación en las probetas 4,5 y 6 a 325° C.....	124
Tabla 38. Valores de tenacidad de las probetas en estado original.....	132
Tabla 39. Valores de tenacidad de las probetas con tratamiento a 300° C.....	132
Tabla 40. Valores de tenacidad de las probetas con tratamiento a 325° C.....	133
Tabla 41. Valores de dureza Rockwell B.....	136
Tabla 42. Comparación de las Imágenes a 200X y 500X de las distintas muestras... ..	141
Tabla 43. Recursos Humanos.....	143
Tabla 44. Recursos Materiales.....	144
Tabla 45. Recursos Tecnológicos.....	144
Tabla 46. Costo Neto del Proyecto.....	145

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Problemática.....	28
Figura 2. Diagrama de fases de Aluminio-Zinc.	42
Figura 3. Diagrama suprime la fase β y se presenta la fase α	43
Figura 4. Horno de mufla	47
Figura 5. Partes del horno mufla.....	48
Figura 6. Horno de mufla a temperatura máxima	49
Figura 7. Máquina de tracción.....	50
Figura 8. Funcionamiento de la máquina.	51
Figura 9. Curva Esfuerzo Deformación.	52
Figura 10. Tensión.....	53
Figura 11. Rasgos de la fractura dúctil y muy dúctil.	55
Figura 12. Etapas de la fractura cono y copa.....	56
Figura 13. Probeta plana antes y después del ensayo.....	57
Figura 14. Medidas de la probeta.	59
Figura 15. Ataque químico.....	63
Figura 16. Microscopio óptico	64
Figura 17. Secuencia del ensayo de dureza.	65
Figura 18. Durómetro para ensayo Rockwell.	68
Figura 19. Dimensiones de la probeta.	71
Figura 20. Máquina Anayak CNC.	72
Figura 21. Sujeción de la placa de aluminio.....	73
Figura 22. Corte y refrigeración.	74
Figura 23. Probetas listas para los ensayos.....	74

	20
Figura 24. Horno para tratamientos Ingeniería.....	75
Figura 25. Horno a 300 °C.	76
Figura 26. Filtrado de las señal del sensor de presión.	79
Figura 27. Pantalla principal del interfaz hombre-máquina.....	82
Figura 28. Ensayo de tracción Centro Carrocero	83
Figura 29. Máquina Time Shijin serie WAW-600C.	84
Figura 30. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 1 sin tratamiento térmico.	86
Figura 31. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 2 sin tratamiento térmico.	88
Figura 32. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 3 sin tratamiento térmico.	90
Figura 33. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 4 con tratamiento a 300°C.....	92
Figura 34. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 5 con tratamiento a 300°C.....	94
Figura 35. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 6 con tratamiento a 300°C.....	96
Figura 36. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 7 con tratamiento a 325°C.....	99
Figura 37. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 8 con tratamiento a 325°C.....	101
Figura 38. Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 9 con tratamiento a 325°C.....	103
Figura 39. Toma de datos de Dureza Rockwell.	105
Figura 40. Zona donde se tomó las muestras para metalografía	106
Figura 41. Máquina cortadora.....	107
Figura 42. Semipulido.....	107
Figura 43. Pulido especular.	108
Figura 44. Ataque Químico.....	108
Figura 45. Secado.	109
Figura 46. Aumento a 200X de la muestra sin tratamiento térmico.	110
Figura 47. Aumento a 500X de la muestra sin tratamiento térmico.	110
Figura 48. Aumento a 200X de la muestra con tratamiento térmico a 300°C.	111

Figura 49. Aumento a 500X de la muestra con tratamiento térmico a 300°C.	111
Figura 50. Aumento a 200X de la muestra con tratamiento térmico a 325°C.	112
Figura 51. Aumento a 500X de la muestra con tratamiento térmico a 325°C.	112
Figura 52. Diagrama comparativo de las probetas sin tratamiento térmico.	114
Figura 53. Diagrama comparativo de las probetas con tratamiento a 300° C.	116
Figura 54. Diagrama comparativo de las probetas con tratamiento a 325° C.	118
Figura 55. Diagrama comparativo de las probetas en diferentes condiciones 1,4,7.	119
Figura 56. Diagrama comparativo de las probetas en diferentes condiciones 2,5, 8.	120
Figura 57. Diagrama comparativo de las probetas en diferentes condiciones 3,6,9.	121
Figura 58. Porcentaje de elongación.	125
Figura 59. Media de esfuerzos máximos de las probetas.	126
Figura 60. Variación del valor del esfuerzo máximo.	127
Figura 61. Media de los esfuerzos de fluencia de las probetas.	128
Figura 62. Variación del valor del esfuerzo de fluencia.	129
Figura 63. Media de los esfuerzos de rotura de las probetas.	130
Figura 64. Variación del porcentaje del esfuerzo de rotura.	131
Figura 65. Tenacidad vs condiciones de las probetas.	134
Figura 66. Porcentaje de variación de la tenacidad.	135
Figura 67. Valores promedios de la dureza de las probetas.	137
Figura 68. Porcentaje de variación de la dureza Rockwell.	138
Figura 69. Micrografía 200X y 500X de la muestra sin tratar térmicamente.	139
Figura 70. Gráfica 200X y 500X de la muestra con tratamiento térmico a 300° C.	140
Figura 71. Gráfica 200X y 500X de la muestra con tratamiento a 325° C.	141

RESUMEN

Para este proyecto se mecanizó nueve probetas planas del aluminio 7075 basada en la norma ASTM B 557-15 las cuales fueron sometidas a ensayos de tracción y tratamiento térmico de normalizado, con lo cual se obtuvo los valores de las propiedades mecánicas como son: esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo, esfuerzo de rotura y % de elongación. El tratamiento térmico de normalizado se realizó en dos grupos de probetas las primeras tres fueron sometidas a temperatura de 300 grados Celsius y las otras tres fueron sometidas a 325 grados Celsius, todas en un tiempo de 12 minutos, las tres probetas restantes no fueron sometidas a ningún tratamiento lo cual nos permitió comparar los resultados de estas probetas con las tratadas térmicamente, verificando cambios en las propiedades del aluminio 7075, produciéndose una disminución del esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia, esfuerzo de rotura y dureza pero aumentando su ductilidad. Después del tratamiento térmico de normalizado y los ensayos de tracción se realiza el proceso metalográfico basada en la norma ASTM E-03 para verificar el cambio de la microestructura del aluminio, siendo esta diferente en las tres condiciones y por último el ensayo de dureza Rockwell basada en la norma ASTM E-18 con el cual se verifica que debido al tratamiento térmico de normalizado aplicado en las probetas de aluminio la dureza del material disminuyo, pero gano mayor ductilidad.

PALABRAS CLAVE:

- **ENSAYO DE TRACCIÓN**
- **TRATAMIENTO TÉRMICO**
- **ESFUERZO DE FLUENCIA**
- **ALUMINIO 7075-PROPIEDADES MECANICA**

ABSTRACT

For this project, nine flat specimens of aluminum 7075 were machined based on the ASTM B 557-15 standard, which were subjected to tensile tests and normalization heat treatment, with which the values of the mechanical properties were obtained, such as: creep, maximum stress, breaking stress and% elongation. The normalization heat treatment was carried out in two groups of test tubes, the first three were subjected to a temperature of 300 degrees Celsius and the other three were subjected to 325 degrees Celsius, all in a time of 12 minutes, the remaining three samples were not subjected to no treatment, which allowed us to compare the results of these specimens with those heat-treated, verifying changes in the properties of 7075 aluminum, producing a decrease in maximum stress, yield stress, breaking stress and hardness, but increasing its dúctility. After the normalizing heat treatment and the tensile tests, the metallographic process based on the ASTM E-03 standard is carried out to verify the change in the aluminum microstructure, which is different in the three conditions and finally the Rockwell hardness test based on in the ASTM E-18 standard, with which it is verified that due to the normalized heat treatment applied to the aluminum specimens, the hardness of the material decreased, but it gained greater dúctility.

KEYWORDS:

- **TRACTION TEST**
- **HEAT TREATMENT**
- **EFFORT OF FLUENCE**
- **ALUMINUM 7075-MECHANICAL PROPERTIES**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes Investigativos

Se tiene que en mayo de 2016 fue presentado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad libre de Bogotá, el trabajo especial de grado “Análisis de las propiedades mecánicas de tenacidad, esfuerzo de tracción y dureza de la aleación de aluminio 2024 t4, tratado térmicamente mediante el endurecimiento por precipitación a 180 °C por Vicente Rico Suárez”, como requisito para optar el título de Ingeniero Mecánico. (Rico Suárez, 2016)

Este proyecto se basa en la aplicación de un tratamiento térmico de envejecido a la aleación de aluminio 2024 T4, lo cual permite determinar el cambio de las propiedades mecánicas del material como es la tenacidad, esfuerzo de tracción, dureza y microestructura después del envejecido artificial a 180 °C y con tiempos de sostenimiento entre 2 y 96 Horas, esto influye en las propiedades mecánicas relacionado directamente con la temperatura de envejecimiento y el tiempo de sostenimiento ya que para una menor temperatura se necesitan tiempos de sostenimiento extensos para llegar a obtener una resistencia máxima. Mediante realizar ensayos mecánicos de tracción, impacto, microdureza y metalografía se verifica si las propiedades mecánicas y microestructurales del aluminio obtienen una gran mejora en sus propiedades, o por el contrario este tratamiento no las favorece y reduce, en comparación con los datos obtenidos en el material en estado de entrega. (Rico Suárez, 2016)

En el campo del diseño estructural las aleaciones de aluminio son muy utilizadas gracias a que poseen una gran resistencia y baja densidad, en el trabajo de grado “Evaluación y Simulación de la Fractura Modo I en probetas de aluminio 2024 T-4 y 7075 T-6 utilizadas en la evaluación bajo la normativa ASTM E-399 por Trujillo José como requisito para obtener el título de Magister en Manufactura y Diseño Asistido por Computador”. (José, 2017)

En el siguiente trabajo se presenta el objetivo evaluar la fractura en aleaciones de aluminio 2024-T4 y 7075-T6, a través de ensayos mecánicos, se determina el valor de la Tenacidad a la fractura (K_{IC}) de la aleación de aluminio para posteriormente simular el fenómeno de la Mecánica de la Fractura bajo el cumplimiento de la norma respectiva en la herramienta de Fractura. Luego se evalúa las superficies de ensayo para conocer las características y tipo de fractura provocada siendo estas comparadas con los resultados. (José, 2017)

En el Artículo Científico de “Resistencia a Fatiga de la aleación 7075-T6 en función del tipo de ensayo espesor de recubrimiento” que se realizó en la Universidad de Santiago de Chile en el Departamento de Ingeniería en Metalurgia por: M. Toledano, M. Arenas, J. Galán, L. Ramírez, S. Borja, A. Conde y A. Mosalve.

En dicho Artículo Científico se analizan los principales tipos de ensayos de fatiga existentes para determinar las curvas S-N, y se compara los distintos resultados que se obtiene en función de la metodología elegida. (Toledano, 2010)

Utilizando la aleación de aluminio 7075-T6 y se valora las diferencias entre los métodos de ensayo de Fatiga en flexión Rotativa sobre probetas planas y flexión en cuatro puntos.

Al utilizar la metodología de ensayo denominada fatiga en flexión en cuatro puntos, se ha evaluado como influye el espesor del recubrimiento de anodizado en probetas planas sobre la resistencia y el límite de fatiga. (Toledano, 2010)

El Artículo de “Propiedades mecánicas en torsión de la aleación de aluminio AA 6061 con diferentes tratamientos Ingeniería”, realizado en la Universidad de Carabobo por los señores Juan Pereira, Luis Duran, Diego Van Deventer y Jenny Zambrano de la Facultad de ingeniería Mecánica.

Se enfoca en la evaluación las propiedades mecánicas en torsión simple de la aleación de aluminio AA6061 aplicándole diferentes tratamientos Ingeniería, estos tratamientos fueron: tratamientos Ingeniería de recocido (O), envejecimiento natural (T4) y envejecimiento artificial (T6), se realizaron ensayos mecánicos de tracción, torsión, y dureza. Se obtuvieron las propiedades mecánicas en tracción y las curvas esfuerzo versus deformación angular. Las propiedades mecánicas a torsión recibieron gran influenciadas por los tratamientos Ingeniería aplicados, produciéndose un aumento tanto del esfuerzo de fluencia como del esfuerzo de rotura, pero disminuyendo la ductilidad. Se realizó el análisis macro estructural de las muestras, evidenciándose que existe mayor deformación en la periferia de la probeta realizada ensayo de torsión. Se determinó las relaciones entre las propiedades obtenidas del ensayo de tracción y del ensayo de torsión, y se comparó los criterios de fluencia de Von Mises y de Tresca. (Pereira, Duran , Van Deventer , & Zambrano, 2010).

1.2. Planteamiento del problema

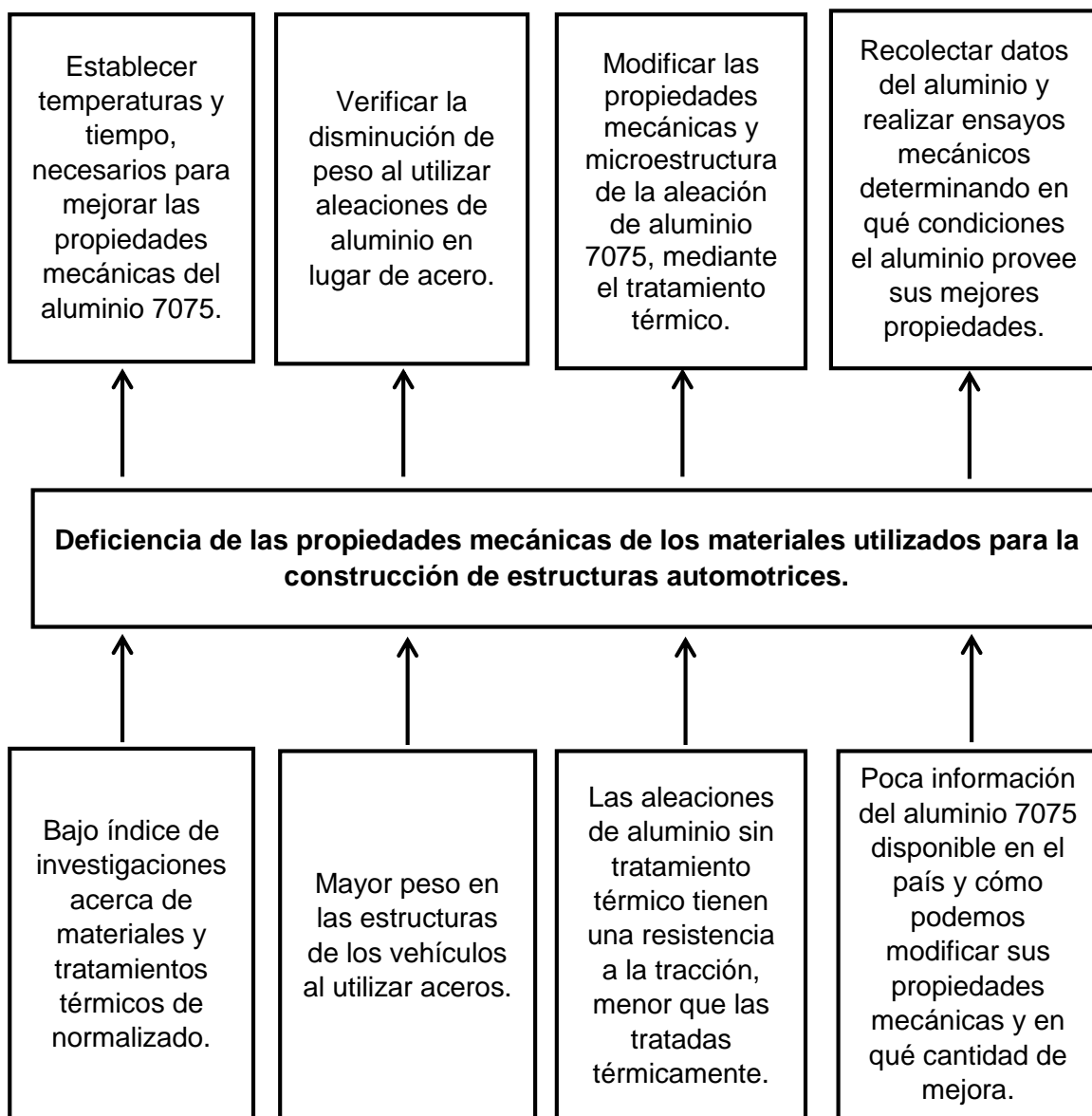
En la actualidad las estructuras de los vehículos están diseñadas con materiales de muy buenas propiedades mecánicas como el acero, pero con el inconveniente que son muy pesados, esto influye en el desempeño de los vehículos, es por eso que las industrias han utilizado otros tipos de materiales con un peso menor, pero existe escasa información que nos explique si estos materiales cuentan con las propiedades mecánicas necesarias para utilizarlas en este campo.

El peso es junto con la aerodinámica y la potencia del motor, uno de los tres factores que más influyen en el consumo de un vehículo; es decir que, cuanto más pese el vehículo, más potencia necesitará para moverlo y esa mayor potencia demanda un mayor consumo de combustible, por lo que sí existe mayor consumo de combustible, se tiene mayor cantidad de emisiones contaminantes como el CO₂.

El peso adicional afecta a la potencia de frenado y manejo. Los vehículos más pesados son más difíciles de reducir la velocidad al descender de las colinas y de entrar en curvas cerradas, para ello cualquier elemento que pueda reducir el peso de los vehículos es fundamental para los diseñadores y desarrolladores de la industria automotriz.

Lo importante no es la creación de estas partes de la estructura de un vehículo, sino que el uso de este material podría reducir a la mitad el peso de muchas piezas estructurales y además no se comprometa la seguridad ni la durabilidad o calidad del automotor, pues estas piezas estarán preparadas para soportar de forma constante y confiable grandes cargas.

Figura 1.

Problemática

Nota. La figura representa la problemática de las deficiencias mecánicas de los materiales utilizados para la construcción de estructuras automotrices.

1.3. Descripción resumida del proyecto

En este proyecto se evaluará las propiedades del aluminio 7075 después de someterle a un tratamiento de normalizado, la evaluación se realizará mediante ensayos mecánicos de tracción utilizando la normativa ASTM B557-15 la cual dará aportes sobre las medidas de la probeta a utilizar, además de ensayos de dureza de Rockwell.

Se realizará dos tratamientos Ingeniería de normalizado a un grupo de probetas, a diferentes intervalos de temperaturas 300°C y 325°C en un tiempo determinado de 12 minutos y un ensayo en su estado original sin ningún tratamiento, con el objetivo de obtener valores de las propiedades mecánicas del aluminio 7075 en las diferentes condiciones establecidas.

El ensayo de tracción se realizará en la máquina universal Time Shijin serie WAW-600C de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga con lo cual se analizará los valores del esfuerzo de fluencia, esfuerzo máximo, esfuerzo de rotura y porcentaje de elongación con estos datos se va realizando la curva característica del material de Esfuerzo Vs Deformación y con el área bajo la curva se obtendrá la tenacidad.

Para el ensayo de dureza Rockwell se utilizará la norma ASTM E18 la cual nos indica la manera correcta de realizarlo, con este ensayo se determinará la resistencia del aluminio 7075 a ser penetrado, en cada una de las probetas.

El análisis microestructura se realizará bajo la norma ASTM E3 que normaliza la preparación de especímenes metalográficos, con este análisis se estudiará las características estructurales del aluminio 7075.

1.4. Justificación e importancia

El aluminio junto a sus diferentes aleaciones se ha convertido en uno de los materiales de mayor importancia a nivel industrial dado que ocupan el segundo lugar con respecto a los aceros, las aleaciones de aluminio se usan con fines estructurales, la razón fundamental por la que ha ganado gran importancia es gracias a las propiedades que presentan, como una gran dureza y un bajo peso. Estas aleaciones se obtienen a partir de la combinación de distintos elementos como cobre, magnesio, zinc, silicio, manganeso, entre otros, para mejorar sus propiedades mecánicas ya que al ser un material dúctil y maleable lo convierte en un material muy blando, es por esto que en la industria se les llaman aleaciones ligeras porque tiene una densidad demasiado baja comparada con el acero. Por esta razón se decidió realizar un tratamiento térmico por normalizado para después evaluar las propiedades mecánicas de la aleación de Aluminio 7075 mediante los ensayos de dureza, tracción y el análisis microestructural para luego con los datos obtenidos determinar que condición nos brinda las mejores propiedades.

En la actualidad el Gobierno Ecuatoriano incentiva a la producción nacional, con este proyecto de investigación se recopila un análisis de propiedades para un aluminio con el cual se podrá trabajar posteriormente en el campo estructural teniendo en cuenta que la matriz productiva del Ecuador está creciendo a grandes pasos.

Este proyecto ayudara a las empresas que deseen cambiar su matriz productiva mediante la incorporación de nuevos conocimientos en los procesos actuales de diseños estructurales.

Mediante esta investigación se quiere analizar el cambio y comportamiento de las diferentes propiedades mecánicas y microestructura del aluminio 7075, después de

ser llevado a un tratamiento térmico de normalizado. La finalidad de hacer este tratamiento de normalizado es verificar si al momento de realizar dicho tratamiento térmico mejora las propiedades mecánicas o, por el contrario, hay una disminución de propiedades respecto al estado inicial de entrega del material. También se busca establecer parámetros comparativos de las propiedades mecánicas y la microestructura respecto a las diferentes temperaturas utilizadas en las probetas. Se buscará tener una caracterización de las propiedades mecánicas y microestructurales de la aleación 7075, después de ser sometida a un tratamiento térmico de normalizado; con la finalidad de tener especificaciones más exactas de la aleación tratadas térmicamente, para de tal manera poder seleccionar el material óptimo para las necesidades requeridas.

En la fabricación de algunos componentes de avión, partes de vehículos y en bicicletas, se utiliza el aluminio 7075 sin ningún tratamiento térmico. Esto sirve como punto de partida en la investigación demostrando el cambio de propiedades mecánicas en este aluminio, mediante la aplicación del tratamiento térmico por normalizado.

1.5. Objetivos del proyecto

1.5.1. Objetivo general

- Analizar la aleación de aluminio 7075 sometido a tratamiento térmico de normalizado y su incidencia en las propiedades mecánicas y microestructural.

1.5.2. Objetivos específicos

- Recopilar información de las propiedades mecánicas de la aleación de Aluminio 7075 en diferentes condiciones de tratamiento térmico.
- Realizar mantenimiento a la máquina universal Time Shijin serie WAW-600C disponible en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las

Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, para obtención de datos en tiempos reales.

- Realizar un tratamiento térmico de normalizado a las probetas en intervalos de temperatura de 300 °C y 325 °C.
- Realizar ensayos de tracción a las probetas tratadas en condiciones originales y con tratamiento térmico de normalizado.
- Determinar la dureza del aluminio 7075 en las diferentes condiciones establecidas, mediante ensayos de Rockwell B en el laboratorio de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE”.
- Analizar los datos obtenidos de las propiedades mecánicas de cada una de las probetas de aluminio 7075 tratadas térmicamente y en condición original.

1.6. Metas

- Obtener la caracterización del material aluminio 7075 para evaluar sus propiedades originales.
- Evaluar el estado de la máquina universal Time Shijin serie WAW-600C, determinando si existen fallas y corregirlas para el funcionamiento correcto al momento de realizar los ensayos.
- Determinar si el aluminio 7075 con la información obtenida es factible para realizar elementos estructurales.
- Desarrollar cada uno de los ensayos mediante la normativa correspondiente, en el caso del análisis microestructural se utilizará la norma ASTM-E3, para el ensayo de dureza la norma ASTM-E8 y para el ensayo de tracción la norma ASTM-B557.

- Elaborar tablas comparativas con todas las condiciones establecidas para una mejor asimilación de los datos obtenidos en la investigación.

1.7. Hipótesis

¿La aleación de aluminio 7075 sometido a tratamiento térmico de normalizado, tendrá mejoras en las propiedades mecánicas y su microestructura?

1.8. Variables de Investigación

1.8.1. Variable Independiente

Aluminio 7075 sometido a tratamiento térmico de normalizado

Tabla 1.

Preparación del material.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ITEM	TÉCNICA	INSTRUMENTO
		Probetas	#	Cantidad	CNC
		Carga aplicada a la probeta	New	Parámetro	Máquina universal Time Shijin serie WAW-600C
	Parámetros para los diferentes ensayos.	Deformación	mm	Parámetro	Máquina universal Time Shijin serie WAW-600C
Preparación del Aluminio 7075			m/s	Parámetro	Instrumento de Laboratorio

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ITEM	TÉCNICA	INSTRUMENTO
		Velocidad de la pulidora especular			Pulidora especular
		Zoom del microscopio	X	Parámetro	Instrumento de Laboratorio Microscopio
	Parámetros necesarios para el tratamiento térmico	Temperatura del tratamiento	°C	Medición	Instrumento de Laboratorio Horno
		Tiempo de tratamiento	min	Parámetro	Instrumento de Laboratorio Horno

Nota. La tabla representa la preparación del material Aluminio 7075.

1.8.2. Variable Dependiente

Tabla 2.

Propiedades mecánicas y microestructura.

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEM	TÉCNICA	INSTRUMENTO
Propiedades Mecánicas y micro estructura	Ensayo de Tensión	Esfuerzo de Fluencia	S_y	Medición	Máquina universal Time Shijin serie WAW-600C
		Esfuerzo Máximo	σ_{max}	Medición	Máquina universal Time Shijin serie WAW-600C
		Esfuerzo de Rotura	Y_{max}	Medición	Máquina universal Time Shijin serie WAW-600C

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADOR	ÍTEM	TÉCNICA	INSTRUMENTO
		Elongación	%	Medición	Máquina universal Time Shijin serie WAW-600C
	Ensayo de Dureza Rockwell.	Dureza	HRB	Medición	Durómetro Rockwell.
	Análisis Metalográfico	Precipitados		Metalográfica	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L. laboratorios de Mecánica de Materiales

Nota. La tabla se refiere a las propiedades mecánicas y microestructura del aluminio 7075.

1.9. Metodología del desarrollo del proyecto

En la presente investigación del análisis de la aleación de aluminio 7075 sometido a tratamiento térmico de normalizado se utilizarán métodos de investigación científica que se describen a continuación.

- **Método experimental**

Mediante este método se realiza el diseño de las probetas para ser sometidas a los ensayos de tracción, dureza y microestructura en las diferentes máquinas necesarias para esta investigación, determinando el comportamiento del aluminio bajo diferentes condiciones térmicas, aplicando tratamiento térmico de normalizado en cada una de las probetas obtenidas siempre tomando en cuenta las normativas establecidas.

- **Método de medición**

Con el método de medición a partir de los ensayos se recopila los datos arrojados por las máquinas utilizadas, estos datos variaran debido a los diferentes parámetros como temperaturas y tiempo utilizados para realizar el tratamiento Ingeniería de normalizado, pero existen datos que se necesita obtener mediante mediciones de las probetas antes y después de cada ensayo.

- **Método comparativo**

Se utilizará este método para comparar los datos de las propiedades mecánicas y microestructura de cada una de las probetas de aluminio tratadas térmicamente a diferentes temperaturas, además, determinar cuál de todas ofrece mejores resultados.

- **Método Matemático**

Se aplica este método para realizar los cálculos de la deformación unitaria y la tenacidad partiendo de los valores obtenidos en los ensayos de tracción y dureza los cuales no se obtienen directamente al realizar dichos ensayos en las máquinas respectivas.

- **Método bibliográfico**

Mediante la investigación en libros, revistas, artículos, tesis, entre otras fuentes se recopilará toda la información necesaria para el desarrollo de este proyecto, siendo muy fundamental utilizar la normativa existente para cada ensayo mecánico y para el análisis microestructural.

Tabla 3.*Metodología, instrumentación y lugar del proyecto.*

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
Método experimental	Se realiza el diseño de las probetas para ser sometidas a los ensayos de tracción, dureza y microestructura en las diferentes máquinas necesarias para esta investigación, determinando el comportamiento del aluminio bajo diferentes condiciones térmicas, aplicando tratamiento térmico de normalizado en cada una de las probetas obtenidas, siempre tomando en cuenta las normativas establecidas.	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina Universal Time Shijin serie WAW-600C • Máquina de dureza Rockwell • Microscopio • Reactivo Químico 	Resistencia de Materiales. Universidad de las Fuerzas Armadas Espe-Latacunga.
Método medición	A partir de los ensayos se recopila los datos arrojados por las máquinas utilizadas, estos datos variaran debido a los diferentes parámetros como temperaturas y tiempo	<ul style="list-style-type: none"> • Calibrador Pie de Rey • Micrómetro • Flexómetro 	Resistencia de Materiales. Universidad de las Fuerzas Armadas Espe-Latacunga.

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	<p>utilizados para realizar el tratamiento Ingeniería de normalizado, pero existen datos que se necesita obtener mediante mediciones de las probetas antes y después de cada ensayo.</p>		
<p>Método comparativo</p>	<p>Se comparará los datos de las propiedades mecánicas y microestructura de cada una de las probetas de aluminio tratadas térmicamente a diferentes temperaturas, además, determinar cuál de todas ofrece mejores resultados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tesis • Computador • Microsoft office 	<p>Resistencia de Materiales. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga.</p>
<p>Método matemático</p>	<p>Se realiza los cálculos de la deformación unitaria y la tenacidad partiendo de los valores obtenidos en los ensayos de tracción y dureza los cuales no se obtienen directamente al realizar dichos ensayos</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calculadora • Microsoft office • Computadora 	<p>Resistencia de Materiales. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga.</p>

Metodología	Descripción	Equipo	Laboratorio
	en las máquinas respectivas.		
Método bibliográfico	Mediante la investigación en libros, revistas, artículos, tesis, entre otras fuentes se recopilará toda la información necesaria para el desarrollo de este proyecto, siendo fundamental la normativa existente para cada ensayo mecánico y análisis microestructural.	<ul style="list-style-type: none"> • Tesis • Normas • Libros 	Resistencia de Materiales. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Latacunga.

Nota. La tabla muestra la metodología instrumentación y lugar en el que se va a realizar el proyecto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. El Aluminio.

El aluminio se lo puede encontrar en mayor cantidad en la corteza terrestre. Sin embargo, hasta hace poco más de un siglo no se tenía los conocimientos químicos necesarios para reducir los compuestos en los que se representa. En 1886, Hall en Estados Unidos y Heroult en Francia, desarrollaron el método de electrolisis de alúmina fundida.

El aluminio tiene una densidad baja ($2,7 \text{ g/cm}^3$) y alta resistencia a la corrosión mediante aleaciones se puede incrementar su resistencia mecánica y disminuir su coeficiente de dilatación, permite la conducción eléctrica y el calor. (Shackelford, 2010)

2.1.1. Aleación de Aluminio 7075.

La primera aleación de la serie 7075 fue realizada por la compañía japonesa Sumitomo Metals, en el año de 1936. Esta aleación de aluminio se compone principalmente por zinc. Tiene una buena resistencia a la fatiga comparado a otros metales y su mecanizada es muy fácil, pero no es muy favorable al momento de soldar y su resistencia a la corrosión es menor a la de otras aleaciones. Su precio es relativamente alto, su uso principalmente es en aplicaciones en donde se necesita propiedades que solo esta aleación puede proporcionar, es una muy adecuada para piezas sometidas que necesiten soportar grandes fatigas, se utiliza en la construcción de troqueles, moldes de soplado, matrices, maquinaria, herramientas, armamento, blindajes, industria del automóvil. (Aluminio y Metales Unicornio , 2019)

2.1.2. Composición química del Aluminio 7075.

La composición del aluminio 7075 se describe en la siguiente Tabla.

Tabla 4.

Composición química del aluminio 7075.

%	CR	CU	FE	MG	MN	NI	SI	TI	ZN	ZR+ T	OTR OS	AL
Min.	0.18	1.2		2.1					5.1			
Max	0.28	2.0	0.5	2.9	0.30	0.05	0.4	0.20	6.1	0.25	0.05	Rest ante

Nota. En la tabla se especifica el porcentaje máximo y mínimo de cada elemento químico que compone el aluminio 7075. Tomado de https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_7075_aluminio.pdf por, de *Alacer mas* (N.º 5)

2.1.3. Características Mecánicas

Tabla 5.

Características mecánicas del aluminio 7075.

DUREZA BRINELL-HBS	ESPEURA		RESISTENCIA		LÍMITE ELÁSTICO	
			RM MPA		RP 0.2 MPAA	
Típico	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
180	25	50	530	570	45	500
170	50	80	510	550	430	470
160	80	100	480	515	410	430
145	100		460	490	360	370

Nota. En la tabla se especifica las características mecánicas del aluminio 7075. Tomado de https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_7075_aluminio.pdf por, *Alacer mas* (N.º 5).

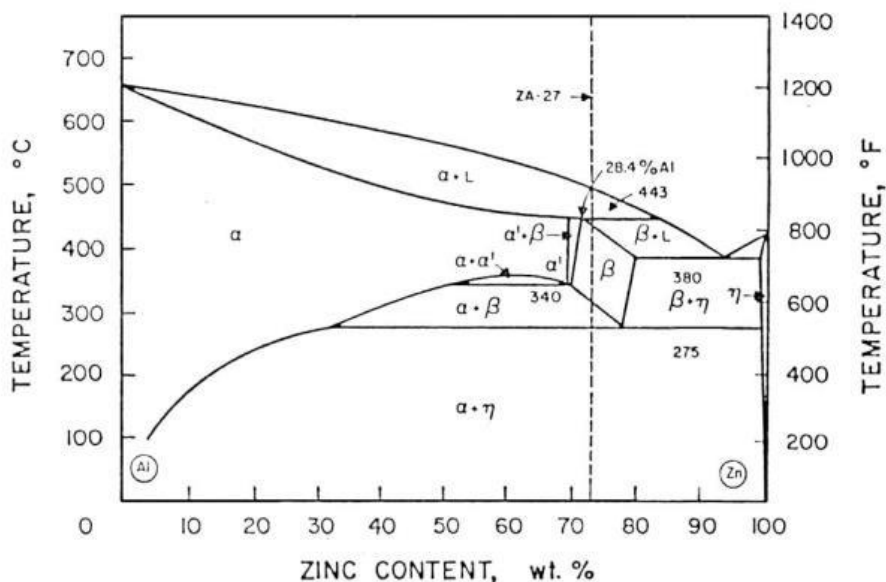
2.1.4. Diagrama de equilibrio de la aleación de aluminio-zinc

La solución sólida es la que ampliamente domina α , está se extiende hasta el 84% en peso de zinc a 382 °C; siendo incapaz de mezclarse en cualquier proporción entre dos fases α que contienen porcentajes diferentes de zinc.

En la figura 2, se observa el diagrama de fases en equilibrio del Al-Zn, las fases α y β , son zonas con abundante Al y Zn respectivamente, de una solución sólida de aluminio con estructura cristalina FCC. La fase η representa una solución sólida terminal rica, rica en Zn (98,8-100% en peso de zinc). En las fases α y β , presenta una zona crítica de inmiscibilidad que resulta la transformación monotectoide de una temperatura de 277 °C. (Marder, 2000)

Figura 2.

Diagrama de fases de Aluminio-Zinc.

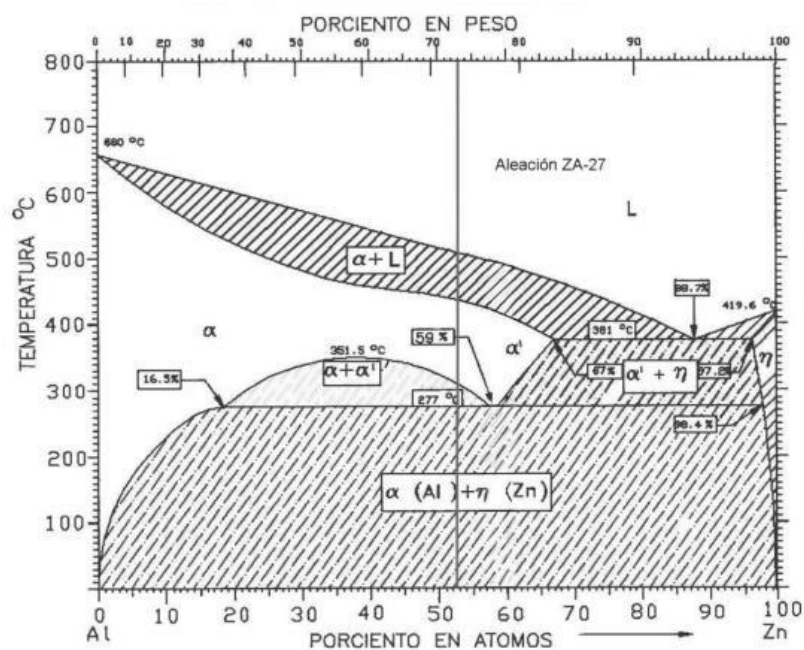


Nota. La figura representa el diagrama de fases Temperatura vs % de composición que tiene la aleación Aluminio-Zinc. Tomado de *Metalurgia estructural del aluminio Fusión y colada de placas y tochos Fabricaciones anexas* (p.506), por de Barrand, P., & Gadeau, R. 2001. URMO, S.A. DE EDICIONES.

En una aleación de aluminio-zinc con 7% de peso, al pasar el límite de líquidos comienza la solidificación de dendritas en la fase β , llegando a una temperatura de 381 °C, se produce la transformación y todo el líquido sobrante se transforma en la mezcla eutéctica interdendrítica $\eta + \beta$. Luego a una temperatura de 277 °C ocurre la transformación monotectoide, donde β se transforma completamente en $\eta + \beta$ donde β presenta un mayor contenido en aluminio que α . (Rico & Hernández, 2015)

Figura 3.

Diagrama supprime la fase β y se presenta la fase α .



Nota. La figura simboliza la fase β y α de la composición del aluminio 7075 en un diagrama Temperatura vs % de átomos de Zinc. Tomado de *Metalurgia estructural del aluminio Fusión y colada de placas y tochos Fabricaciones anexas* (p.511), por de Barrand, P., & Gadeau, R. 2001. URMO, S.A. DE EDICIONES.

Se ha establecido que la microestructura dendrítica típica de las aleaciones de fundición eutéctoides Zn-Al consisten en una fase α rica en Al en el centro de las dendritas. Estos centros están rodeados por una fase β rica en Zn, y las fases η y ϵ también ricas en Zn están en las regiones interdendríticas. Durante la solidificación y seguida de un envejecimiento, estas cuatro fases llegan a ser metaestables y han sido nombradas fases α' , β' , η' y ϵ . La descomposición de estas fases metaestables, denomina los cambios estructurales de esta aleación.

Se ha reportado que la fase α' s y la fase β' s se descomponen y forman estructuras laminares fina y gruesa, respectivamente. La estructura laminar aparece como la parte principal de la aleación de fundición ZA-27. Bajo un esfuerzo externo, la estructura laminar gruesa de la fase β' s se transforma en una estructura esferoidizada fina y la estructura laminar fina α' s permanece sin cambio y resiste la termofluencia a la tensión y a la fractura. La estructura esferoidizada fina juega un rol importante en la mejora sobre la deformación plástica de la aleación. Consecuentemente, muchas propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión, resistencia a la termofluencia y a la fatiga, están estrechamente relacionadas con los cambios microestructurales. (Esparza, 2009)

2.2. Tratamiento Térmico

Un tratamiento térmico engloba varios procesos de calentamiento y enfriamiento para llevar a cabo cambios estructurales de un material transformando sus propiedades mecánicas. La finalidad de los tratamientos Ingeniería es conseguir las propiedades mecánicas adecuadas para su uso o conformación. No altera las propiedades químicas del material, los factores que se modifican son los que constituyen su estructura y la granulometría y como resultado sus propiedades mecánicas. El tratamiento térmico se

lo puede realizar sobre una parte o la totalidad del material en uno o varios pasos de la secuencia de manufactura. En algunas ocasiones el tratamiento se aplica antes del proceso de formado y en otros casos, se usa para aliviar los efectos del endurecimiento por deformación. En conclusión, se puede realizar al final de la secuencia de manufactura para lograr resistencia, dureza, ductilidad o la propiedad necesitada en el material. (Garavito, 2008)

2.2.1. Etapas del tratamiento térmico

Un tratamiento térmico se basa en tres etapas las cuales son:

- **Calentamiento hasta cierta temperatura:** Al momento de calentar la probeta o pieza la temperatura debe ser homogénea en todo el material.
- **Mantener la temperatura deseada:** Tiene como objetivo transformar la estructural del material. Puede ser suficiente mantener la temperatura durante un minuto por milímetro de espesor.
- **Enfriamiento:** Es muy importante que el enfriamiento sea extremadamente controlado de acuerdo al tipo de tratamiento térmico que se realice.

2.2.2. Tratamiento térmico de Normalizado.

El tratamiento térmico de normalizado permite eliminar las tracciones, que se generan por utilizar un enfriamiento rápido en las piezas al momento de colarlas, después del proceso de endurecimiento y por trabajo mecánico. Si no se realiza este tratamiento las piezas tienden a deformarse.

Para el tratamiento térmico de normalizado es conveniente utilizar temperaturas relativamente bajas, ya que las temperaturas altas producen una gran reducción de la resistencia mecánica.

El normalizado es muy conveniente realizarlo antes del mecanizado o antes de la última operación que se le va a realizar a la pieza, debido a que está sujeta a una deformación permanente. (Hogar, 2018)

Algo muy favorable del normalizado es lo económico que resulta realizar este proceso pues, la temperatura de austenización que se utiliza es mayor a la del recocido y el enfriamiento se lo hace al aire libre, dejando libre el horno para utilizarlo en otros procedimientos. (Piris, 2012)

Este tratamiento se utiliza para piezas fundidas, forjadas o mecanizadas, y sirve para afinar la estructura y eliminar las tracciones que suelen encontrarse en la solidificación, forja o en otras operaciones posteriores.

Como el nombre indica, este tratamiento permite que los aceros adquieran su constitución y característica que pueden estimarse como normales o propios de su composición. Se lo realiza después del forjado o laminación y al terminar ciertos sobrecalentamientos o enfriamientos hechos en malas condiciones, además, de eliminar los efectos de calentamientos o tratamientos anteriores. (Patiño, 1996)

2.2.3. Propósito del normalizado

La normalización tiene como propósito aumentar la dureza de un acero que el obtenido por recocido total, permitiendo en algunas aplicaciones que la normalización sea un procedimiento térmico final.

La normalización también puede mejorar la maquinabilidad, modificar y retinar las estructuras dendríticas de piezas de fundición, y refinar el grano y homogeneizar la micro estructura, permitiendo mejorar los resultados en los procesos de endurecimiento. (Perez, 1996)

2.2.4. Horno para tratamiento térmico de materiales

El horno de mufla está diseñado para generar elevadas temperaturas permitiendo calentar los materiales y aplicarles tratamientos Ingeniería, dichos hornos son esenciales en procesos de mecánica de materiales, se pueden realizar tratamientos Ingeniería como el recocido, envejecido, normalizado, temple, entre otros, también ensayos de flamabilidad a temperatura alta, aleaciones de metal, secado y calcinación de precipitados, ensayos de fundición y cualquier procedimiento que necesite la presencia de calor. (Monteros, 2015)

Figura 4.

Horno de mufla



Nota. La figura representa el horno de mufla utilizado para el tratamiento térmico Normalizado. Tomado de *Diseño y construcción de un horno mufla para la realización de tratamientos Ingeniería en aceros* (p.1), por Monteros, L. 2015.

2.2.5. Principio de funcionamiento de hornos mufla

Estos equipos funcionan mediante energía térmica que producen las resistencias eléctricas, las mismas que están colocadas en los laterales y parte

posterior del horno, son de hilo resistor de aleación Cromo-Aluminio-Hierro. Las resistencias producen la transferencia de calor hacia los materiales que ingresan en el horno, aumentando su temperatura. (Monteros, 2015)

Los hornos de mufla se forman de ciertos elementos necesarios para su correcto funcionamiento los cuales son:

- Gabinete interno
- Contrapuerta
- Gabinete externo
- Panel de control

Figura 5.

Partes del horno mufla



Nota. El gráfico representa las partes del horno de mufla. Tomado de *Diseño y construcción de un horno mufla para la realización de tratamientos Ingeniería en aceros* (p.2), por Monteros, L. 2015.

El gabinete interno está diseñado de ladrillos refractarios de alta alúmina y de lana de vidrio, estos dos componentes son los adecuados para aislar con gran eficiencia la temperatura alta que se logra alcanzar en los hornos mufla, también su baja densidad permite el rápido enfriamiento del mismo. En la parte exterior del horno la temperatura es mínima, por lo cual si tenemos contacto no ocasionara ningún tipo de quemadura, es muy importante que no existan fugas de calor al momento de realizar los tratamientos Ingeniería, la puerta del horno está construida de acero inoxidable generando un sellado perfecto. (Monteros, 2015)

Figura 6.

Horno de mufla a temperatura máxima



Nota. La figura representa como es el incremento de temperatura en el horno de mufla. Tomado de *Diseño y construcción de un horno mufla para la realización de tratamientos Ingeniería en aceros* (p.3), por Monteros, L. 2015.

2.3. Ensayo de tracción

El ensayo de tracción permite determinar la resistencia máxima, de fluencia y rotura de metales y aleaciones. Las muestras son sometidas a fuerzas que permiten su

estiramiento a una velocidad constante hasta que dicha muestra se fracture, la duración de este ensayo es relativamente corto, en la figura 11 se muestra una máquina de tracción moderna y en la figura 12 se ilustra esquemáticamente cómo se realiza el ensayo a tracción. (Smith & Hashemi, 2007)

Figura 7.

Máquina de tracción.



Nota. La figura muestra una máquina de tracción. Tomado de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/300kn-universal-tensile-testing-machine-universal-tensile-compression-testing-machine-universal-testing-machine-price-1765800334.html>, por Máquina de Tracción. 2017. [Gráfico]. Alibaba

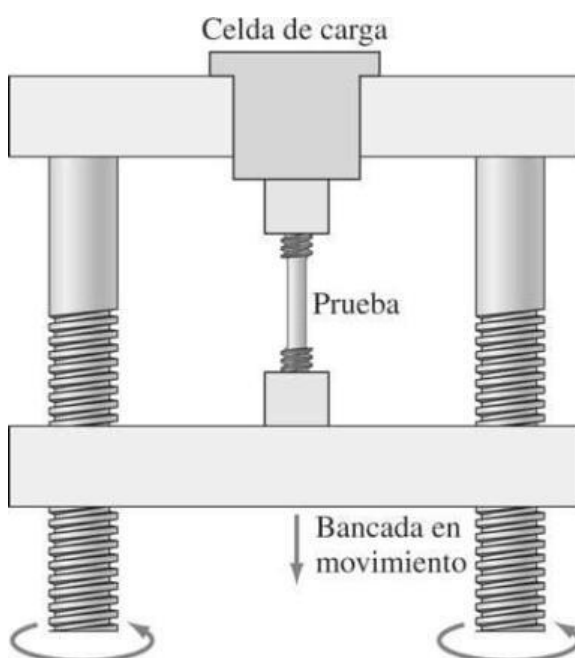
Los resultados que arrojan este ensayo permiten conocer el comportamiento mecánico de los materiales en aplicaciones como la construcción. Los datos obtenidos se pueden usar como precedente para establecer el comportamiento de un material al ser sometido a las diferentes cargas cuando este ya esté siendo utilizado, existen normativas para desarrollar el ensayo en diferentes condiciones de temperatura y para diferentes tipos de materiales, se somete a una probeta del material a una fuerza de

tracción uniaxial creciente, registrando en cada instante la carga aplicada y la extensión o alargamiento experimentado por la probeta de ensayo. (Piris, 2012)

Para realizar el ensayo se necesita de probetas normalizadas en forma y dimensión, estas pueden ser probetas cilíndricas o de sección rectangular, las mordazas dependerán de la forma de la probeta para que sea sujeta correctamente.

Figura 8.

Funcionamiento de la máquina.

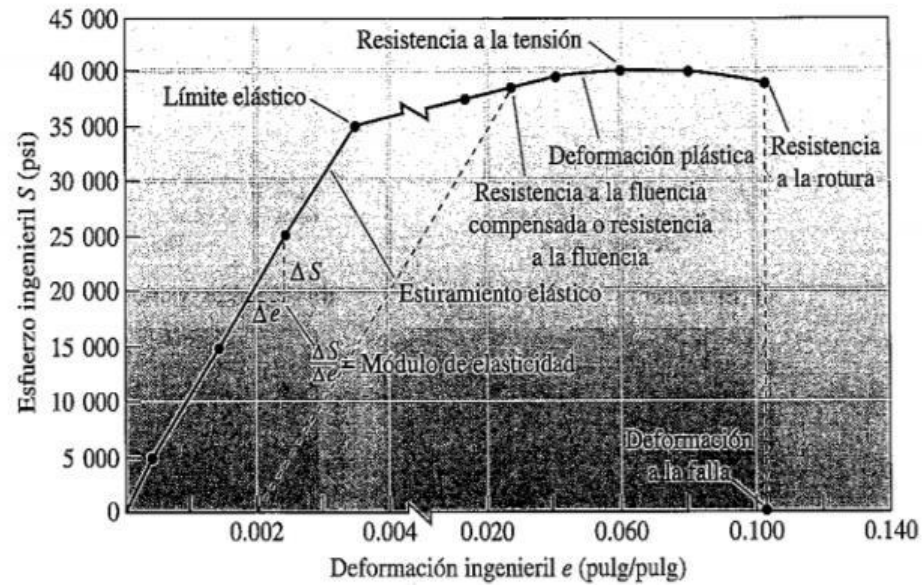


Nota. Ilustración esquemática que muestra cómo trabaja la máquina de ensayos. Tomado de *The Structure and Properties of Materials* (p.190), por Hayden, H. W., Moffatt, W. G., & Wulff, J. 1967. Wiley.

Con los datos obtenidos en el ensayo de tracción, se diseña la curva esfuerzo vs deformación, según se ve en la figura 9. La fuerza aplicada llega a un máximo determinando el esfuerzo máximo, la sección transversal de la probeta (el área), soporta las cargas ejercidas y como consecuencia esta disminuye su área y también lo hace la fuerza necesaria para romper el material. (Piris, 2012)

Figura 9.

Curva Esfuerzo Deformación.



Nota. En la figura se muestra el diagrama Esfuerzo Deformación y las fases que presenta. Tomado *Ciencia E Ingeniería de Los Materiales* (p.204), por Askeland, D. R., & Wright, W. J. 2016, Cengage Learning.

2.4. Propiedades mecánicas obtenidas del ensayo de tracción

Las propiedades mecánicas de los materiales y aleaciones que se obtienen mediante el ensayo de tracción son:

- Módulo de elasticidad
- Porcentaje de alargamiento a fractura
- Elongación
- Esfuerzo de fluencia
- Esfuerzo de tracción
- Esfuerzo de rotura
- Tenacidad

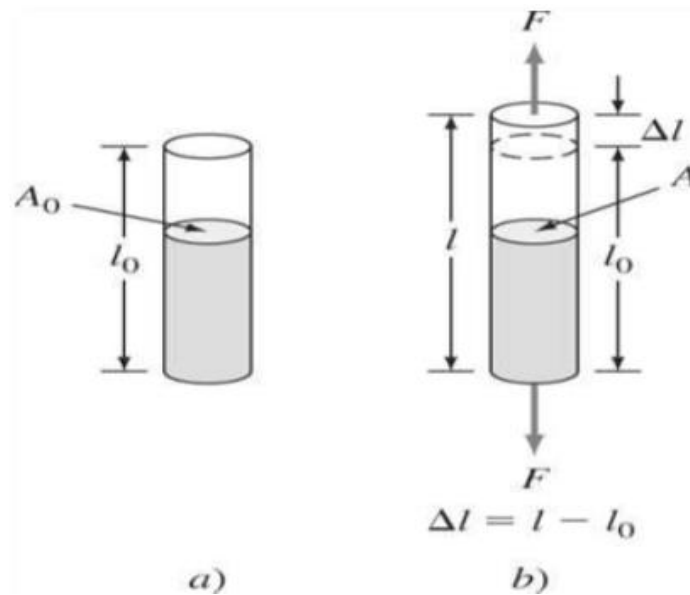
Algunas de estas propiedades no se generan automáticamente, pero los datos proporcionados por la gráfica esfuerzo vs deformación sirven para realizar los cálculos necesarios.

2.4.1. Tensión de ingeniería

Considérese una barra cilíndrica de longitud inicial l_0 y área de la sección transversal A_0 sujeta a una fuerza de tracción uniaxial F , como la que se muestra en la figura 10. Por definición, la tensión de ingeniería σ sobre la barra es igual a la fuerza F sometida a la probeta dividida por el área de su sección transversal A_0 .

Figura 10.

Tensión.



Nota. En la figura se muestra a) La barra sin ninguna fuerza y b) la barra sujeta a la fuerza de tracción uniaxial F . Tomado *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de Materiales* (p.1086), por Smith, W., & Hashemi, J. 2007. McGraw-Hill Education.

Ecuación 1.
$$\sigma = \frac{F(\text{fuerza de tracción uniaxial})}{A_0(\text{area de la sección transversal})}$$

En donde:

σ : Tensión de Ingeniería

F : Fuerza de Tracción Uniaxial

A_0 : Área de la sección transversal

Las unidades de la tensión de ingeniería son:

Tabla 6.

Unidades de la tensión de ingeniería.

Sistema anglosajón	Sistema Internacional
$\left(\frac{\text{lb}_f}{\text{pulg}^2} \text{ o } \text{psi}\right)$	$\left(\frac{\text{N}}{\text{m}^2}\right)$ o pascales (Pa)

Nota. Esta tabla muestra las unidades de la tensión Ingenieril.

2.4.2. Fundamentos de la Fractura

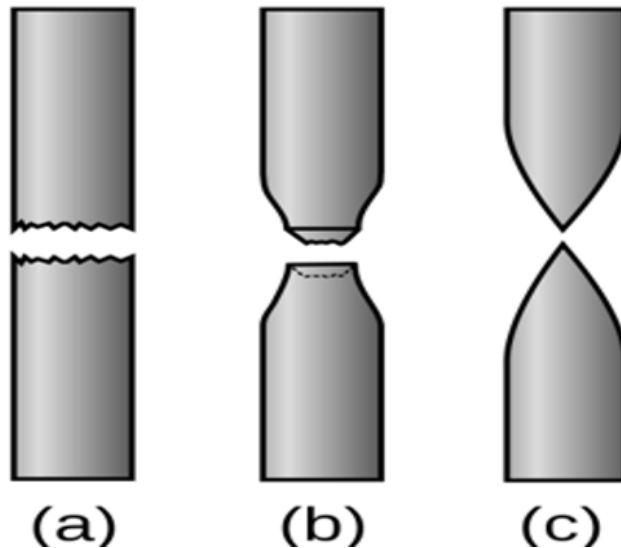
Se define a una fractura simple como la separación de un cuerpo en dos o más partes, debido a la acción de una fuerza de tracción, compresión, cizalladura o torsión en temperaturas bajas comparadas con las temperaturas de fusión del material, esta fractura también se puede generar por la presencia de fatiga.

En los metales existen dos tipos de fracturas la dúctil y frágil, estas se diferencian en la capacidad del material para experimentar deformación plástica. (Callister & Rethwisch, 2017)

Las superficies de las fracturas dúctiles se distinguen por sus rasgos como se puede ver en la siguiente figura 11.

Figura 11.

Rasgos de la fractura dúctil y muy dúctil.



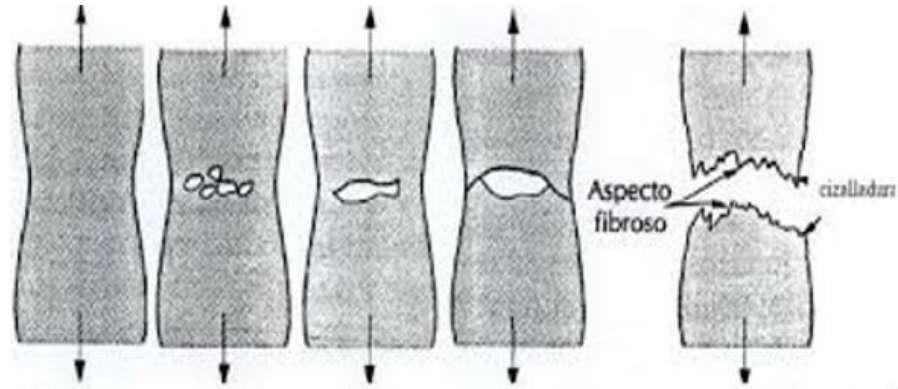
Nota. En la Figura se muestra los Rasgos de la Fractura Dúctil. (a)Fractura Frágil. (b)Fractura moderadamente dúctil. (c) Fractura muy Dúctil. Tomado de *Ciencia e Ingeniería de Materiales (2.^a ed.)* (p.677), por Callister, W., & Rethwisch, D. 2017, Reverté S.A.

La fractura dúctil de un metal se presenta luego de soportar una intensa deformación plástica. Durante la fractura dúctil se presentan tres etapas distintas.

- La muestra presenta una estricción y se forma cavidades en la zona de estricción.
- Las cavidades formadas se juntan generando una fisura en el centro de la probeta que se extiende hacia la superficie de esta.
- Cuando la fisura se llega a la superficie, su dirección cambia en un ángulo de 45° respecto al eje de aplicación de la carga y se genera una fractura de tipo cono y copa. (Callister & Rethwisch, 2017)

Figura 12.

Etapas de la fractura cono y copa.



Nota. Etapas en la Fractura de cono y copa. (a)Estricción inicial. (b)Formación de pequeñas cavidades. (c)Coalescencia de cavidades (d)Propagación de grietas. (e)Fractura final Tomado de *Ciencia e Ingeniería de Materiales (2.ª ed.)* (p.680), por Callister, W., & Rethwisch, D. 2017, Reverté S.A.

2.4.3. Módulo de Elasticidad.

En el diagrama esfuerzo-deformación obtenido en el ensayo de tracción se relaciona el esfuerzo (σ) y deformación unitaria (ϵ) para determinar el módulo de elasticidad o módulo de Young que es la pendiente de la recta en la zona elástica y su ecuación es la siguiente. (Smith & Hashemi, 2007)

Ecuación 2. Ley de Hooke

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Donde:

E : Módulo de Elasticidad

σ : Esfuerzo

ϵ : Deformación unitaria

El valor del módulo de elasticidad indica rigidez que presenta el material, ya que un material mientras más rígido requiere de mayor fuerza para deformarse en la zona elástica. (Smith & Hashemi, 2007)

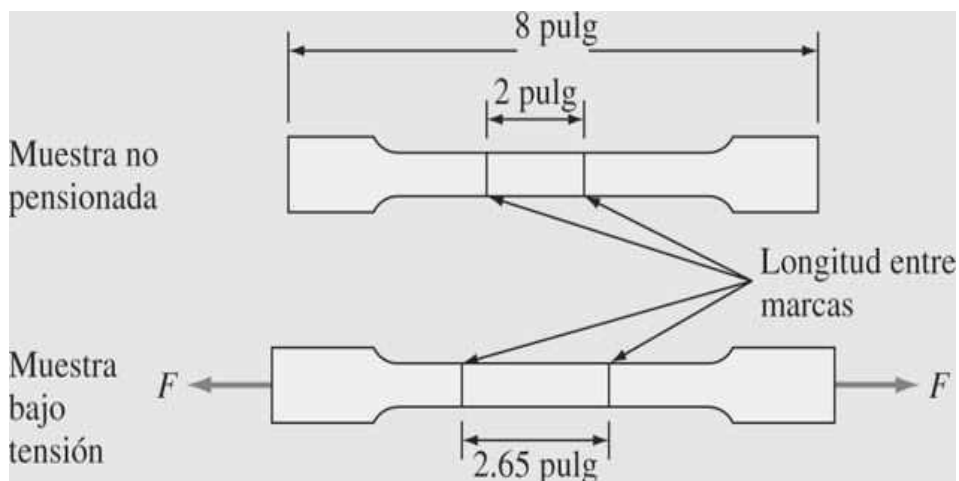
2.4.4. Elongación

Al momento de ejercer una fuerza de tracción uniaxial a un material, esta produce un alargamiento en la dirección de la fuerza a este desplazamiento se lo conoce como elongación. Se define a la elongación como el cambio en la longitud de una muestra después de aplicar la fuerza y la longitud inicial antes del ensayo.

Se puede determinar la elongación marcando dos puntos en la probeta, normalmente de 2 pulgadas, como se indica en la figura 13. (Smith & Hashemi, 2007)

Figura 13.

Probeta plana antes y después del ensayo.



Nota. En la figura muestra la elongación de la probeta antes y después de la prueba de tensión. Tomado de *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de Materiales* (p.1016), (Vol. 4). Por Smith, W., & Hashemi, J. 2007, McGraw-Hill Education

Por tanto, la ecuación de la elongación es:

Ecuación 3. Elongación.

$$\varepsilon = \frac{l_f - l_0}{l_0}$$

Donde:

l_0 : Longitud Inicial.

l_f : Longitud Final.

2.4.5. Porcentaje de alargamiento.

El porcentaje de alargamiento que la probeta sometida a tracción soporta permite conocer cuál es el valor de la ductilidad del metal, esta ductilidad de los metales se expresa como porcentaje de alargamiento. Es decir, a mayor ductilidad del metal, mayor porcentaje de deformación. (Smith & Hashemi, 2007)

El porcentaje de alargamiento se calcula con la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Porcentaje de alargamiento

$$\%alargamiento = \frac{l_f - l_0}{l_0} * 100\%$$

Donde:

l_0 : Longitud Inicial.

l_f : Longitud Final.

2.5. Marco legal y normativo

En este proyecto se va a determinar el impacto del tratamiento térmico de normalizado en las propiedades mecánicas de tensión, dureza y microestructura del aluminio 7075, para lo cual se realizarán los ensayos de tracción, dureza y metalografía tomando en cuenta la normativa ASTM.

2.5.1. ASTM B557-15 (Standard Test Methods for Traction Testing Wrought)

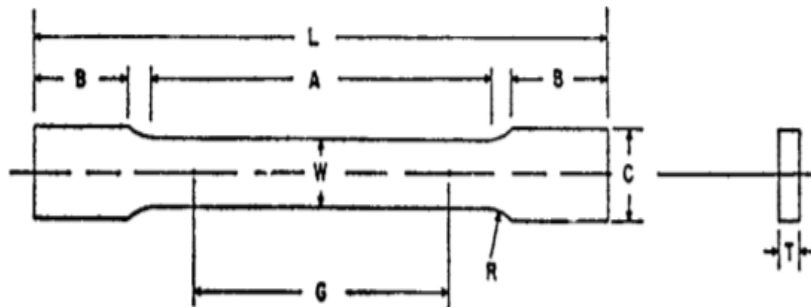
La norma B557-15 está diseñada para la elaboración del ensayo de tensión de materiales metálicos en diferentes condiciones de temperatura incluyendo condiciones para la obtención de las propiedades mecánicas como resistencia de fluencia, límite de elasticidad, resistencia a la tracción, elongación y esfuerzo máximo

Con este método de ensayo obtendremos datos de las propiedades mecánicas del aluminio 7075, además de las curvas fuerza-alargamiento, por lo cual se diseñará las probetas con las siguientes medidas establecidas en la norma B557-15.

(MATERIALS, 2004)

Figura 14.

Medidas de la probeta.



Nota. El gráfico representa las longitudes normalizadas de la probeta. Tomado de *ASTM B557-15* (p.9), por ASTM 2011.

Tabla 7.

Representación de la figura 14.

Datos	Valores
G: Longitud de la puerta	2 in \pm 0.005
W: Anchura	0.500 in \pm 0.010
T: Espesor	0.47 in

Datos	Valores
R: Radio del filete	0.5 in
L: Longitud total	8 in
A: Longitud de la sección reducida	2.25 in
B: Longitud de la sección de agarre	2 in
C: Anchura de la sección de agarre	0.75 n

Nota: La tabla muestra las medidas de la probeta ocupada para el estudio.

2.5.2. ASTM E-03 (Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens)

El objetivo principal de los exámenes metalográficos es revelar los componentes y la estructura de los metales y sus aleaciones por medio del microscopio de luz. En casos especiales, el objetivo del examen puede requerir el desarrollo de menos detalles que en otros casos, pero, bajo casi todas las condiciones, la selección y preparación adecuada del espécimen es de gran importancia. Debido a la diversidad de los equipos disponibles y la amplia variedad de problemas encontrados, el siguiente texto presenta para la guía metalográfica. (E-03)

2.5.3. ASTM E-18 (Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials)

La norma ASTM E-18 explica los métodos de prueba para la determinación de la dureza Rockwell y la dureza superficial Rockwell de los materiales metálicos por el principio de dureza de indentación Rockwell. Esta norma establece los requisitos para los materiales metálicos Rockwell y los procedimientos para la realización de los ensayos de dureza Rockwell. (E-18)

2.6. Metalografía de las aleaciones de Aluminio.

2.6.1. Examen Metalográfico.

El análisis metalográfico se basa en el estudio de las características microestructurales de un metal o aleación permitiendo compararlas con sus propiedades mecánicas. Este análisis micro estructural es de gran importancia en el ámbito de las investigaciones y del control de calidad de los materiales.

Para realizar el proceso metalográfico se necesita seguir pasos específicos que incluyen el corte, empastillado, lijado, pulido y ataque químico. Este procedimiento puede variar según la utilización que se le vaya a dar a la aleación o metal a tratar y de sus propiedades. (Zuñiga, 2012)

2.6.2. Corte de la muestra metalográfica

El corte de la muestra es el primer paso de la preparación metalográfica, y el objetivo es conseguir un pequeño trozo de la muestra, razón por la cual debemos darle mucha importancia.

La muestra seleccionada para realizar el análisis metalográfico, debe ser una parte del metal de estudio. Si se desea tener una mejor vista de la microestructura fibrosa de una aleación, nunca se debe realizar el corte por el plano perpendicular a la dirección de laminación, o, si el estudio se enfoca en determinar las causas por las que se fracturo la pieza, se cortará una parte de la zona de la rotura, para obtener mayor información.

En las aleaciones de aluminio debido a su baja dureza se pueden realizar el corte mediante cualquier método explicado anterior mente, pero siempre se debe tener

cuidado de que el método seleccionado no altere la microestructura de la muestra en la zona que se va a examinar. (Zuñiga, 2012)

2.6.3. Lijado.

Se le conoce como proceso de desbaste, en el cual tiene como objetivo desbastar la superficie en la zona del metal a estudiar. Para esto se utilizan lijas compuestas por diferentes carburos hasta que después del lijado quede una superficie plana libre de marcas, donde las finas rayas del lijado sigan la misma dirección.

El proceso de lijado debe realizarse en seco, es indispensable utilizar lubricación y refrigeración para evitar que los calentamientos producidos por la fricción modifiquen la estructura que se va a estudiar.

El lijado se debe realizar primero en una dirección hasta que las rayas queden uniformes en dicha dirección, luego en dirección perpendicular hasta que desaparezcan las rayas anteriores. Este procedimiento se lo debe realizar desde la lija de tamaño de grano más grueso hasta la de tamaño de grano más fino, de esta manera se eliminarán progresivamente las rayas hasta que queden muy finas. (Puente, 2019)

2.6.4. Pulido Especular

El pulido especular es el complemento del lijado, tiene como objetivo eliminar las rayas que aún quedan por el lijado dejando una superficie perfectamente plana y reflectante, lista para realizar el ataque químico y la observación microscópica.

Para ejecutar este procedimiento, se utiliza un plato de pulido o paño de brillar y alúmina fina que contiene partículas abrasivas, en una menor cantidad que el agua utilizada en el lijado, evitando que el pulido se realice completamente en seco. (Barrand, 2001)

Al terminar el pulido es muy importante en jugar correctamente la muestra, para evitar que aparezcan manchas y pequeñas partículas de abrasivo en la superficie de la muestra, lo que afectaría al momento de realizar la micrografía óptica. (Puente, 2019)

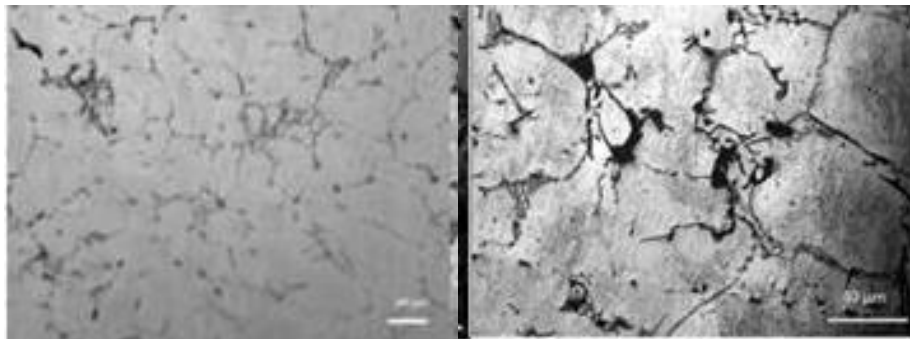
2.6.5. Ataque Químico

El objeto del ataque químico, es observar la estructura y permitir a través de esta contemplar los distintos componentes cristalinos de la aleación.

Por lo tanto, colocando la muestra de la superficie pulida al reactivo químico para metalografía esta variara la velocidad de la disolución según el reactivo químico utilizado. (TECMICRO, 2019)

Figura 15.

Ataque químico.



Nota. El gráfico muestra el *ataque por figuras de corrosión y ataque Calvet*. Tomado de *Metalurgia estructural del aluminio Fusión y colada de placas y tochos Fabricaciones anexas* (p.301), por Barrand, P., & Gadeau, R. 2001. URMO, S.A. DE EDICIONES.

2.6.6. Micrografía Óptica

En este examen se utilizan microscopios ópticos avanzados para ciencia de los materiales, capturan las imágenes con microfotografías de alta calidad dando a conocer la estructura fina de las aleaciones de los materiales.

Su magnificación o aumento se indica generalmente con una X junto a un número, por ejemplo, 200X, 500X, 1000X, para calcular el aumento real, se debe multiplicar el número antes de la X por 10.

Figura 16.

Microscopio óptico



Nota. El gráfico representa un microscopio óptico OLYMPUS GX-51. Tomado de <http://mty.cimav.edu.mx/metalografia/>, por Esneider, M. en 2012, *MICROSCOPIO ÓPTICO [ILUSTRACIÓN]*. Cimav.

2.7. Dureza

Es la capacidad que tiene un material para resistir la deformación o abrasión de una superficie. Este término también puede relacionarse con la solidez, la durabilidad y la resistencia.

En mineralogía se define como la resistencia al rayado en la superficie de un mineral. Un material blando tiene más rayones que un material duro, un ejemplo muy conocido es el diamante que rayará un elemento blando, como el grafito, mientras que la situación inversa nunca se producirá.

En Metalurgia e Ingeniería, la dureza se determina mediante impactadores sobre la superficie a estudiar y midiendo el tamaño de la indentación resultante. Los metales blandos se indentan más que los duros. (Garavito, 2008)

2.7.1. Ensayo de Dureza

Este ensayo se basa en utilizar un penetrador y presionarlo contra la superficie a estudiar bajo una carga definida, produciendo una huella que posteriormente será analizada dimensionalmente tras la descarga como lo indica la Figura 17. (Montes, Cuevas, & Cintas, 2014)

Figura 17.

Secuencia del ensayo de dureza.



Nota. La figura muestra las etapas del ensayo de dureza. Tomado de *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de Materiales*. (Vol. 4)(p.986), por Smith, W., & Hashemi, J. 2007, McGraw-Hill Education.

El penetrador, que se usa tiene forma de bola, pirámide o cono, estos deben ser fabricados de un material mucho más duro al que se va a ensayar. El material empleado en estos penetradores generalmente es diseñado de acero templado, carburo de tungsteno o diamante.

En la gran parte de ensayos de dureza se toma en cuenta la normativa correspondiente para aplicar una carga, que presiona el penetrador contra la superficie del material a estudiar y perpendicularmente a ésta. (Smith & Hashemi, 2007)

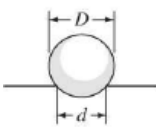

El ensayo de dureza es muy simple de realizar beneficiando su bajo costo. No requiere una preparación previa del material al cual se le va a realizar el ensayo, es de duración corta y los equipos para realizarlo llamados durómetros no son excesivamente costosos. (Montes, Cuevas, & Cintas, 2014)

En la tabla 8 se muestran los tipos de penetradores existentes para este tipo de ensayos, además de las huellas o marcas que estos producen estos ensayos son: Brinell, Vickers, Knoop y Rockwell. La diferencia que tienen estos ensayos se basa en el tipo de penetrador y de la carga aplicada.

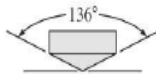
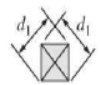
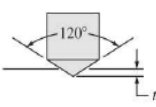

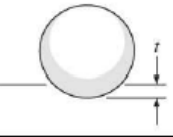

La dureza de un metal se obtiene de acuerdo a la facilidad con que este puede deformarse plásticamente. El ensayo de dureza es mucho más simple que el ensayo de tracción este no es destructivo permitiendo que el objeto ensayado pueda ser utilizado posteriormente, debido a esto en los procesos de control de calidad son muy utilizados.

Tabla 8.

Forma del penetrador

Formato del penetrador					
Ensayo	Penetrador	Vista Lateral	Vista en planta	Carga	Formula del número de Dureza
Brinell	Esfera de 10 mm fabricada de acero o carburo de wolframio			P	$BHN = \frac{2P}{D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$

Formato del penetrador

Ensayo	Penetrador	Vista Lateral	Vista en planta	Carga	Formula del número de Dureza
Vickers	Pirámide de diamante			P	$VHN = \frac{1.72P}{d_1^2}$
Rockwell A C D	Cono de diamante			60 kg 150 kg 100 kg	$R_A =$ $R_C =$ $R_D =$ } 100-500f
Rockwell B F G	Esfera de acero de 1/16 pulgadas			100 kg 60 kg 150 kg	$R_B =$ $R_F =$ $R_G =$ } 130-500f
Rockwell E	Esfera de acero de 1/8 pulgadas			100 kg	$R_E =$

Nota: Esta tabla muestra la forma del penetrador según el tipo de ensayo de dureza. Tomado de *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de Materiales*. (Vol. 4)(p.994), por Smith, W., & Hashemi, J. 2007, McGraw-Hill Education.

2.7.2. Dureza de Rockwell

El ensayo de dureza de Rockwell es una muy similar al ensayo de dureza de Brinell pero este difiere por el tipo de penetrador, debido a que para el ensayo de Rockwell se utiliza un cono de diamante o la bola de acero en vez de una esfera de carburo de tungsteno. La medición se basa en la distancia que ingresa el diamante o bola con las diferentes fuerzas aplicadas al material. (Newell, 2009)

Figura 18.

Durómetro para ensayo Rockwell.



Nota. La Figura muestra la máquina utilizada para ensayos de dureza. Tomado de Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería (p.134), por Newell, J. 2009, Alfaomega.

2.8. Desviación Estándar

La desviación estándar es la medida más común de dispersión de un grupo de datos cuantitativos, indicándonos cuán alejados están los valores con respecto a la media. Esta desviación es la raíz cuadrada positiva de la varianza. Para calcular la desviación estándar tenemos la siguiente fórmula. (Salazar & Del Castillo, 2018)

Ecuación 5.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

Donde:

S: Desviación Estándar

n : Numero de muestras

\bar{X} : Media del valor X_i : Valor de la muestra.

2.9. Máquina Universal

Es una máquina diseñada para realizar ensayos de tracción de cualquier tipo de material metálico o no metálico, su uso es amplio en investigaciones para centros educativos como universidades, centros de inspección de calidad de materiales y plantas industriales de producción e investigación científica que se enfoquen en materiales de construcción, metalurgia y ciencia. (Moposita, 2016)

En la tabla 9 se indica los parámetros y especificaciones técnicas de la Máquina Universal Time Shijin Serie WAW-600C.

Tabla 9.

Especificaciones técnicas de la máquina universal time shijin.

Elemento	Especificación.
Máxima capacidad de carga (KN).	600
Rango de Carga	2%-100% de Carga Máxima
Distancia máxima entre las pinzas de tensión (incluido el recorrido del pistón).	600 (mm)
Diámetro de la muestra(mm).	Ø13 - Ø26 ; 26 - 40
Máxima Sujeción la anchura de muestra plana.	80 mm
Sujeción del grosor de muestra plana.	0 mm - 30 mm
Máxima Distancia entre la Superficie de Compresión.	550 mm
Tamaño de alto y bajo de la platina de compresión.	204 x 204 (mm)
Distancia entre apoyos para el ensayo de doblado.	600 mm
Anchura de los apoyos de doble.	140 mm
Grado de doblado Admisible.	100 mm

Elemento Especificación.	Especificación.
Distancia entre Columnas.	650 mm
Diámetro de la muestra de corte	Ø 10mm
Máximo Velocidad de Levantamiento del Pistón.	70 mm/min
Velocidad de elevación de la Cruceta Inferior.	150 mm/min
Máximo recorrido del Pistón.	250 mm
Dimensión aceptable de la mesa de trabajo.	650mm x 650 mm
Dimensión del contorno del bastidor de la carga(LxAxE).	1180mm x 750mm x 2633mm
Dimensión del Gabinete Eléctrico.	600mm x 480mm x 960mm

Nota: La tabla muestra especificaciones técnicas de la Máquina de ensayo Universal time shijin. Tomado de *repotenciación de la máquina universal time shijin serie wan-600c utilizada para la realización de ensayos mecánicos para el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE extensión Latacunga (p.73)*, por Moposita, m., & Nuñez, t. 2016.

<http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/12438/T-ESPEL-MEC-0074.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE DESAROLLO DEL PROYECTO

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para obtener toda la información necesaria de aluminio 7075 en estado original y tratado térmicamente de normalizado, al realizar ensayos de tracción, dureza de Rockwell y metalografía.

3.1. Diseño de las probetas de aluminio

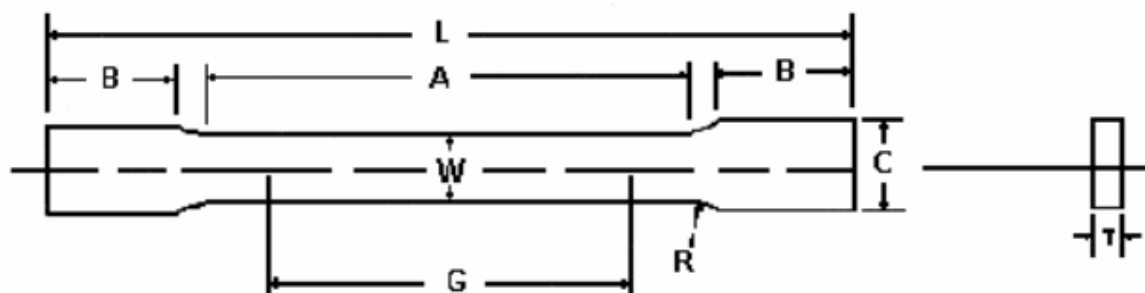
3.1.1. Dimensiones de las probetas de Aluminio

Al disponer de planchas enteras de aluminio 7075 fue necesario realizar el diseño de las probetas planas cumpliendo con la geometría y dimensiones que se especifican en la norma ASTM E-B557-10 (Standard Test Methods for Traction Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium-Alloy Products).

En la figura 19 se presenta las dimensiones de las probetas utilizadas.

Figura 19.

Dimensiones de la probeta.



Nota. El gráfico representa las longitudes normalizadas de la probeta. Tomado de ASTM B557-10 (p.9), por ASTM 2011.

$G = 50,80 \text{ mm}$	$R = 12\text{mm}$	$A = 74,14 \text{ mm}$	$C = 19,05\text{mm}$
$W = 12\text{mm}$	$L = 203,20\text{mm}$	$B = 57,15$	$T = 12\text{mm}$

3.2. Proceso de mecanizado por CNC

El proceso se lo realizo mediante la máquina Cnc Anayak Anak Matic-7, en la cual se colocó una plancha de aluminio 7075 de 22 x 60 x 12 cm.

La máquina utilizada para el diseño de las probetas con las dimensiones que se muestra en la figura 20 cuenta con un recorrido en los ejes X, Y, Z de 800x450x500 mm respectivamente, con una mesa de trabajo de 900x425 mm y una velocidad del husillo de 6000rpm lo cual nos permite diseñar las 9 probetas con las medidas determinadas lo más exactas posibles.

Figura 20.

Máquina Anayak CNC.



Nota. La figura representa la máquina CNC donde se realizó el maquinado de las probetas. Tomado de *Máquina CNC [Gráfico]*. https://es.made-in-china.com/co_tacystal/product_3-Axis-CNC-Machine-Mini-Milling-Machinery-Vmc7035_esousgggy.html, por Made in China 2012.

3.2.1. Ubicación de la plancha de aluminio

Se procede a colocar la plancha de aluminio en la mesa de trabajo sujetándola con los soportes para empezar a desbastar el material (Figura 21).

Es muy necesario ajustar correctamente los pernos para evitar que la plancha se mueva durante el proceso lo cual puede dañar la probeta al no tener las medidas correctas.

Figura 21.

Sujeción de la placa de aluminio.



Nota. La figura representa la fijación de la placa del aluminio para el proceso de corte.

3.2.2. Corte y refrigeración

En el programa de la máquina se especifican las dimensiones de la probeta, con esto automáticamente empieza el corte de acuerdo a las medidas ingresadas.

Es muy importante el uso de refrigerante al momento del corte como se indica en la figura 22 para evitar sobre calentamientos en el material que puedan alterar su microestructura interna y además se mantiene la herramienta de corte a una temperatura adecuada para su trabajo.

Figura 22.

Corte y refrigeración.



Nota. La imagen representa el corte y lubricación de la pieza de aluminio.

3.2.3. Acabado de las probetas.

Una vez terminada cada probeta se realiza los acabados finales a cada una de las nueve probetas.

Con esto estarán listas para realizar el tratamiento térmico de normalizado y los ensayos de tracción, dureza y metalografía.

Figura 23.

Probetas listas para los ensayos.



Nota. La figura representa las probetas finalizadas a medida normada.

3.3. Tratamiento térmico de normalizado

EL tratamiento térmico se realizó en un horno de mufla marca Wild Barfield modelo M1 254 que se encuentra en el laboratorio de Ciencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, dicho horno cuenta con un control de temperatura digital permitiendo tener un control exacto de la temperatura deseada para el tratamiento térmico. El Horno alcanza una temperatura máxima de 1000°C con 240 voltios.

Figura 24.

Horno para tratamientos Ingeniería.



Nota. La figura muestra el horno utilizado para el tratamiento térmico de normalizado.

Para realizar el tratamiento térmico de normalizado se utilizaron 6 probetas tomando las precauciones necesarias como calentamiento hasta la temperatura requerida y manteniendo las probetas hasta que alcancen la temperatura solicitada en toda su masa y así contabilizar el tiempo de sosteniente de las mismas en las siguientes condiciones:

- 3 probetas a una temperatura de 300°C durante 12 minutos
- 3 probetas a una temperatura de 325°C durante 12 minutos

Posteriormente se extraen las probetas sujetándolas de un extremo y llevándolas a una superficie dejándolas totalmente en reposo para su enfriamiento al aire libre tomando un tiempo alrededor de 10 a 15 minutos.

Figura 25.

Horno a 300 °C.



Nota. La figura representa el horno a una temperatura de 300° Celsius.

3.4. Puesta a punto de la máquina universal

Para la puesta a punto de la máquina se realizó un análisis de todos los sistemas existentes para el funcionamiento de la máquina como son el:

- Sistema Hidráulico
- Sistema Eléctrico

3.4.1. Sistema Hidráulico

Este sistema es el encargado de accionar la máquina de ensayos, se genera una presión hidráulica la cual es utilizada para la aplicación de cargas sobre la probeta a ensayar, este accionamiento es necesario debido a las grandes fuerzas que se necesitan para los ensayos mecánicos.

Su funcionamiento se basa en el desplazamiento del cilindro hidráulico el cual recibe la señal del módulo hidráulico.

3.4.2. Revisión de las tuberías hidráulicas

Las conexiones de tuberías fueron revisadas externamente dando como resultado inexistencias de fugas en todo el circuito hidráulico, esto es muy bueno para el funcionamiento correcto de la máquina, pues no existe ingreso de partículas que contaminen el aceite y otros elementos hidráulicos.

Los elementos como la bomba hidráulica y el motor eléctrico fueron revisados superficialmente y a simple vista es tan en buenas condiciones debido a que han sido utilizados muy pocas veces por el desuso de la máquina.

3.4.3. Cambio de aceite hidráulico

Debido al tiempo en el cual la máquina estuvo sin funcionamiento el aceite hidráulico perdió sus propiedades químicas que son: la viscosidad y propiedades anticorrosivas, debido a lo cual se realizó el cambio de aceite por un ISO AW68 que cuenta con propiedades de anticorrosión, soporta altas presiones mayores a 100PSI, con la presencia de temperatura su viscosidad cambia levemente.

3.4.4. Cambio de retenedor

Se observó que el retenedor ubicado en la válvula direccional tenía desgaste por tal motivo la máquina perdía fuerza de presión ya que el aceite hidráulico regresaba al tanque por ende se realizó el cambio del retenedor para evitar el retorno del aceite y la pérdida de presión.

3.4.5. Sistema eléctrico.

En el sistema eléctrico tenemos la placa eléctrica y la medición a bordo de la amplitud que están ubicados en el interior del panel de control, estos son conectados

con la computadora, el bastidor de carga y el suministro de líquido, generando las señales y comunicación eléctrica de la máquina.

3.4.6. Encoder

La máquina utiliza un Encoder incremental generando un número exacto de impulsos por revolución, indicando la distancia angular y lineal recorrida.

Se midió el voltaje que recibe dando como resultado 5.03 voltios siendo correcto para su funcionamiento.

3.4.7. myDAQ

Es un dispositivo de adquisición de datos que al combinarlo con software LabVIEW y NIMultisim brinda la capacidad de generar prototipos de sistemas y circuitos ingenieriles, por lo cual se diseñó un nuevo programa para la interacción hombre-máquina.

La tarjeta de datos Ni MyDaq como se mencionó anteriormente posee dos canales diferenciales para entradas analógicas y ocho entradas/salidas digitales para señales digitales.

Tabla 10.

Señales y voltajes.

Elemento	Señal	Voltaje CC
Sensor de Presión	Analógica	8 a 33
Sensor de Desplazamiento	Digital	5
Final de Carrera	Digital	5

Nota. Se especifica las señales y voltajes de trabajo para los elementos de los cuales se tomarán los datos para generar la curva esfuerzo-deformación

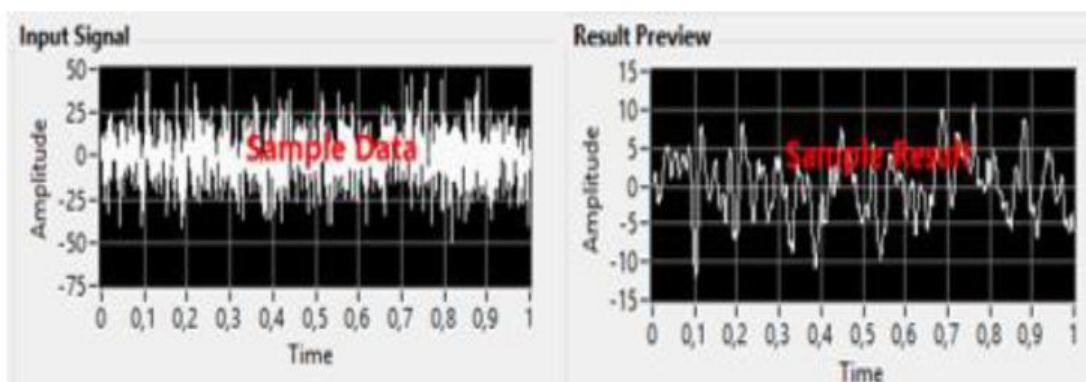
3.4.8. Filtrado de la señal del sensor de presión

Al momento de realizar los ensayos se presenta mucho ruido en la señal del sensor de presión, esto debido a que el circuito electrónico de control y el motor eléctrico que acciona la bomba hidráulica, además, la vibración que existe cuando la Máquina Universal está en funcionamiento genera inconvenientes al momento de utilizar estos datos.

Para solucionar este problema se realizó un filtrado pasa banda en el software ayudándonos a eliminar en lo más posible el ruido que interfiere en la señal.

Figura 26.

Filtrado de las señal del sensor de presión.



Nota. La filtración de la señal del sensor ayuda a una mejor toma de datos, aunque no sea posible eliminar completamente el ruido.

Una vez filtrada la señal del transductor se procede a interpretar los datos obtenidos, para ello la señal de voltaje se deben convertir en señal de presión.

3.4.9. Calibración del transductor de presión

Según la tesis repotenciación de la máquina universal se llevó a cabo un experimento el cual consistió en aplicar presión al sensor mediante una bomba hidráulica y obtener la señal de salida en voltaje

Tabla 11.

Calibración con presión y voltaje.

Presión (PSI)	Voltaje (V)
50	1.075
100	1.107
200	1.169
300	1.248
400	1.322
500	1.404
600	1.484
700	1.566
800	1.654

Nota. De acuerdo presión ejercida en el transductor se obtiene las señales de salida en voltios

3.4.10. Calibración del Encoder

Para su calibración se puso en funcionamiento el Encoder lo cual permitió recoger valores referenciales estos valores están en unidades de distancia/pulso detallados en la parte izquierda de la tabla 12 y en la parte derecha ya transformados en desplazamiento

Tabla 12.

Calibración encoder y desplazamiento.

Encoder	Desplazamiento (mm)
0,000	0.78

Encoder	Desplazamiento (mm)
0.001	0.80
0.106	1.61
1.004	8.50
1.108	9.30
2.024	16,33
2.129	17.20
3,010	23.95
3,058	24,25

Nota. Señales del Encoder transformados a desplazamiento en milímetros

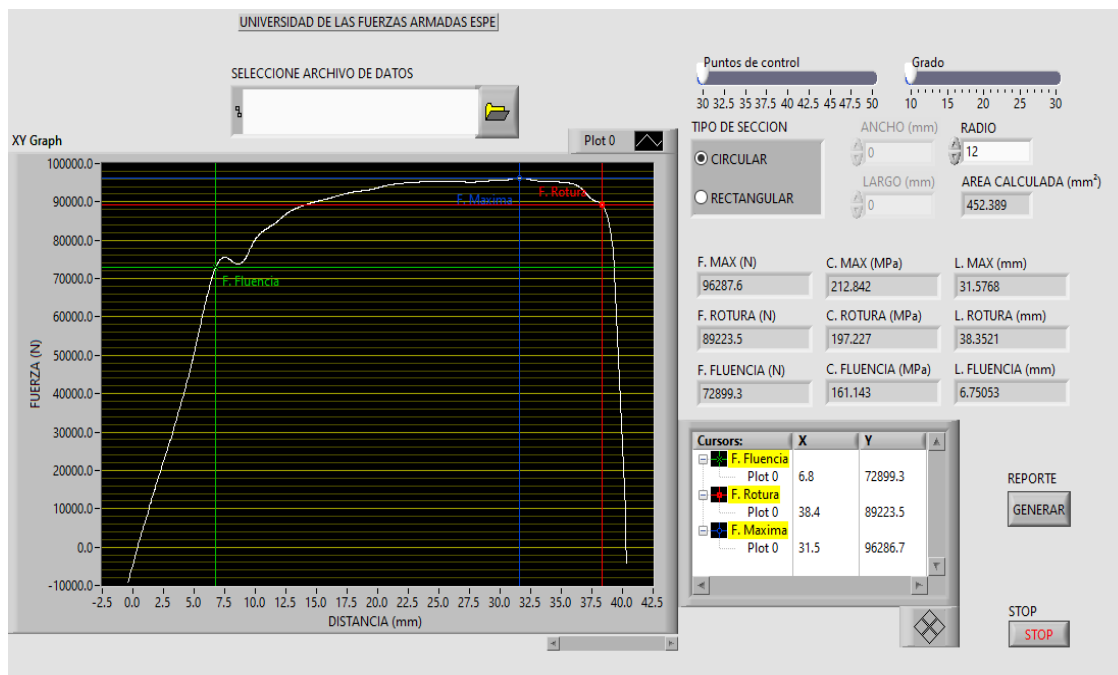
3.5. Interfaz Hombre-Máquina para la visualización de resultados en un ordenador.

Para la creación del interfaz se utilizó el software Labview, el cual consta de tres partes

1. El Panel frontal incorpora todos los indicadores y controles para que el usuario pueda ver cuando el programa esté en funcionamiento e ingrese los datos necesarios como el radio, largo y ancho de las probetas.
2. El diagrama de bloques utiliza un código gráfico G que muestran los diagramas y estructuras de programación.
3. El flujo de datos va desde las entradas y salidas a través de líneas del flujo que se aprecian como un bosquejo de sistemas, en el cual el subsistema se representa como un cuadro con entradas y salidas.

Figura 27.

Pantalla principal del interfaz hombre-máquina.



Nota. Pantalla principal permite el ingreso de las dimensiones de la probeta y visualiza los valores de los esfuerzos incluyendo el diagrama esfuerzo deformación.

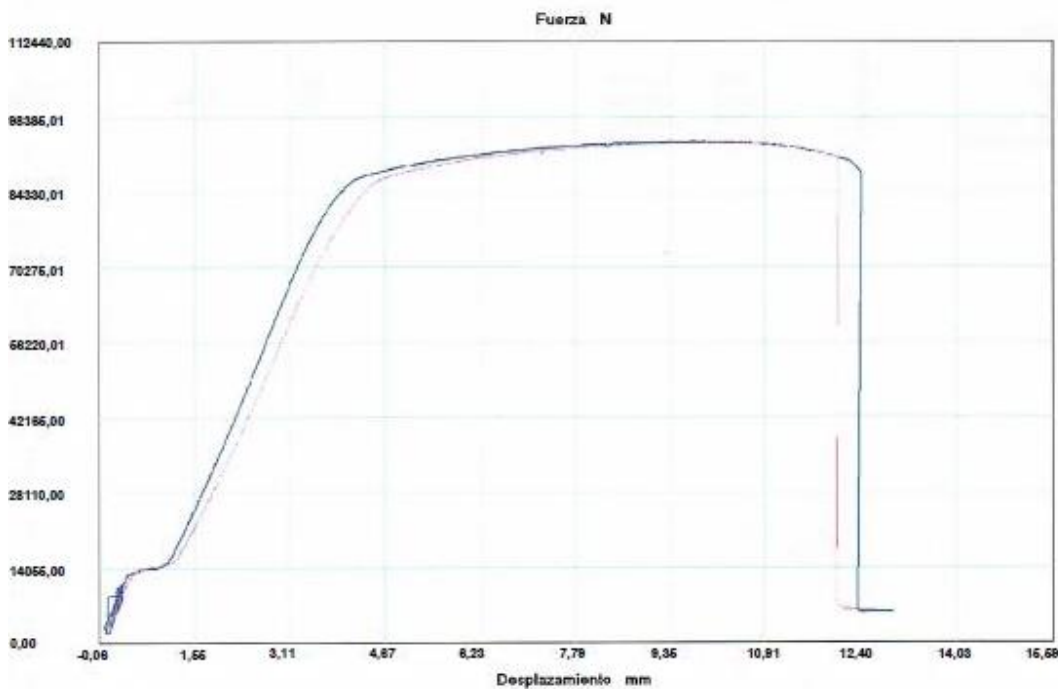
3.6. Comparación de datos de la máquina universal

Para la comparación de datos se realizó 2 ensayos de tracción en la máquina universal del centro carroceros ubicado en la ciudad de Ambato, dicha máquina cuenta con calibración bajo la norma INEN, dándonos la gráfica esfuerzo deformación del aluminio 7075 y los siguientes resultados detallados a continuación que al compararlos con los datos de la máquina Time Shijin serie WAW-600C. son muy similares.

Figura 28.

Ensayo de tracción Centro Carrocero

INFORME :		ETM 02	
ENSAYO :		TRACCION	
Referencia :	MATERIAL METALICO	SR. STALIN ESCOLA	
Cliente :		PROBETAS DE ALUMINIO	
Calidad :			
Operario :	TECNICO 1		
Norma :	ASTM E8		
Fecha :	20/12/2019		
Hora :	10:51:18		
Temperatura :	22,5		
H.R.% :	52,8		
Pedido :	100373551920191217		



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	93700,01	89750,01	84300,01	604,10	578,64	543,50
2	93550,01	90500,01	83150,01	612,37	592,41	544,30

Nota. Curva esfuerzo vs deformación aluminio 7075 en la máquina universal centro carrocero de la ciudad de Ambato.

3.7. Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción se realizó en la máquina Time Shijin serie WAW-600C, existente en el laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga previo a su respectiva calibración, para este ensayo utilizamos 9 probetas planas del aluminio 7075:

- 3 Probetas en estado de entrega
- 3 probetas con tratamiento térmico de normalizado a 300°C durante 12 minutos
- 3 probetas con tratamiento térmico de normalizado a 325°C durante 12 minutos

Figura 29.

Máquina Time Shijin serie WAW-600C.



Nota. El gráfico muestra la máquina usada para el ensayo de tensión.

Gracias a este ensayo se obtuvo los diagramas esfuerzo deformación de cada una de las probetas estudiadas, además de los valores de la fuerza máxima, fuerza de

rotura, fuerza de fluencia y con el área de la probeta los valores del esfuerzo máximo, esfuerzo de rotura y resistencia de fluencia.

Mediante la medición de cada probeta y con los cálculos pertinentes se obtuvo datos de la deformación unitaria y tenacidad.

σ es la tensión máxima del material

ε es la deformación unitaria del material

Se diseñaron tablas para detallar los datos de los ensayos de tracción obtenidos en el caso de las tres probetas en estado original sin tratamiento térmico, sacando una media de todos los datos.

3.8. Cálculo de la deformación Unitaria

La deformación unitaria se determina con la medida inicial de la parte central de la probeta en este caso $G = 50,80 \text{ mm}$ y la medida final después de realizar el ensayo de tracción, con estos datos y la ecuación de elongación calculamos la deformación unitaria.

3.9. Cálculo de la tenacidad

Otra propiedad que se puede evaluar mediante la aplicación del ensayo de tensión es la tenacidad, ya que este ensayo se implementa en condiciones de cargas cuasiestáticas (aplicando cargas de manera muy lenta). La tenacidad es la capacidad para absorber energía en el campo plástico, para este ensayo se considera que la tenacidad es el área total que se da bajo la curva de tensión deformación; la cual se encuentra mediante la aplicación de la siguiente aproximación matemática

3.10. Datos de las propiedades mecánicas de las probetas en condición Original

Tabla 13.

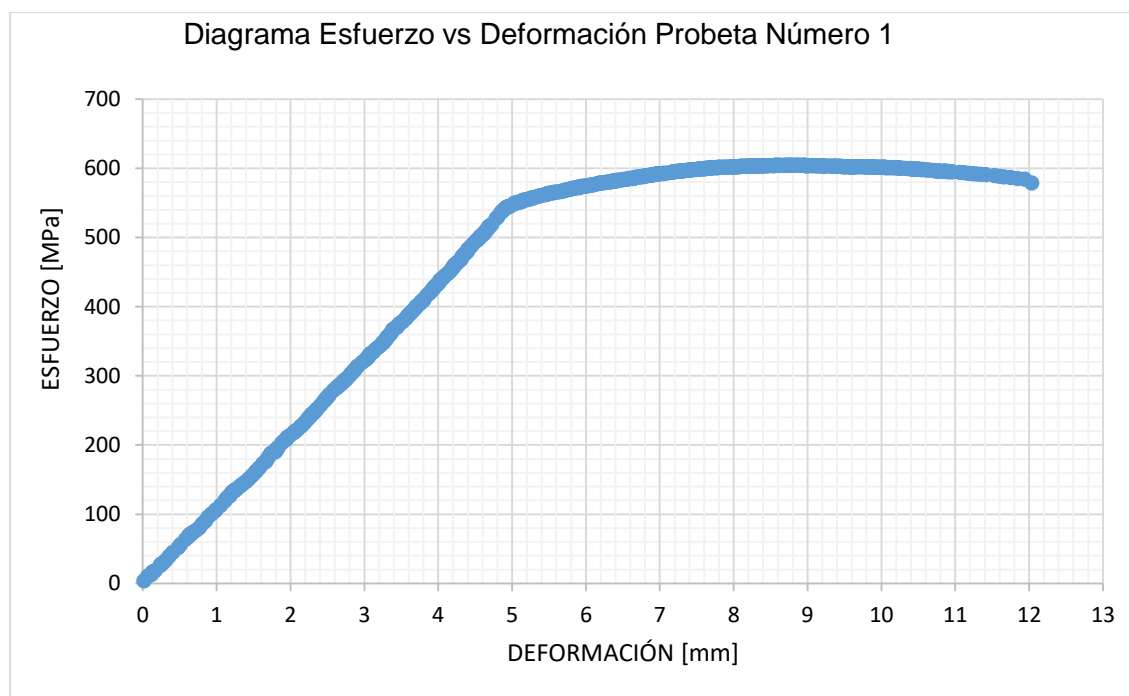
Ensayo probeta 1 sin tratamiento térmico.

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
1	604,10	578,64	543,50

Nota. La tabla representa los valores de esfuerzos de la probeta número 1

Figura 30.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 1 sin tratamiento térmico.



Nota. Diagrama Esfuerzo-Deformación de la probeta 1 sin tratamiento térmico

Cálculo deformación unitaria

$L_0 = \text{Longitud Inicial}$

$L_f = \text{Longitud Final}$

$\mathcal{E} = \text{Deformación unitaria}$

Tabla 14.

Deformación unitaria probeta 1 sin tratamiento térmico.

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
1	50,80	60,40

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 1.

$$\varepsilon = \frac{Lf - Lo}{Lo}$$

$$\varepsilon = \frac{60,40 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,189 * 100\%$$

$$\varepsilon = 18,90\%$$

Cálculo de la tenacidad

$\sigma =$ Tensión máxima del material

$\varepsilon =$ Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{604,10 \frac{N}{mm^2} * (0,189mm)^2}{2}$$

$$T = 10,79 N$$

Tabla 15.

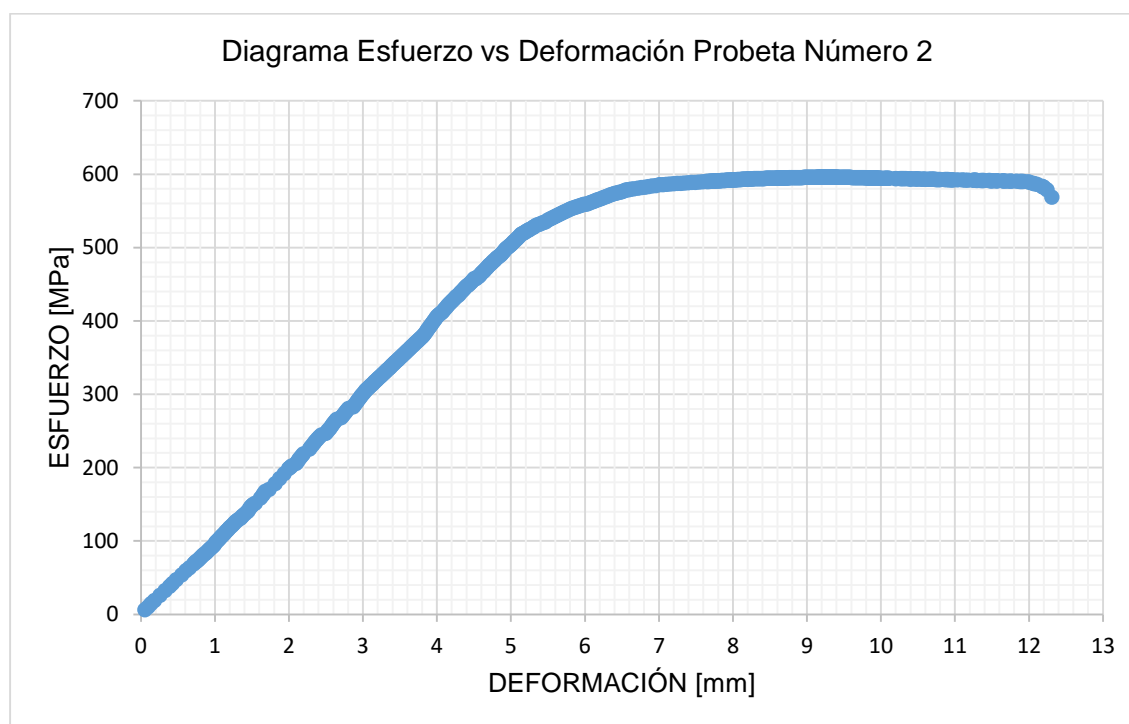
Ensayo probeta 2 sin tratamiento térmico.

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
2	596,44	568,60	517,70

Nota. La tabla representa los valores de los esfuerzos de la probeta número 2.

Figura 31.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 2 sin tratamiento térmico.



Nota. El gráfico representa los valores curva esfuerzo vs deformación de la probeta número 2

Cálculo deformación unitaria

$L_0 =$ Longitud Inicial

$L_f =$ Longitud Final

$\mathcal{E} =$ Deformación unitaria

Tabla 16.

Deformación unitaria probeta 2 sin tratamiento térmico.

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
2	50,80	60,68

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 2.

$$\varepsilon = \frac{Lf - Lo}{Lo}$$

$$\varepsilon = \frac{60,68 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,194 * 100\%$$

$$\varepsilon = 19,40\%$$

Cálculo de la tenacidad

$\sigma =$ Tensión máxima del material

$\varepsilon =$ Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{596,44 \frac{N}{mm^2} * (0,194mm)^2}{2}$$

$$T = 11,22 N$$

Tabla 17.

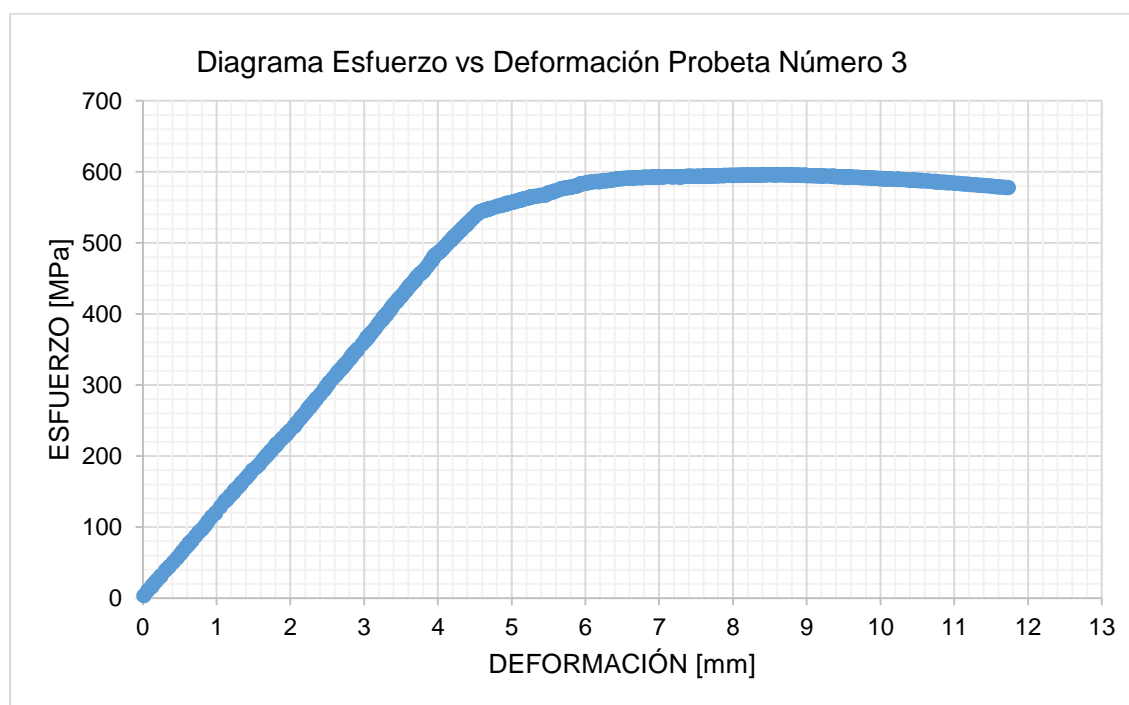
Ensayo probeta 3 sin tratamiento térmico.

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
3	596,06	572,41	544,3

Nota. La tabla representa los valores de los esfuerzos de la probeta número 3.

Figura 32.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 3 sin tratamiento térmico.



Nota. El Gráfico representa los valores de la curva esfuerzo vs deformación de la probeta número 3.

Cálculo deformación unitaria

L_o = Longitud Inicial

L_f = Longitud Final

\mathcal{E} = Deformación unitaria

Tabla 18.

Deformación unitaria probeta 3 sin tratamiento térmico.

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
3	50,80	60,82

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 3.

$$\varepsilon = \frac{Lf - Lo}{Lo}$$

$$\varepsilon = \frac{60,82 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,197 * 100\%$$

$$\varepsilon = 19,70\%$$

Cálculo de la tenacidad

$\sigma =$ Tensión máxima del material

$\varepsilon =$ Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{596,06 \frac{N}{mm^2} * (0,197mm)^2}{2}$$

$$T = 11,57 N$$

3.11. Datos de las propiedades mecánicas de las probetas con tratamiento térmico de normalizado a 300°C

Se tienen detalladamente los datos de los ensayos de tracción obtenidos en el caso de las tres probetas con tratamiento térmico a 300°C.

Tabla 19.

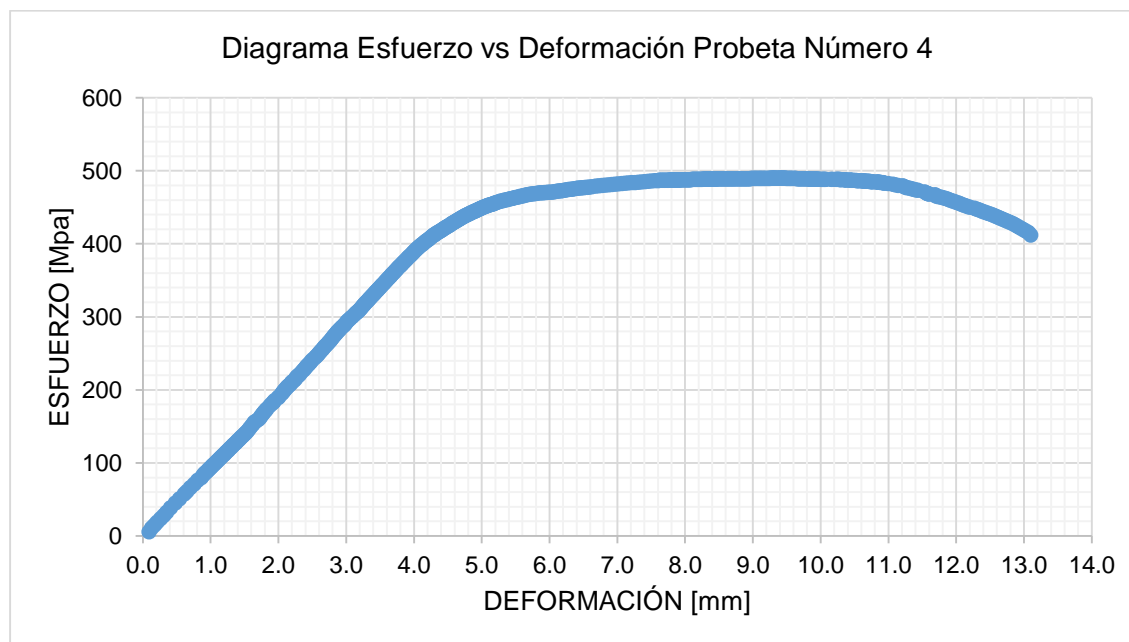
Ensayo probeta 4 con tratamiento térmico a 300° C.

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
4	480,6	412,02	406,72

Nota. La tabla representa los valores de los esfuerzos de la probeta número 4.

Figura 33.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 4 con tratamiento a 300°C.



Nota. El Gráfico representa los valores de la curva esfuerzo vs deformación de la probeta número 4.

Cálculo deformación unitaria

$L_o =$ Longitud Inicial

$L_f =$ Longitud Final

$\varepsilon =$ Deformación unitaria

Tabla 20.

Deformación unitaria probeta 1 con tratamiento térmico a 300°C

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
4	50,80	61,01

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 4.

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

$$\varepsilon = \frac{61,01 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,200 * 100\%$$

$$\varepsilon = 20,00\%$$

Cálculo de la tenacidad

$\sigma =$ Tensión máxima del material

$\varepsilon =$ Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{480,6 \frac{N}{mm^2} * (0,200mm)^2}{2}$$

$$T = 9,612 N$$

Tabla 21.

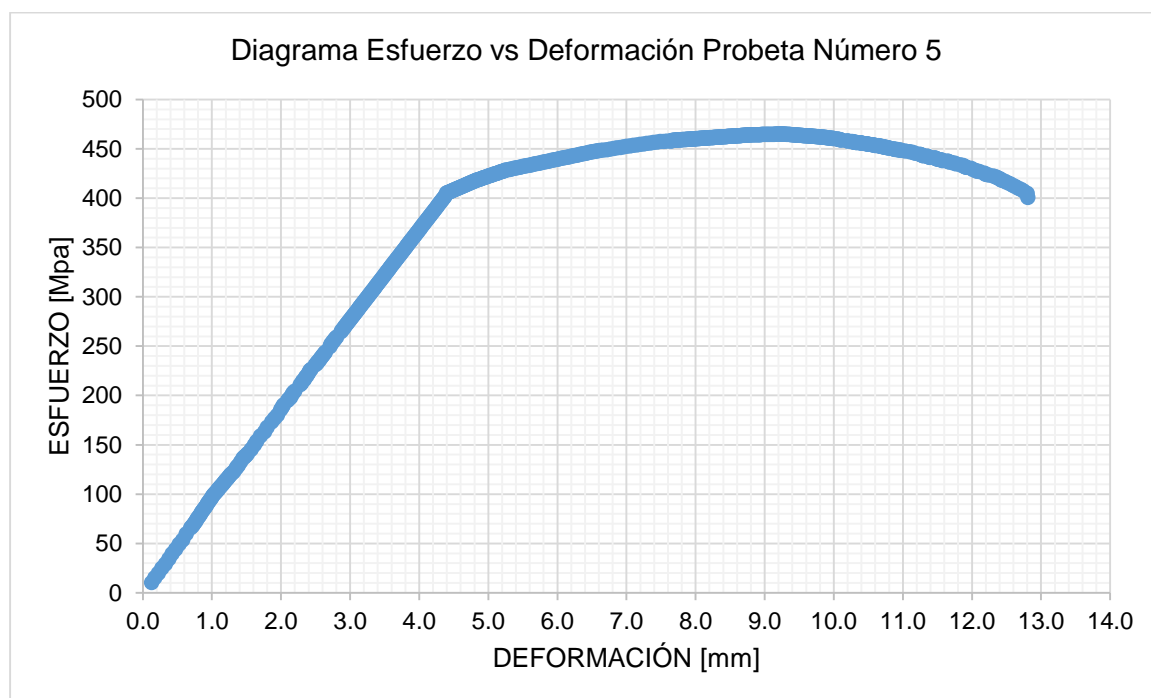
Ensayo probeta 5 con tratamiento térmico a 300°C

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
5	464,93	400,61	405,34

Nota. La tabla representa los valores de los esfuerzos de la probeta número 5.

Figura 34.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 5 con tratamiento a 300°C.



Nota: El Gráfico representa los valores de la curva esfuerzo vs deformación de la probeta número 5.

Cálculo deformación unitaria

$L_o =$ Longitud Inicial

$L_f =$ Longitud Final

$\varepsilon =$ Deformación unitaria

Tabla 22.

Deformación unitaria probeta 5 con tratamiento térmico a 300°C

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
5	50,80	61,18

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 5.

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

$$\varepsilon = \frac{61,18 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,204 * 100\%$$

$$\varepsilon = 20,40\%$$

Cálculo de la tenacidad

$\sigma =$ Tensión máxima del material

$\varepsilon =$ Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{464,93 \frac{N}{mm^2} * (0,204mm)^2}{2}$$

$$T = 9,67 N$$

Tabla 23.

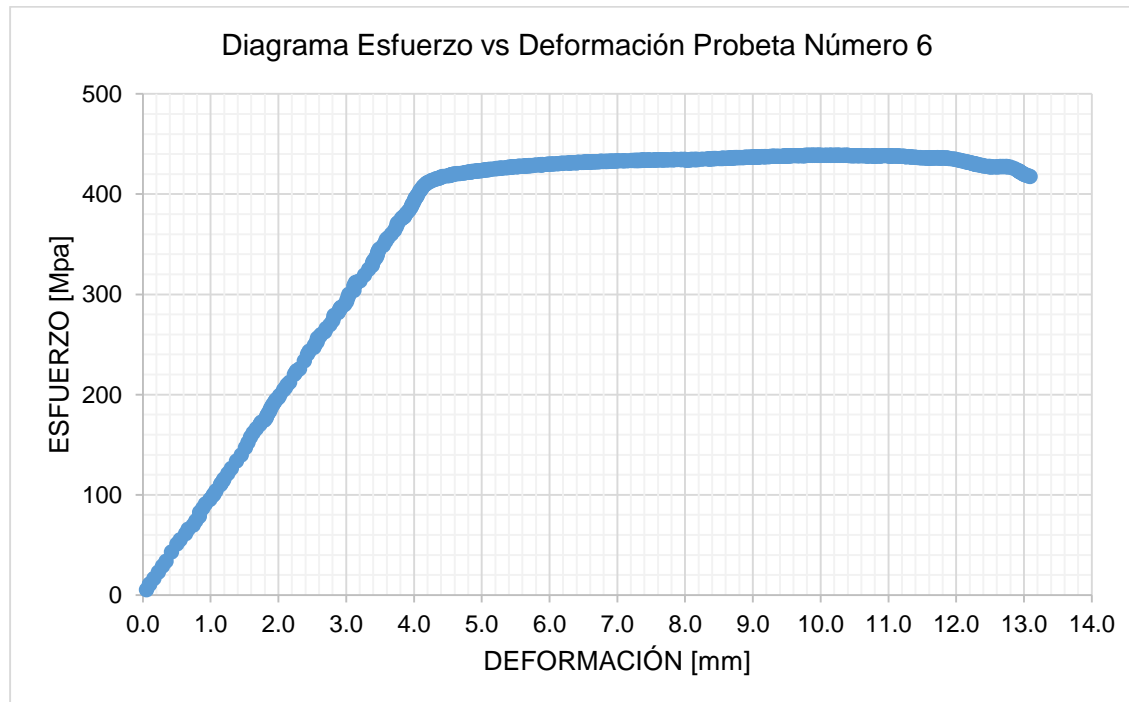
Ensayo probeta 6 con tratamiento térmico a 300°C

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
6	448,95	417,79	404,27

Nota. La tabla representa los valores de los esfuerzos de la probeta número 6.

Figura 35.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 6 con tratamiento a 300°C.



Nota. El Gráfico representa los valores de la curva esfuerzo vs deformación de la probeta número 6.

Cálculo deformación unitaria

$L_o =$ Longitud Inicial

$L_f =$ Longitud Final

$\varepsilon =$ Deformación unitaria

Tabla 24.

Deformación unitaria probeta 6 con tratamiento térmico a 300°C

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
6	50,40	61,37

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 6.

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

$$\varepsilon = \frac{61,37 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,208 * 100\%$$

$$\varepsilon = 20,80\%$$

Cálculo de la tenacidad

$\sigma =$ Tensión máxima del material

$\varepsilon =$ Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{448,95 \frac{N}{mm^2} * (0,208mm)^2}{2}$$

$$T = 9,71 N$$

3.12. Datos de las propiedades mecánicas de las probetas con tratamiento térmico de normalizado a 325°C

En la Tabla 25,26 y 27 se tienen detalladamente los datos de los ensayos de tracción obtenidos en el caso de las tres probetas con tratamiento térmico a 325°C, sacando una media de todos los datos.

Tabla 25.

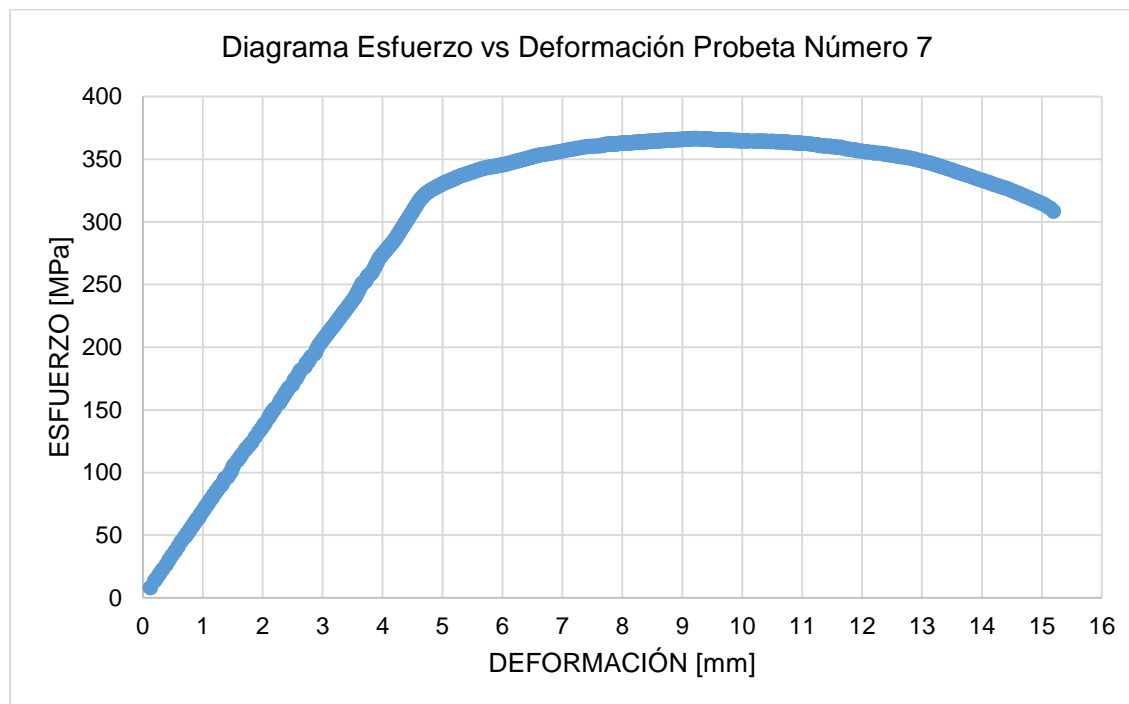
Ensayo probeta 7 con tratamiento térmico a 325°C

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
7	366,5	308,71	319,19

Nota. La tabla representa los valores de los esfuerzos de la probeta número 7.

Figura 36.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 7 con tratamiento a 325°C.



Nota. El Gráfico representa los valores de la curva esfuerzo vs deformación de la probeta número 7.

Cálculo deformación unitaria

L_o = Longitud Inicial

L_f = Longitud Final

ε = Deformación unitaria

Tabla 26.

Deformación unitaria probeta 7 con tratamiento térmico a 325°C

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
7	50,40	62,30

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 7.

$$\varepsilon = \frac{Lf - Lo}{Lo}$$

$$\varepsilon = \frac{62,30 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,226 * 100\%$$

$$\varepsilon = 22,60\%$$

Cálculo de la tenacidad

σ = Tensión máxima del material

ε = Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{366,5 \frac{N}{mm^2} * (0,226mm)^2}{2}$$

$$T = 9,36 N$$

Tabla 27.

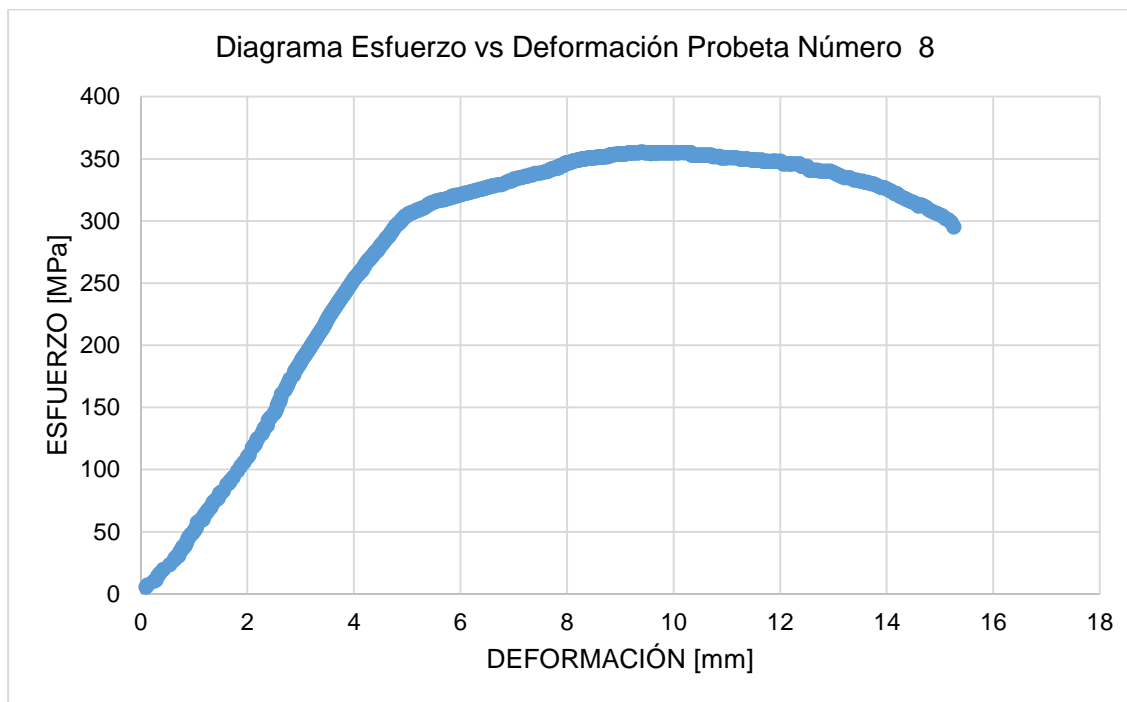
Ensayo probeta 8 con tratamiento térmico a 325°C

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
8	355,27	295,43	306,49

Nota. La tabla representa los valores de los esfuerzos de la probeta número 8.

Figura 37.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 8 con tratamiento a 325°C.



Nota. El Gráfico representa los valores de la curva esfuerzo vs deformación de la probeta número 8.

Cálculo deformación unitaria

$L_o = \text{Longitud Inicial}$

$L_f = \text{Longitud Final}$

$\mathcal{E} = \text{Deformación unitaria}$

Tabla 28.

Deformación unitaria probeta 8 con tratamiento térmico a 325°C

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
8	50,40	62,51

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 8.

$$\varepsilon = \frac{Lf - L_0}{L_0}$$

$$\varepsilon = \frac{62,51 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,230 * 100\%$$

$$\varepsilon = 23,00\%$$

Cálculo de la tenacidad

σ = Tensión máxima del material

ε = Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{355,27 \frac{N}{mm^2} * (0,230mm)^2}{2}$$

$$T = 9,40 N$$

Tabla 29.

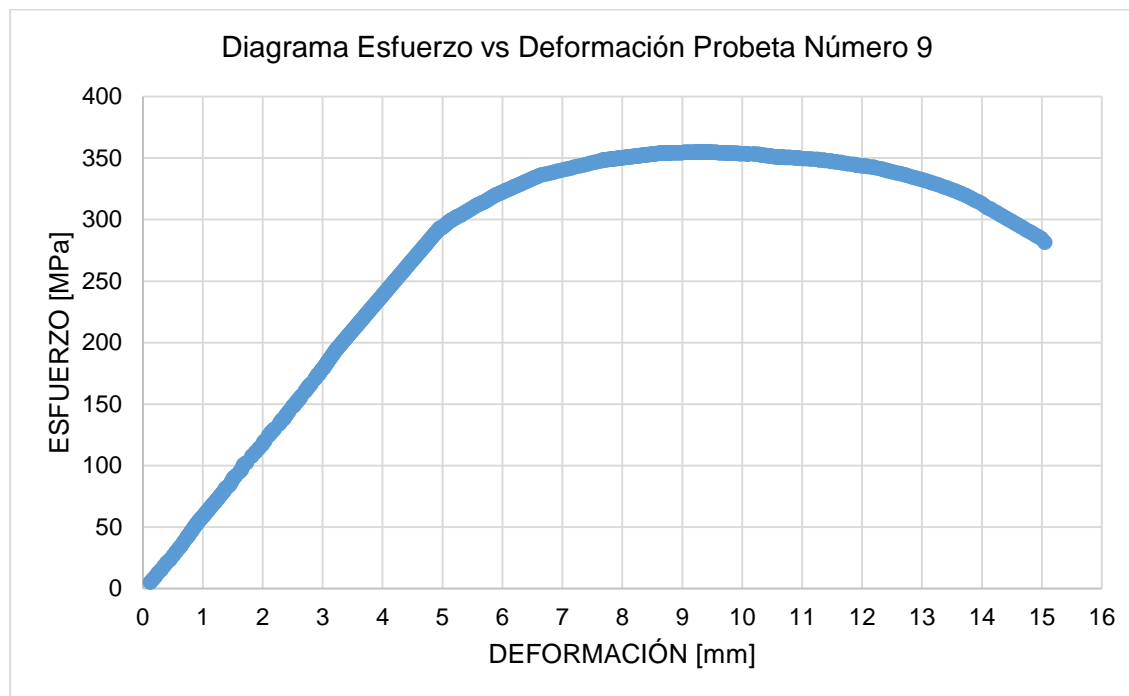
Ensayo probeta 9 con tratamiento térmico a 325°C

Probetas	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Resistencia de fluencia [Mpa]
9	355,16	281,71	293,56

Nota. La tabla representa los valores de los esfuerzos de la probeta número 9.

Figura 38.

Diagrama esfuerzo vs deformación probeta 9 con tratamiento a 325°C



Nota. El Gráfico representa los valores de la curva esfuerzo vs deformación de la probeta número 9.

Tabla 30.

Deformación unitaria probeta 9 con tratamiento térmico a 325°C

Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)
9	50,40	62,64

Nota. La tabla representa el valor de longitud inicial y final de la probeta número 9.

$$\varepsilon = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

$$\varepsilon = \frac{62,64 - 50,80}{50,80}$$

$$\varepsilon = 0,233 * 100\%$$

$$\varepsilon = 23,30\%$$

Cálculo de la tenacidad

$\sigma =$ Tensión máxima del material

$\varepsilon =$ Deformación unitaria del material

$$T = \int_0^{\varepsilon} \sigma(\varepsilon) d\varepsilon$$

$$T = \frac{\sigma * \varepsilon^2}{2}$$

$$T = \frac{355,16 \frac{N}{mm^2} * (0,233mm)^2}{2}$$

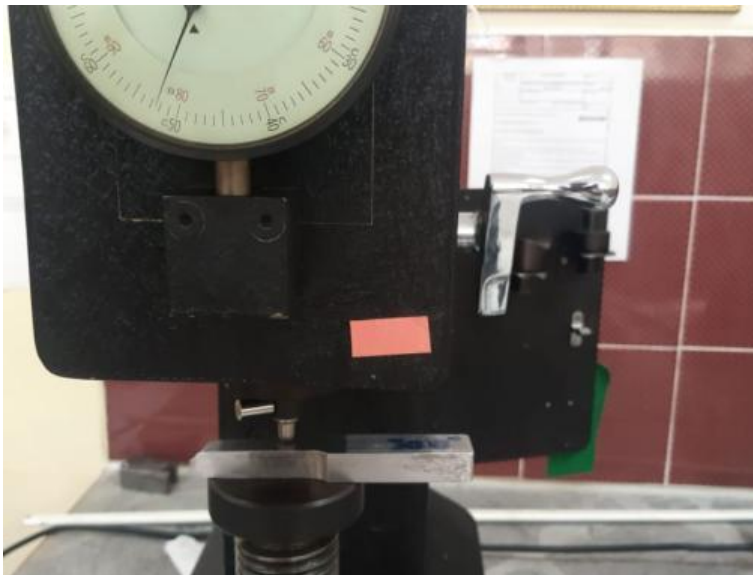
$$T = 9,64 N$$

3.13. Ensayo de dureza Rockwell

El ensayo de Dureza se realizó en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-Sangolquí, con el durómetro de marca WILSON. Para obtener resultados confiables se tomaron cinco datos del aluminio sin tratamiento térmico de la misma manera cinco datos del aluminio tratado a 300 °C y cinco datos del aluminio tratado a 325 °C y al momento de realizar el ensayo se utilizó una carga de 100 kg con una bola de 1/16 de pulgada.

Figura 39.

Toma de datos de Dureza Rockwell.



Nota. En la imagen se muestra como se realizó la toma de datos de dureza Rockwell B en las muestras de las probetas de Aluminio 7075.

Para resumir e indicar los datos obtenidos se realizó la Tabla 31 en la cual se puede identificar la variación de la dureza en cada condición de temperatura y un promedio de los resultados para cada condición.

Tabla 31.

Datos obtenidos del ensayo de dureza Rockwell.

	Probeta Original	Probeta a 300 °C	Probeta a 325 °C
Prueba	Valor	Valor	Valor
1	93	75	58
2	93,5	78	60
3	93	81	59
4	94,5	81,5	58,5
5	96	82	57
Promedio	94	79,5	58,5

Nota. En la tabla se indica los valores obtenidos al finalizar el ensayo de dureza Rockwell B.

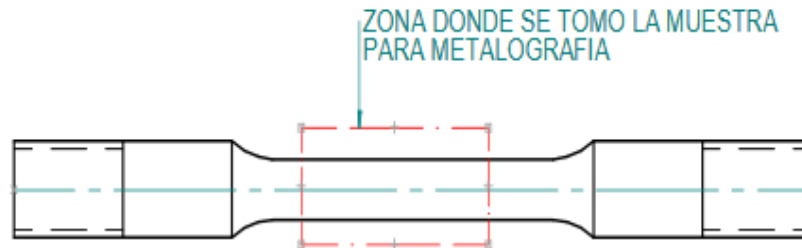
3.14. Análisis Metalográfico

Estos ensayos se realizaron en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE para lo cual fue necesario tomar una muestra de cada una de las probetas luego de haber sido sometidas al ensayo de tracción.

Las muestras fueron tomadas 1 cm antes de la rotura de la probeta como se indica en la Figura 39.

Figura 40.

Zona donde se tomó las muestras para metalografía



Nota. La imagen muestra la zona donde se realizó el corte de la muestra para el análisis metalográfico.

3.14.1. Corte de Probetas

Para realizar el análisis microestructural del Aluminio 7075 se cortó muestras de las probetas en las tres condiciones diferentes como son: en estado original y con tratamiento térmico a 300°C y 325°C.

Figura 41.

Máquina cortadora.



Nota. La imagen muestra la máquina donde se realizó el corte de la muestra para el análisis metalográfico.

3.14.2. Semipulido

Con las muestras se procedió a realizar el lijado logrando tener una superficie plana y semipulida en el lado a estudiar, utilizando lijas desde la 240, 360, 400, 600

Figura 42.

Semipulido.



Nota. En la figura se ve los diferentes números de lijas que ocupamos para el semipulido de la muestra.

3.14.3. Pulido especular

Para pasar al pulido eliminando todas las rayas existentes mediante un paño de brillar y alúmina fina en la máquina BUEHLER ECOMET,

Figura 43.

Pulido especular.



Nota. En la figura se muestra el pulido especular que se realizó a la muestra, para que esta tenga un área con menores imperfecciones.

3.14.4. Ataque Químico

Llegando al momento del ataque químico para lo cual se utilizó el reactivo para aluminio compuesto con reactivo 2 ml HF (40%), 3 ml HCL (38%), 5 ml de HNO₃(70%) y 190 ml H₂O por 20 segundos.

Figura 44.

Ataque Químico.



Nota. En la Figura se observa la composición del ataque químico que se realizó a la muestra

3.14.5. Secado

Para evitar que se tenga residuos del compuesto químico y que esto interfiera al momento de realizar la observación por el microscopio se procede a secar la muestra.

Figura 45.

Secado.



Nota. En la figura se ve la máquina que se utilizó para realizar el sacado de la muestra.

3.14.6. Vista Microscópica

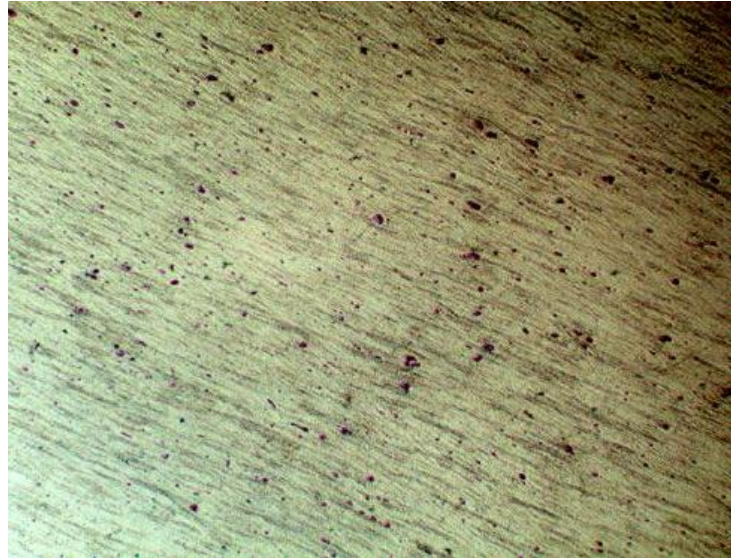
Este análisis se realizó en el laboratorio de resistencia de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE utilizando el microscopio de marca MEIJI TECHNO

Mediante el microscopio de marca MEIJI TECHNO se observó las muestras de aluminio con un aumento de 200X, 500X dando a conocer las características metalográficas del aluminio 7075.

Desde la figura 45 hasta la 50 se observan las imágenes de las muestras con un aumento de 200X y 500X de la aleación de aluminio 7075 en estado original y tratadas térmicamente a 300 y 325 grados centígrados.

Figura 46.

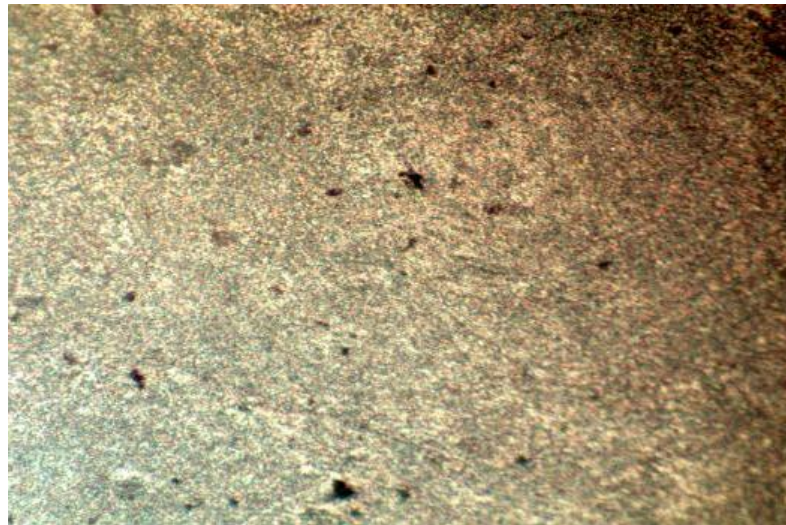
Aumento a 200X de la muestra sin tratamiento térmico.



Nota. En la imagen se muestra una fotografía de la muestra sin tratamiento térmico vista con el microscopio con un aumento de 200X.

Figura 47.

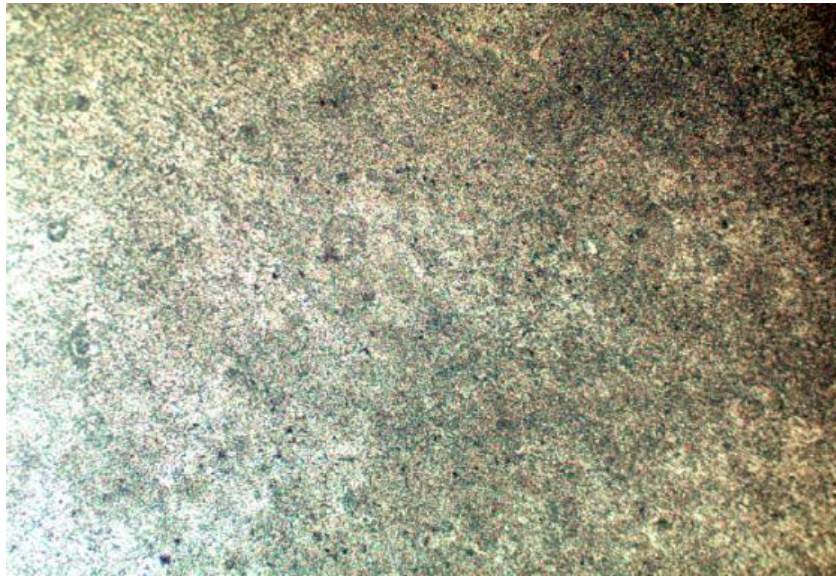
Aumento a 500X de la muestra sin tratamiento térmico.



Nota. En la imagen se muestra una fotografía de la muestra sin tratamiento térmico vista con el microscopio con un aumento de 500X.

Figura 48.

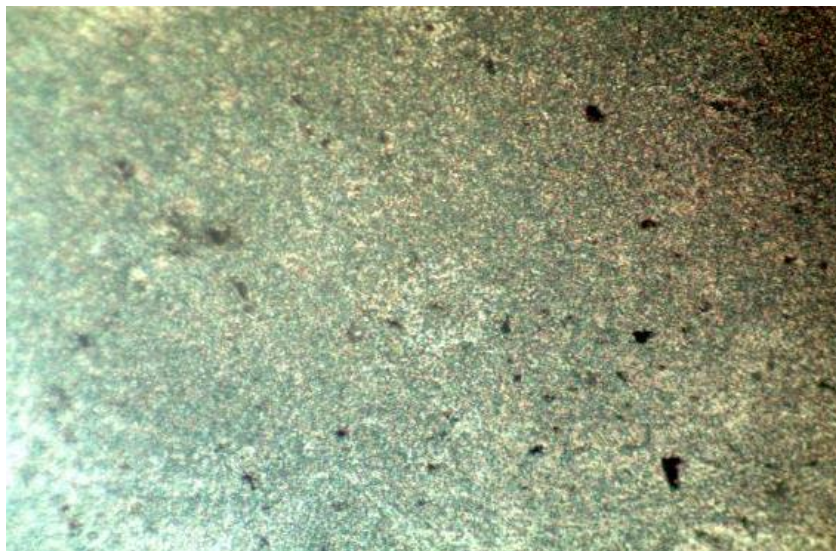
Aumento a 200X de la muestra con tratamiento térmico a 300°C.



Nota. En la imagen se muestra una fotografía de la muestra con tratamiento térmico de normalizado a 300°C vista con el microscopio con un aumento de 200X.

Figura 49.

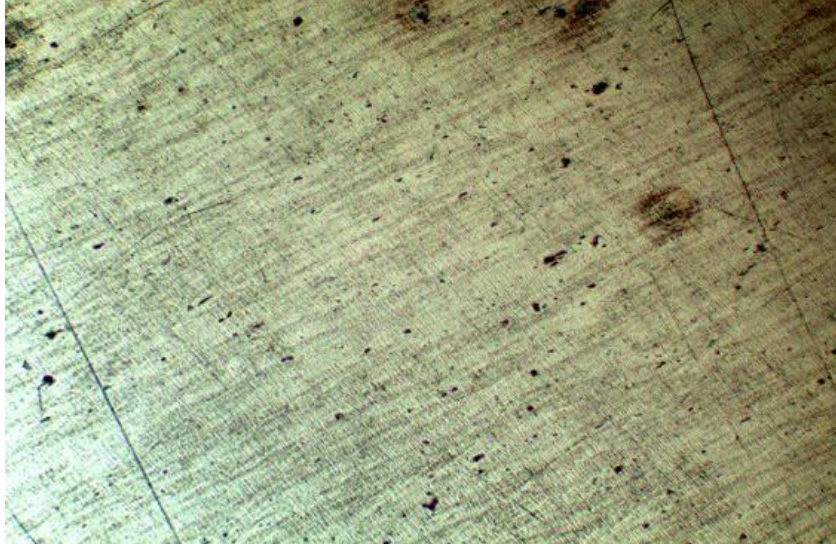
Aumento a 500X de la muestra con tratamiento térmico a 300°C.



Nota. En la imagen se muestra una fotografía de la muestra con tratamiento térmico de normalizado a 300°C vista con el microscopio con un aumento de 500X.

Figura 50.

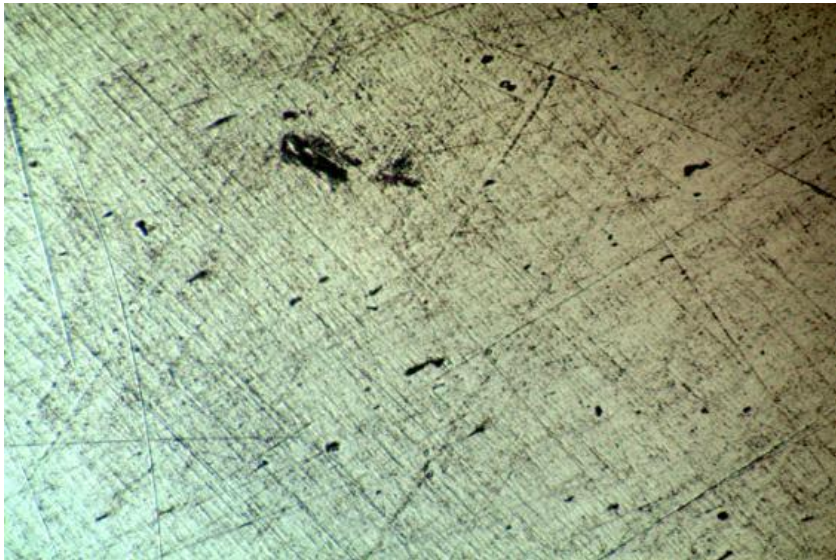
Aumento a 200X de la muestra con tratamiento térmico a 325°C.



Nota. En la imagen se muestra una fotografía de la muestra con tratamiento térmico de normalizado a 325°C vista con el microscopio con un aumento de 200X.

Figura 51.

Aumento a 500X de la muestra con tratamiento térmico a 325°C.



Nota. En la imagen se muestra una fotografía de la muestra con tratamiento térmico de normalizado a 325°C vista con el microscopio con un aumento de 500X.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Ensayo de Tracción

El ensayo de tracción se efectuó en los laboratorios de ciencias de los materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas “ESPE” Extensión Latacunga. Para esta prueba se llevó a cabo en nueve probetas del material aluminio 7075, tres probetas en estado original, tres probetas con un tratamiento térmico de normalizado a 300° Celsius y las restantes a 325° Celsius.

Con este ensayo de tensión se logró determinar la curva esfuerzo vs deformación para poder obtener esfuerzos máximos de rotura y de fluencia.

En la Tabla 32 se observa el resumen de los datos obtenidos del ensayo de Tensión de las probetas sin ningún tipo de tratamiento, incluyendo el cálculo de la desviación estándar.

Tabla 32.

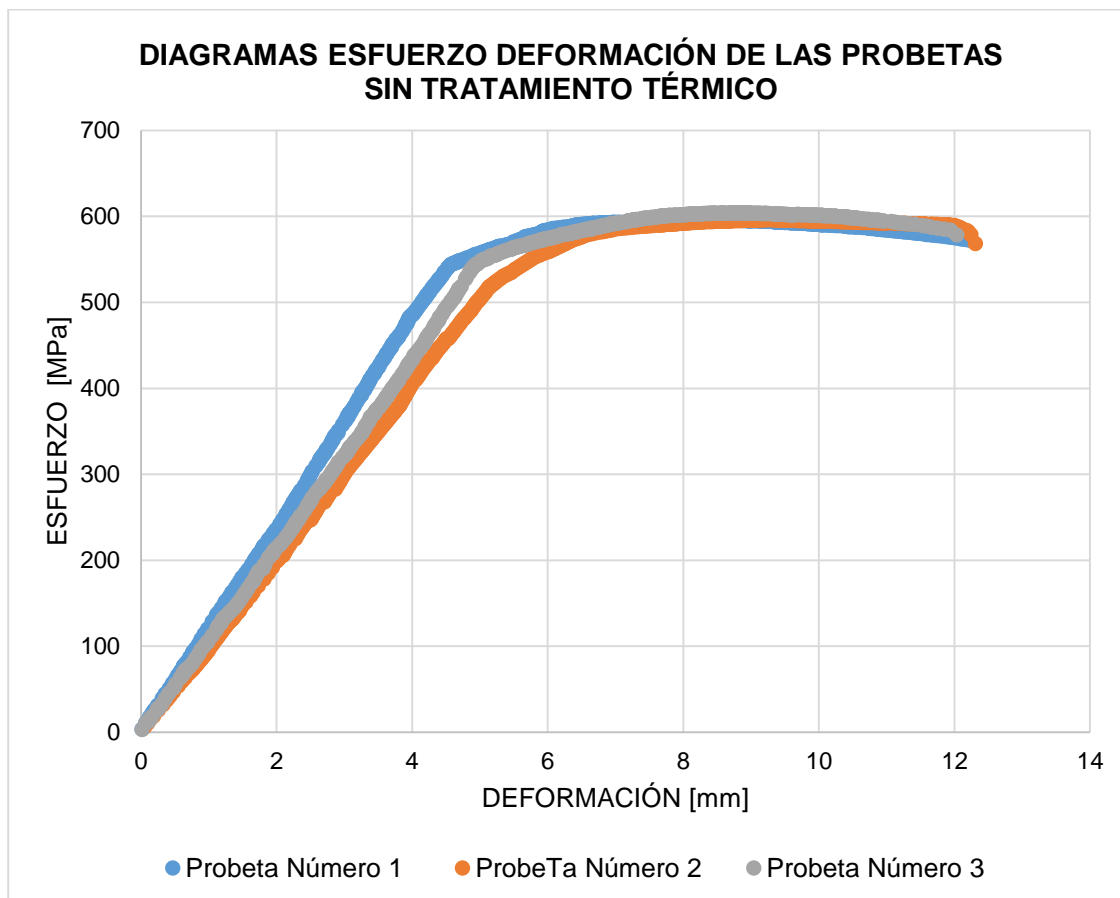
Propiedades mecánicas de las probetas sin tratamiento Térmico.

PROBETAS EN ESTADO ORIGINAL			
Número de Probeta	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Esfuerzo de fluencia [Mpa]
1	604,1	578,64	543,5
2	596,44	568,6	517,7
3	596.06	572.41	544.5
Media	598,87	573,22	535,17
Desviación Estándar	4,536180478	5,068375808	15,13186483

Nota. Esta tabla indica los valores de esfuerzos máximos de rotura y de fluencia en las probetas sin tratamiento térmico.

Figura 52.

Diagrama comparativo de las probetas sin tratamiento térmico.



Nota. El Gráfico representa la desviación de las curvas esfuerzo vs deformación de las probetas 1,2 y 3 que no son tratadas térmicamente.

En la Figura 51 se observa las tres gráficas esfuerzo vs deformación de las probetas 1,2 y 3 se observa un ligero cambio de los esfuerzos para ello se optó a calcular la desviación estándar teniendo máximo valor de desviación en lo que es el esfuerzo de resistencia a la fluencia con un valor de desviación de 15,13 se puede decir que el valor aun es confiable para futuros estudios.

En la Tabla 33 se observa los datos obtenidos del ensayo de tensión en la probeta con tratamiento térmico Normalizado a 300° Celsius.

Tabla 33.

Propiedades mecánicas de las probetas con tratamiento térmico a 300° C.

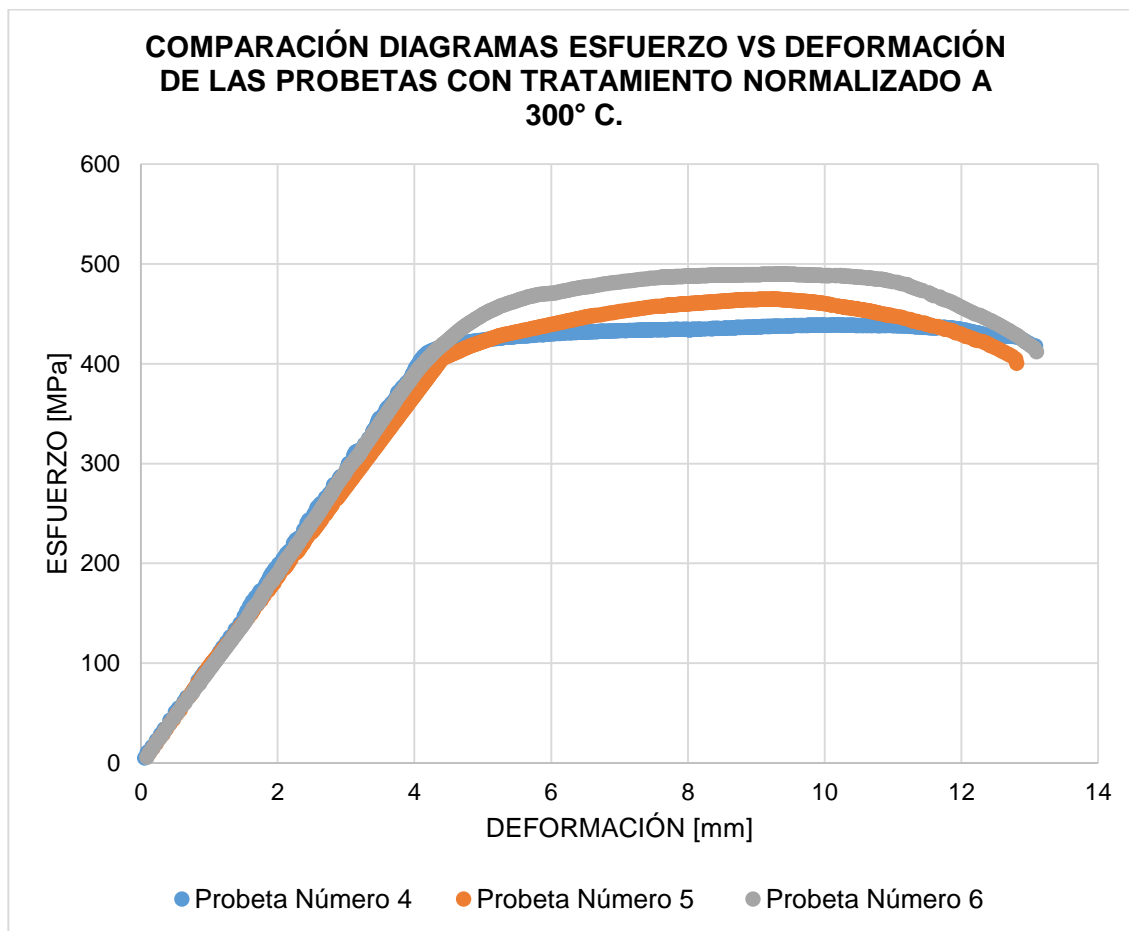
PROBETAS A 300° CELSIUS			
Número de Probeta	Esfuerzo Máximo [Mpa]	Esfuerzo de Rotura [Mpa]	Esfuerzo de fluencia [Mpa]
4	480,6	412,02	406,72
5	464,83	400,61	405,34
6	448.95	417.79	404.27
Media	464,79	410,14	405,44
Desviación Estándar	15,82503186	8,74293429	1,228264358

Nota. Esta tabla indica los valores de los esfuerzos en las probetas con tratamiento térmico Normalizado a 300° Celsius.

En la Figura 52 se puede observar los 3 diagramas esfuerzo vs deformación de las probetas 4,5 y 6 con tratamiento de normalizado a 300 ° Celsius.

Figura 53.

Diagrama comparativo de las probetas con tratamiento a 300° C.



Nota. El gráfico representa la desviación de las curvas esfuerzo vs deformación de las probetas 4,5 y 6 con tratamiento térmico de normalizado.

Se observa las tres gráficas esfuerzo vs deformación con un ligero cambio de los esfuerzos para ello se optó a calcular la desviación estándar teniendo máximo valor de desviación en lo que es el Esfuerzo Máximo con un valor de desviación de 15,83 se puede decir que el valor es confiable.

En la Tabla 34 se observa los datos obtenidos del ensayo de tensión de las Probetas con tratamiento térmico de Normalizado a 325° Celsius.

Tabla 34.

Propiedades mecánicas de las probetas con tratamiento Térmico a 325°C.

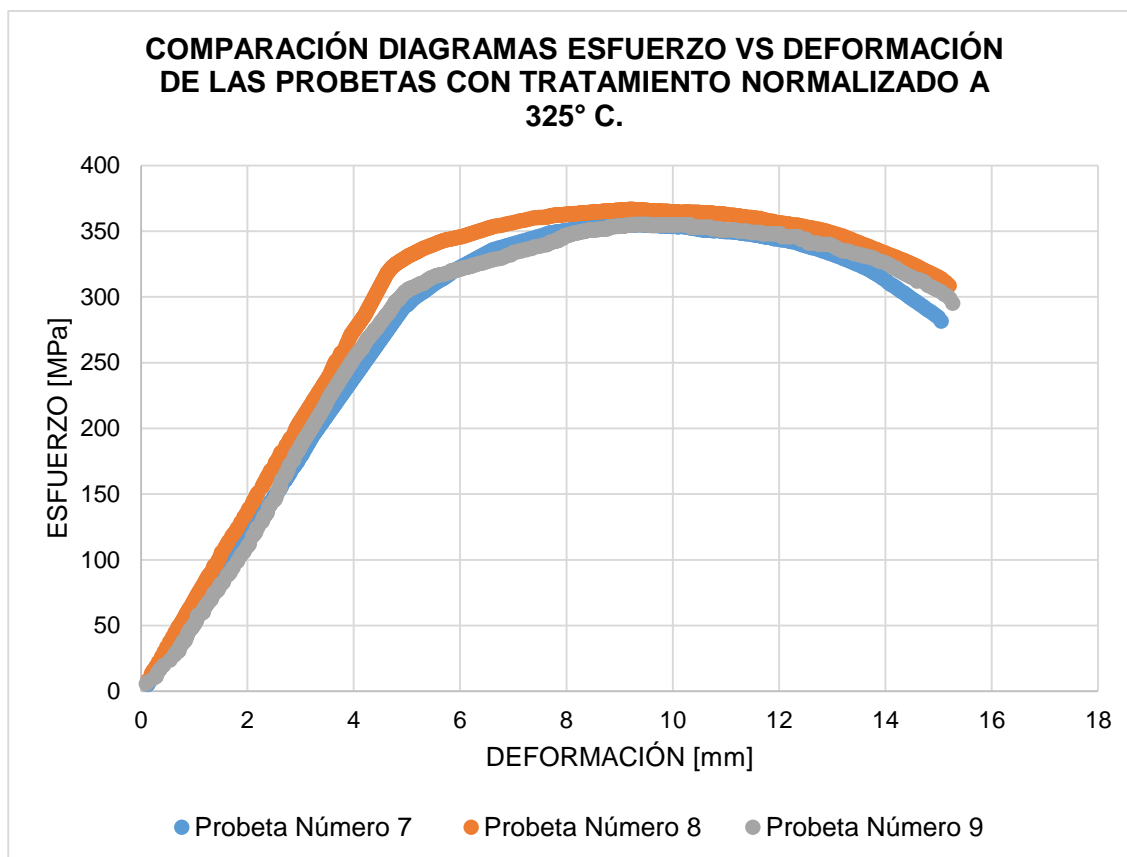
PROBETAS A 325°C			
Número de	Esfuerzo Máximo	Esfuerzo de Rotura	Esfuerzo de
Probeta	[Mpa]	[Mpa]	fluencia [Mpa]
7	366,5	308,71	319,19
8	355,27	295,43	306,49
9	355,16	281,71	293,56
Media	358,98	295,28	306,41
Desviación	6,515629926	13,50059752	12,815172
Estándar			

Nota. Esta tabla indica los valores de los Esfuerzos en las probetas tratadas térmicamente a 325° Celsius.

En la figura 53 que a continuación se detalla se puede observar la variación estándar de los tres diagramas esfuerzo deformación de las probetas con tratamiento de normalizado a 325° Celsius.

Figura 54.

Diagrama comparativo de las probetas con tratamiento a 325° C.



Nota. El Gráfico representa la desviación de las curvas esfuerzo vs deformación de las probetas 7,8 y 9 con tratamiento térmico de normalizado.

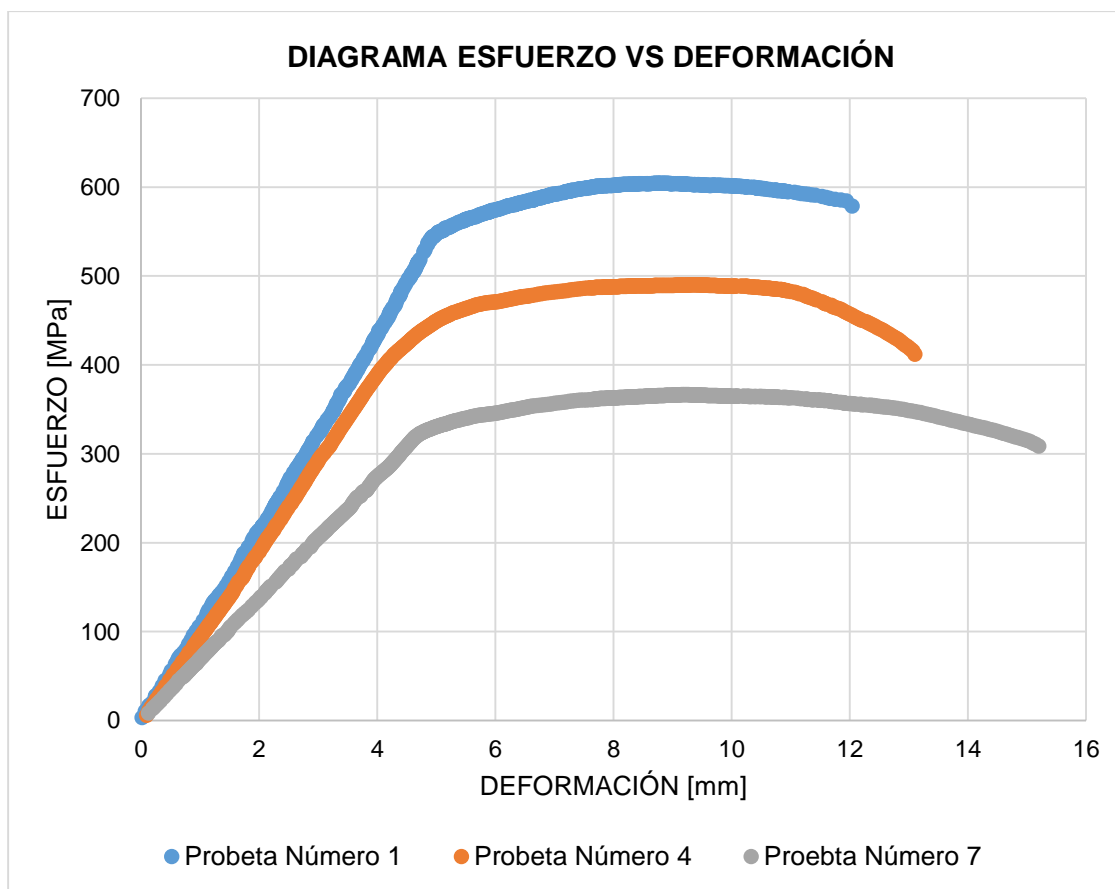
Se observa las tres gráficas esfuerzo vs deformación de las probetas 7,8 y 9 con un ligero cambio de los esfuerzos para ello se optó a calcular la desviación estándar teniendo máximo valor de desviación en lo que es el esfuerzo de rotura con un valor de desviación de 13,5 se puede decir que el valor es confiable.

4.2. Análisis comparativo de las propiedades mecánicas del aluminio

En la figura 54 se observa la comparación de las probetas 1,4 y 7 en su estado original y con tratamiento térmico de normalizado a 300 y 325° Celsius respectivamente.

Figura 55.

Diagrama comparativo de las probetas en diferentes condiciones 1,4,7.



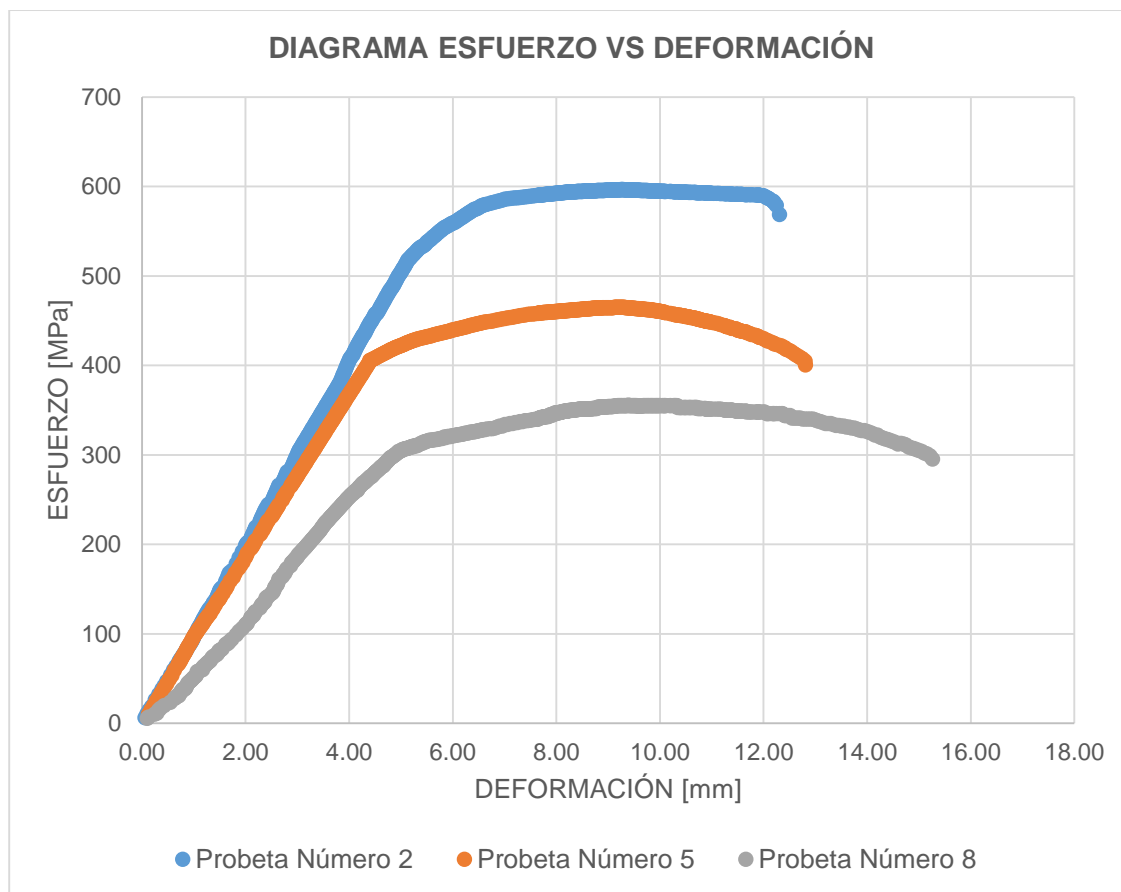
Nota. El gráfico representa el cambio en las curvas esfuerzo vs deformación de las 1,4 y 7

En ella se puede observar como la probeta número 1 es decir la que no tienen ningún tratamiento térmico es la que soporta mayores esfuerzos, incluso las probetas 4 y 7 tienen mayor alargamiento.

En la figura 55 se realiza la comparación de las probetas 2,5 y 8 sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico de normalizado a 300 y 325° Celsius respectivamente.

Figura 56.

Diagrama comparativo de las probetas en diferentes condiciones 2,5, 8.



Nota. El Gráfico representa el cambio en las curvas esfuerzo vs deformación de las 2,5 y 8.

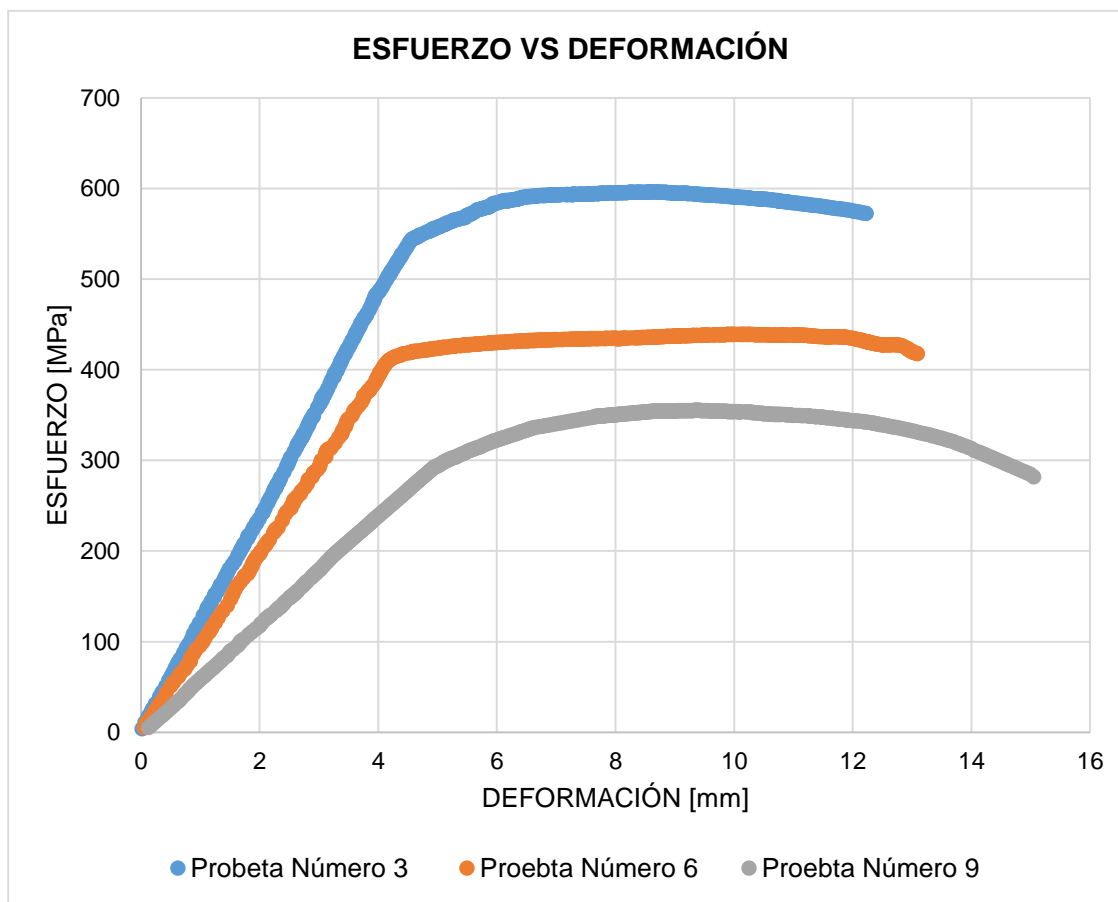
Se observa que la probeta número 8 y 5 que tienen tratamiento térmico de normalizado prolongan más su deformación a comparación de la probeta número dos que está en su estado original.

También se puede apreciar como la curva esfuerzo vs deformación de la probeta numero dos es la que mayor carga soporta a comparación de las que están tratadas térmicamente.

En la figura 56 se realiza la comparación de las probetas 3,6 Y 9 sin tratamiento térmico y con tratamiento térmico de normalizado a 300 y 325° Celsius respectivamente.

Figura 57.

Diagrama comparativo de las probetas en diferentes condiciones 3,6,9.



Nota. El gráfico representa el cambio en las curvas esfuerzo vs deformación de las 3,6 y 9.

En el diagrama esfuerzo vs deformación se observa como la probeta número 3 es la que supera en carga a las probetas 6 y 9 al mismo tiempo que la probeta número 6 que tienen un tratamiento térmico de normalizado de 300° Celsius supera a la de 325° Celsius.

Es decir que a medida que aumentó la temperatura la carga que soporta la probeta disminuye y la deformación aumenta.

4.3. Análisis del Porcentaje de elongación de las Probetas.

Teniendo en cuenta que los valores de las elongaciones se tomaron antes de realizar el ensayo de tensión colocando referencias para obtener la longitud inicial y final de la probeta.

La tabla 35 se detalla los valores de porcentaje de elongación de la probeta en estado original.

Tabla 35.

Valores de elongación en las probetas 1,2 y 3 en estado Original.

PROBETA EN ESTADO ORIGINAL			
Número de Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Elongación(%)
1	50,8	60,82	20%
2	50,8	60,68	19%
3	50,8	60,4	19%
Promedio	50,8	60,63	19%
Desviación Estándar del porcentaje de Elongación			0,21

Nota. En la tabla se muestra los valores de elongación que tuvieron las probetas en estado original.

Tenemos que el promedio de porcentaje de elongación es de 19% es decir que las probetas sin tratamiento térmico tienden a alargarse un 19% de su medida al realizar el ensayo de tensión.

La tabla 36 se detallan los valores de porcentaje de elongación de la probeta con un tratamiento de Normalizado a 300° Celsius.

Tabla 36.

Valores de elongación en las probetas 4,5 y 6 a 300° C.

PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO NORMALIZADO A 300° CELSIUS			
Número de Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Elongación(%)
4	50,8	61,01	20%
5	50,8	61,18	20%
6	50,8	61,37	21%
Promedio	50,8	61,19	20%
Desviación Estándar del porcentaje de Elongación			0,18

Nota. En la tabla se muestra los valores de elongación que tuvieron las probetas con tratamiento normalizado a 300°Celsius.

Tenemos que el promedio de porcentaje de elongación es de 20% es decir que las probetas con tratamiento térmico de normalizado a 300° Celsius tienden a alargarse un 20% de su medida al realizar el ensayo de tensión.

La tabla 37 se detallan los valores de porcentaje de elongación de la probeta con un tratamiento de Normalizado a 325° Celsius.

Tabla 37.

Valores de elongación en las probetas 4,5 y 6 a 325° C.

PROBETA CON TRATAMIENTO TÉRMICO NORMALIZADO A 325° CELSIUS			
Número de Probeta	Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Elongación(%)
7	50,8	62,51	23%
8	50,8	62,3	23%
9	50,8	60,64	19%
Promedio	50,8	61,817	22%
Desviación Estándar del porcentaje de Elongación			1,02

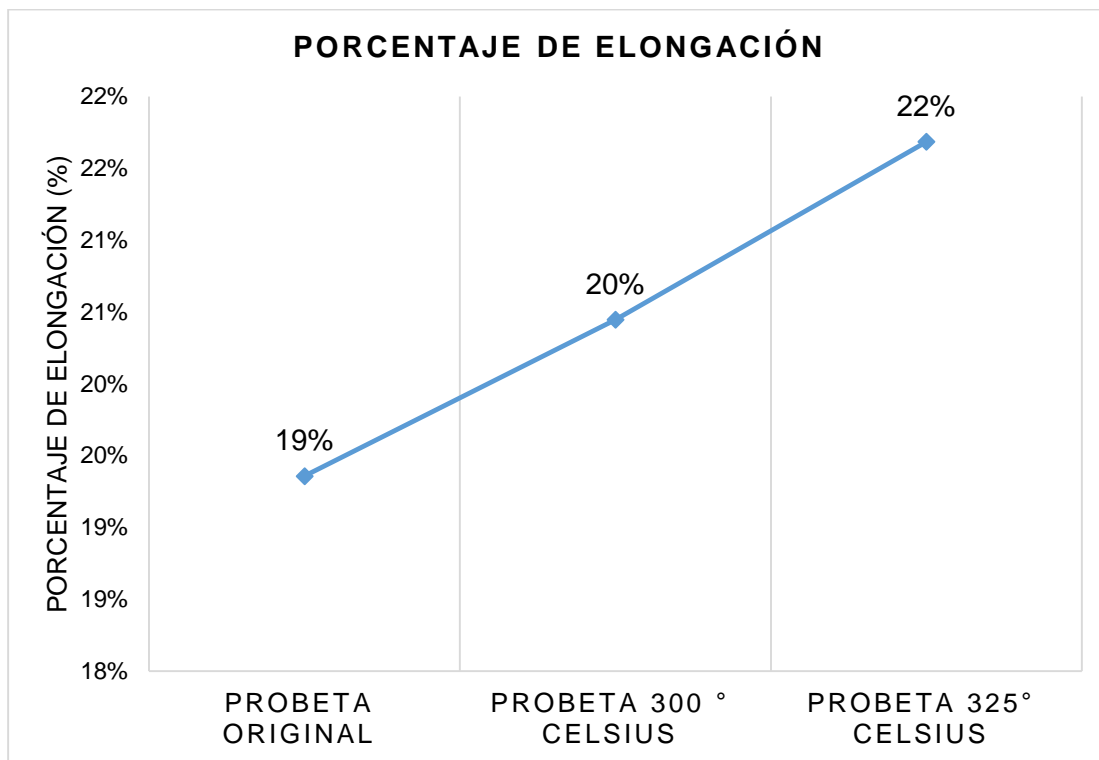
Nota. En la tabla se muestra los valores de elongación que tuvieron las probetas con tratamiento normalizado a 325°Celsius.

Tenemos que el promedio de porcentaje de elongación es de 22% es decir que las probetas con tratamiento térmico de normalizado a 325° Celsius tienden a alargarse un 22% de su medida al realizar el ensayo de tensión.

En la Figura 57 se observa el incremento porcentual de elongación de las probetas de estado original y con tratamiento normalizado de 300 y 325° Celsius.

Figura 58.

Porcentaje de elongación.



Nota. En la figura se observa el diagrama de Porcentaje de elongación en los diferentes estados de las Probetas.

Se observa como la probeta en estado orinal se incrementó un 19% a su estado inicial la probeta con tratamiento térmico normalizado incremento un 20% y las probetas de 325° Celsius incremento un 22%.

Tenemos que las probetas aumentaron el porcentaje de elongación a medida que la temperatura de su tratamiento térmico aumento.

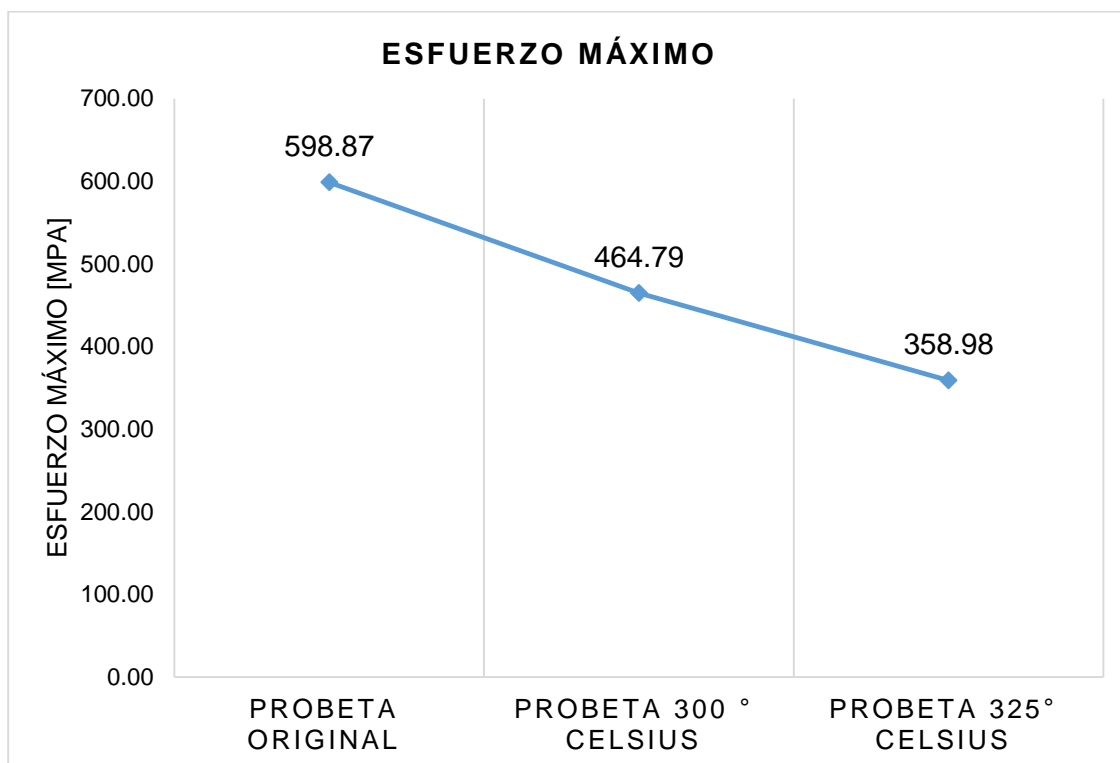
4.4. Análisis de la media de los esfuerzos máximos de fluencia y de rotura

Teniendo los Esfuerzo Máximos de Fluencia y de Rotura se procede a analizar cómo estos varían según el tratamiento térmico aplicado a las probetas.

En la Figura 58 se compara la media de Esfuerzo Máximo de las probetas en estado original y con tratamiento térmico de normalizado a 300 y 325° Celsius.

Figura 59.

Media de esfuerzos máximos de las probetas.



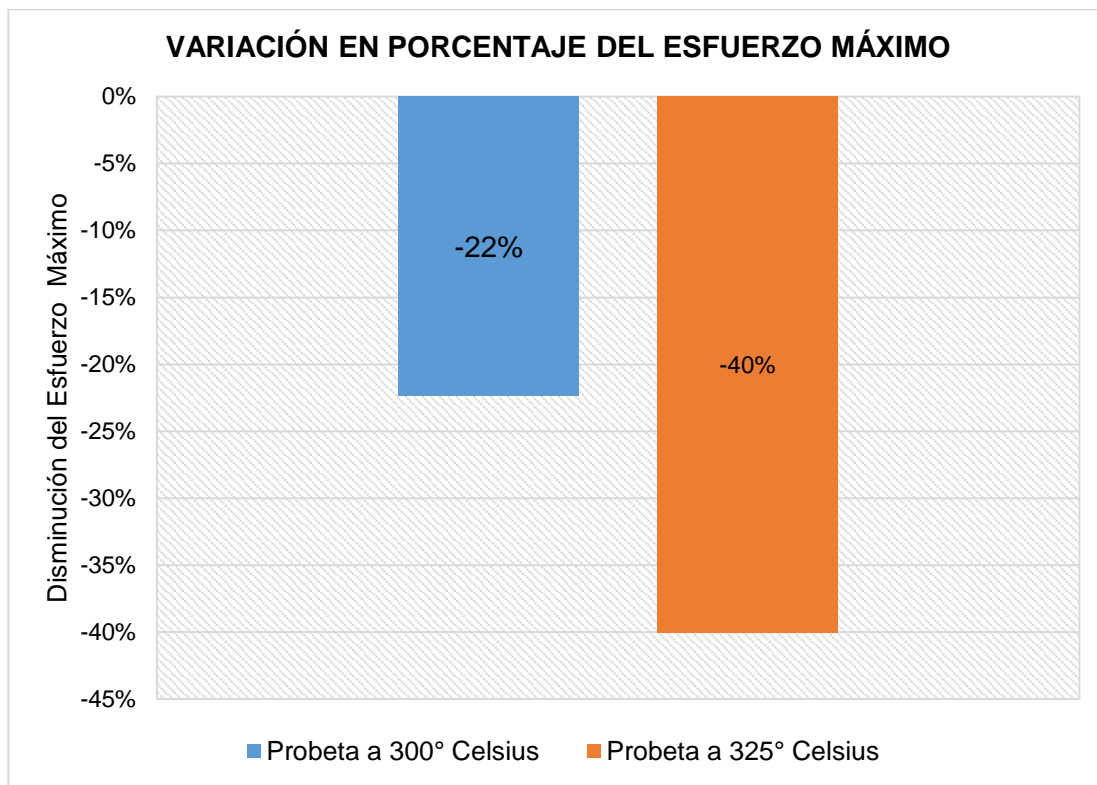
Nota. La figura representa la variación de los valores medios del esfuerzo máximo de las probetas en sus diferentes estados.

En la imagen se observa que el valor mayor de esfuerzo máximo está en la probeta en estado original siguiendo con la probeta que fue tratada Térmicamente a 300° Celsius y al último la probeta de 325° Celsius.

Teniendo en cuenta que la probeta original es la que tiene mayor valor de esfuerzo máximo, en la Figura 59 se compara el porcentaje de disminución del esfuerzo máximo ante las probetas de 300 y 325° Celsius.

Figura 60.

Variación del valor del esfuerzo máximo.



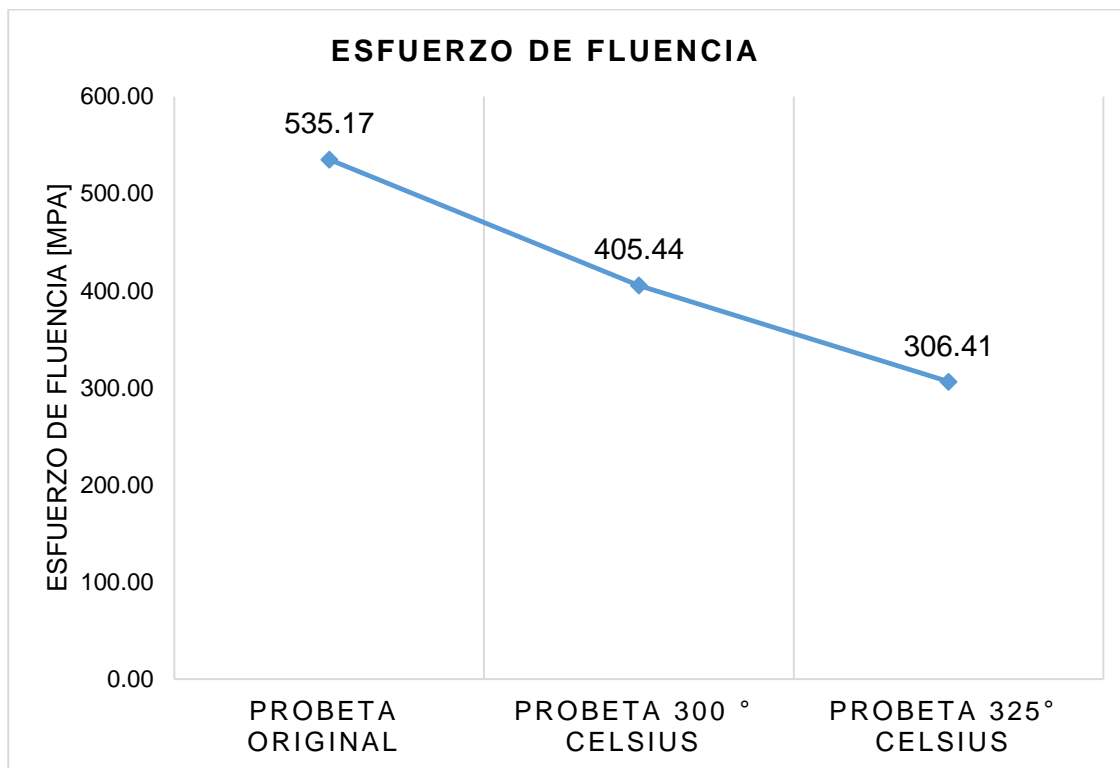
Nota. La figura representa la disminución de los valores en el esfuerzo máximo de las probetas tratadas térmicamente a 300 y 325° Celsius.

Se nota que la probeta con mayor disminución es la que fue tratada térmicamente a 325° Celsius seguida de la probeta a 300° Celsius viendo que la temperatura es un valor que influye en la disminución del esfuerzo máximo.

En la Figura 60 se compara la media de esfuerzo de fluencia de las probetas en estado original y con tratamiento térmico de normalizado a 300 y 325° Celsius.

Figura 61.

Media de los esfuerzos de fluencia de las probetas.

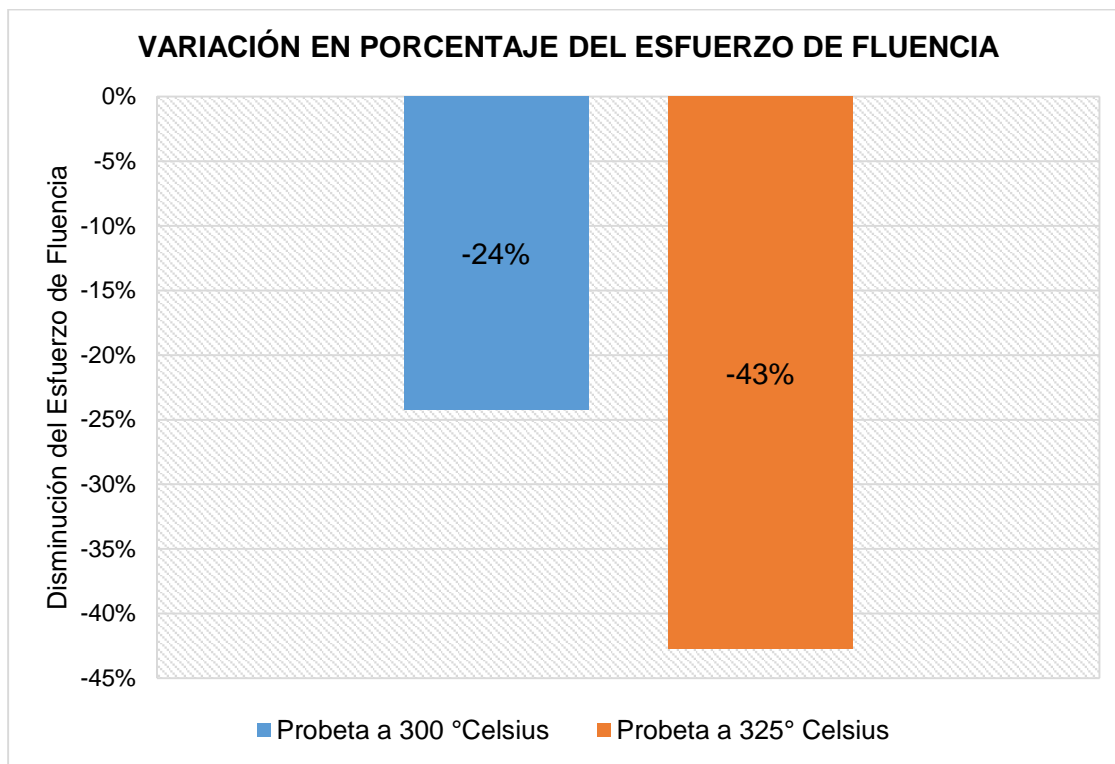


Nota. La figura representa la variación de los valores medios del esfuerzo máximo de las probetas en sus diferentes estados.

Al igual que el esfuerzo máximo observamos que el mayor valor de esfuerzo de fluencia la tiene la probeta en estado original seguido de las que tienen tratamiento térmico de normalizado de 300 y 325 ° Celsius, la probeta de 300° Celsius tiene un mayor valor de esfuerzo de fluencia que la probeta de 325° Celsius.

Figura 62.

Variación del valor del esfuerzo de fluencia.



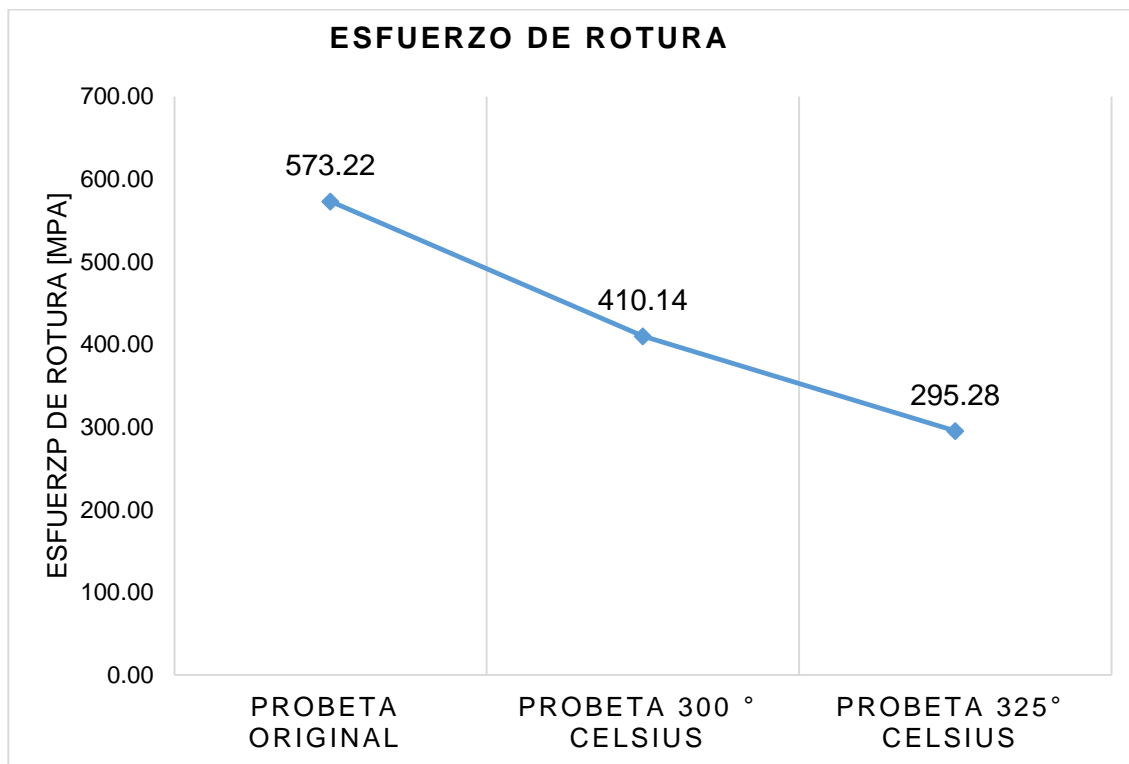
Nota. La figura representa la disminución de los valores en el esfuerzo de fluencia de las probetas tratadas térmicamente a 300 y 325° Celsius

La probeta que sufre una disminución del 24% en el valor del esfuerzo de fluencia es la probeta de 300°Celsius siguiéndole la probeta de 325° Celsius que es la que mayor porcentaje de disminución tiene con un 43% de disminución en el valor de Esfuerzo a la Fluencia.

En la Figura 62 se compara la media de esfuerzo de rotura de las probetas en estado original y con tratamiento térmico de normalizado a 300 y 325° Celsius.

Figura 63.

Media de los esfuerzos de rotura de las probetas.



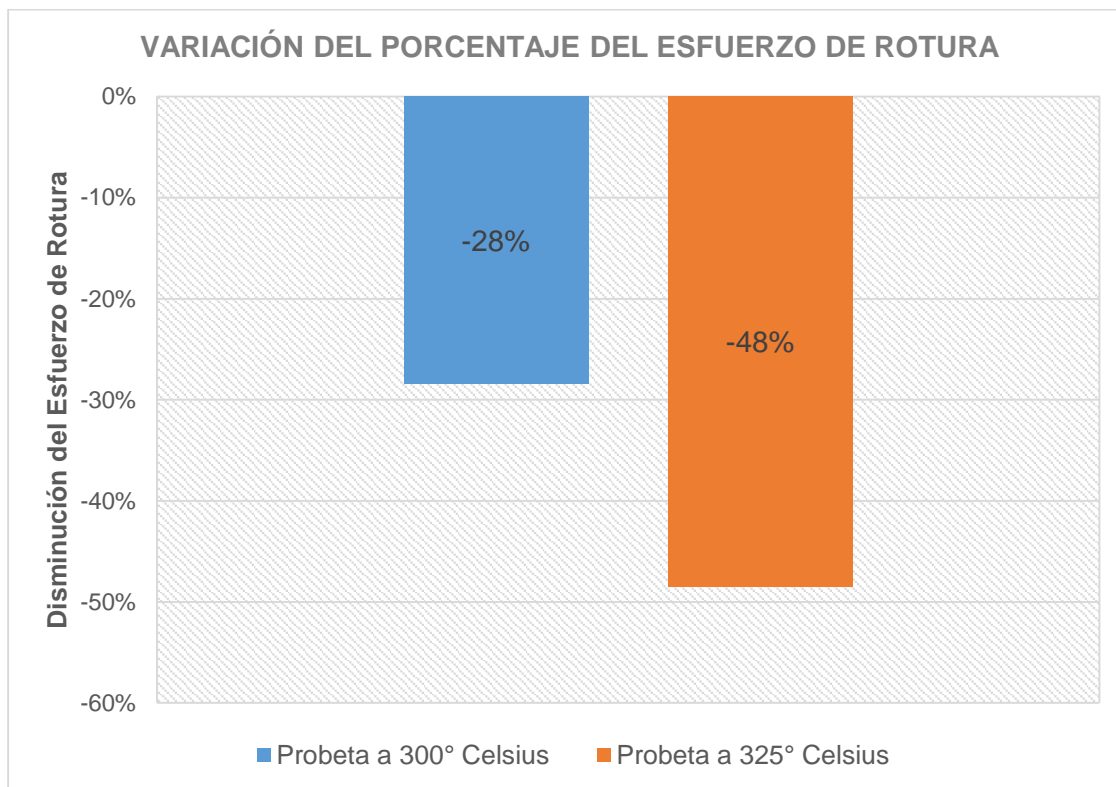
Nota. La figura representa la variación de los valores medios del esfuerzo de rotura de las probetas en sus diferentes estados.

Se observa que la probeta en estado original es la que tiene mayor valor de esfuerzo de rotura seguidos por la probeta con tratamiento normalizado a 300°C y por último la de 325° C la que tiene el mismo tratamiento térmico de normalizado.

Descrito en valores de porcentaje la gráfica 63 nos muestra la disminución de los valores de esfuerzo de rotura teniendo en cuenta que el máximo valor es de la probeta original.

Figura 64.

Variación del porcentaje del esfuerzo de rotura.



Nota. La figura representa la disminución de los valores en el esfuerzo de rotura de las probetas tratadas térmicamente a 300 y 325° Celsius

La probeta tratada con tratamiento térmico normalizado a 300° Celsius tuvo una rebaja del 28% y la de probeta de 325° Celsius con el mismo tratamiento disminuyó en un 48% su esfuerzo de fluencia.

4.5. Análisis de la Tenacidad del aluminio 7075

En la tabla 38 tenemos los valores de la tenacidad de las probetas sin tratamiento Térmico.

Tabla 38.

Valores de tenacidad de las probetas en estado original

Probeta en Estado Original	
Número de Probeta	Tenacidad (N)
1	10,79
2	11,22
3	11,57
Promedio	11,193
Desviación Estándar	0,3907

Nota. La tabla muestra los valores de tenacidad obtenidos en las probetas sin tratamiento térmico.

En la tabla 39 tenemos los valores de la tenacidad de las probetas con tratamiento térmico Normalizado a 300° Celsius.

Tabla 39.

Valores de tenacidad de las probetas con tratamiento a 300° C.

Probeta con Tratamiento de Normalizado a 300°Celsius	
Número de Probeta	Tenacidad (N)
4	9,612
5	9,67
6	11,57
Promedio	10,284
Desviación Estándar	1,1141

Nota. La tabla muestra los valores de tenacidad obtenidos en las probetas con tratamiento térmico.

En la tabla 40 tenemos los valores de la tenacidad de las probetas con tratamiento térmico Normalizado a 325° Celsius.

Tabla 40.

Valores de tenacidad de las probetas con tratamiento a 325° C.

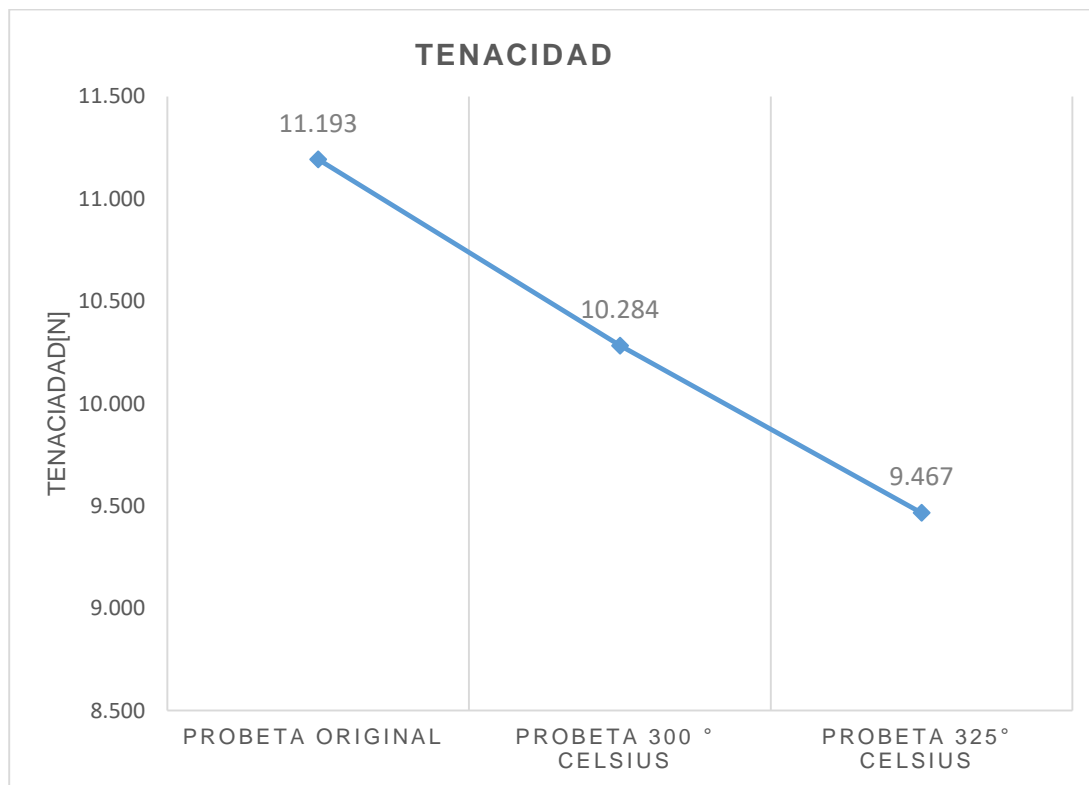
Probeta con Tratamiento de Normalizado a 325°Celsius	
Número de Probeta	Tenacidad (N)
7	9,36
8	9,4
9	9,64
Promedio	9,467
Desviación Estándar	0,1514

Nota. La tabla muestra los valores de tenacidad obtenidos en las probetas con tratamiento térmico.

En la Figura 64 se observa la variación de los promedios de las probetas en estado original y con tratamiento térmico de normalizado a 300 y 325°C respectivamente.

Figura 65.

Tenacidad vs condiciones de las probetas.



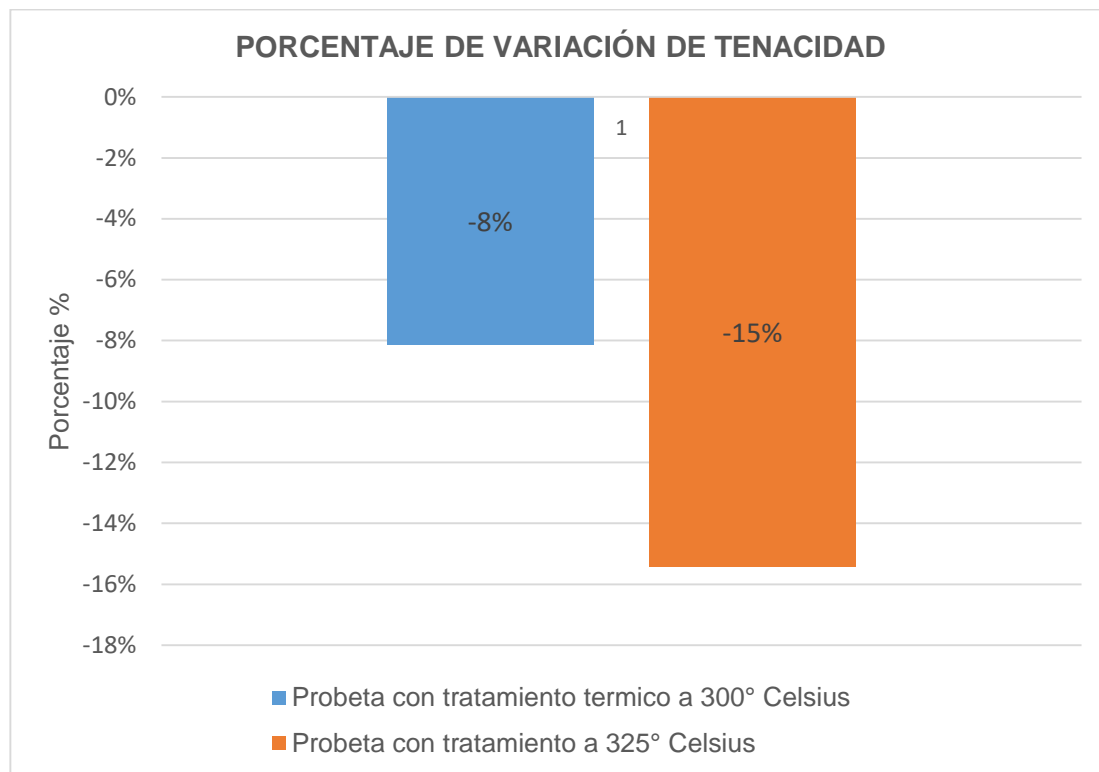
Nota. En la figura se observa los valores de tenacidad representados en el diagrama.

Podemos ver como los valores de la tenacidad van disminuyendo, teniendo como el valor más alto la tenacidad de la probeta en estado original.

En la figura 65 se visualiza la variación de porcentaje de las probetas con tratamiento térmico normalizado a 300 y 325° Celsius respectivamente.

Figura 66.

Porcentaje de variación de la tenacidad



Nota. En la figura se observa la varianza en porcentaje de la tenacidad.

Como podemos visualizar la probeta con tratamiento térmico de 325° Celsius es la que ha sufrido la mayor pérdida de tenacidad con un 15% menos de su estado original.

4.6. Dureza

Para garantizar la confiabilidad del ensayo de dureza se realizó 5 tomas de muestras de dureza a las diferentes probetas en su estado original y con tratamiento normalizado. Para realizar el ensayo se utilizó un peso de 100 kg con una bola de 1/16 de pulgada como lo indica el ensayo de Rockwell B.

En la Tabla 41 se observa el resumen de la toma de datos obtenidos del ensayo de dureza de Rockwell B.

Tabla 41.

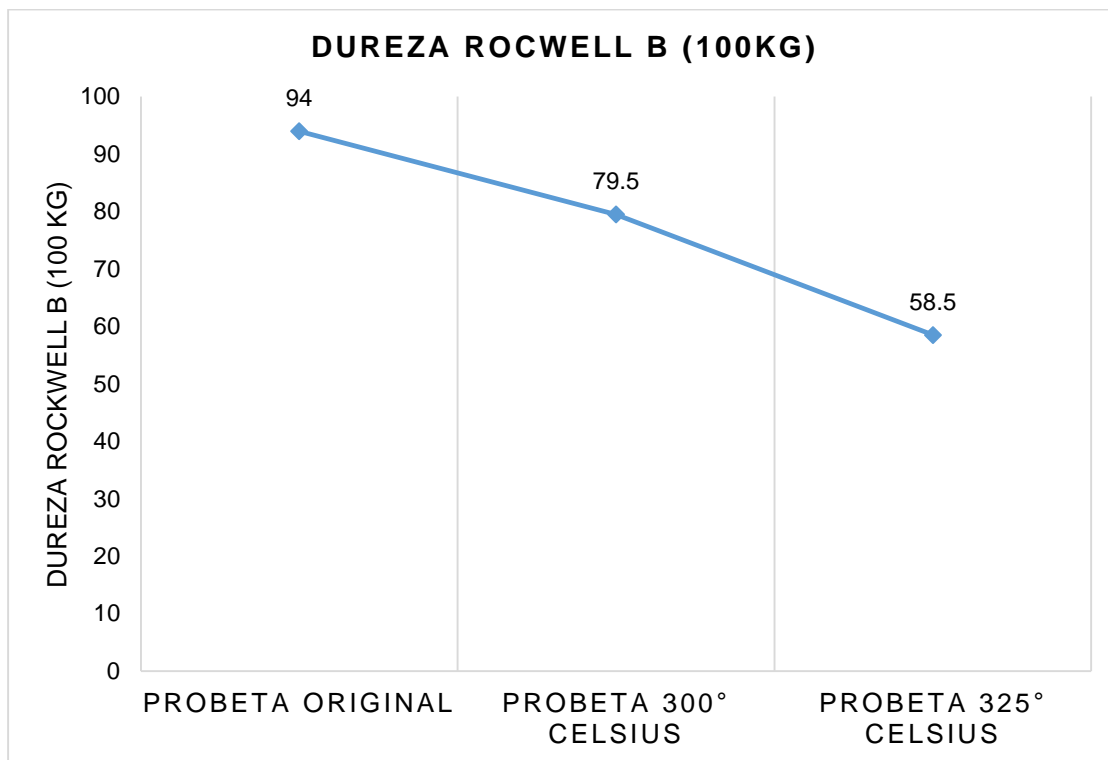
Valores de dureza Rockwell B

ENSAYO DE DUREZA ROCKWELL B					
Probeta Original		Probeta 300° Celsius		Probeta 325° Celsius	
Número de Prueba	Valor (HRB)	Número de Prueba	Valor (HRB)	Número de Prueba	Valor (HRB)
1	93	1	75	1	58
2	93,5	2	78	2	60
3	93	3	81	3	59
4	94,5	4	81,5	4	58,5
5	96	5	82	5	57
Valor Promedio	94	Valor Promedio	79,5	Valor Promedio	58,5
Desviación Estándar	1,27	Desviación Estándar	2,95	Desviación Estándar	1,11

En la figura 66 se observa como las probetas con el tratamiento normalizado a 300 y 325° Celsius disminuyen su dureza de tal forma que mientras la temperatura se elevó la dureza de las mismas disminuyeron.

Figura 67.

Valores promedios de la dureza de las probetas.

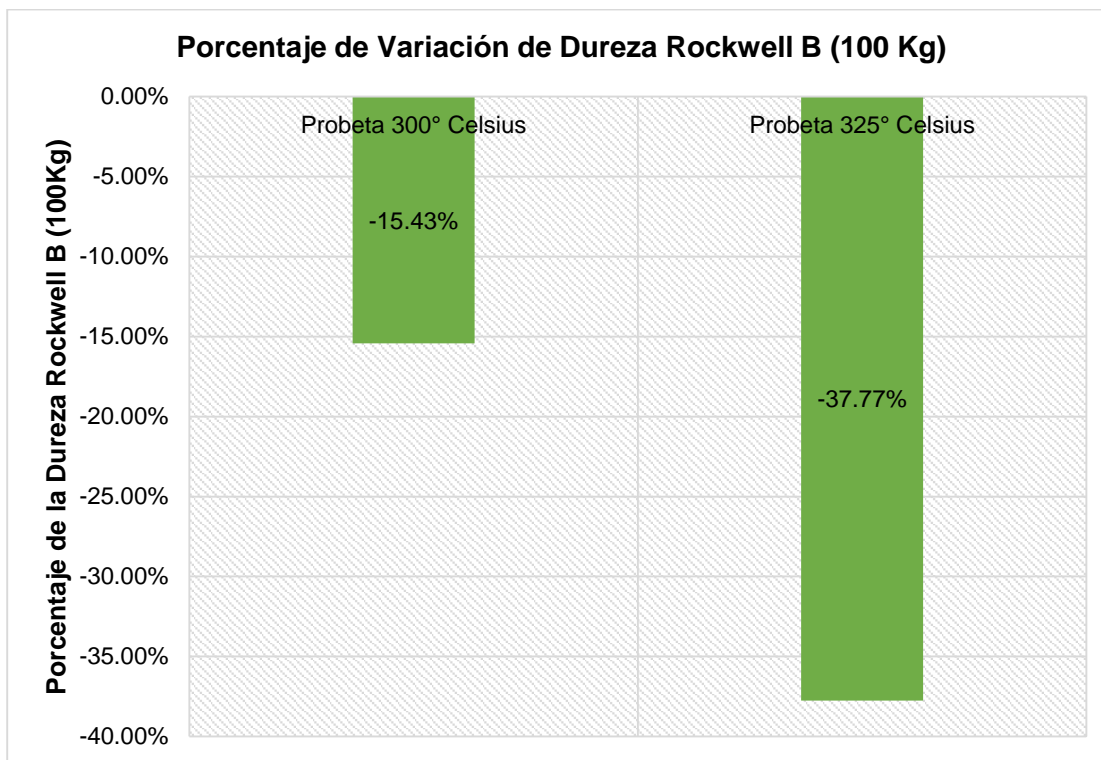


Nota. La figura representa la disminución de la media de la dureza en los diferentes Estados de las probetas.

Sabiendo que el mayor valor de dureza la tiene la probeta sin tratamiento térmico la gráfica 67 muestra la disminución de la dureza en las probetas que tienen tratamiento térmico de normalizado de 300 y 325° Celsius.

Figura 68.

Porcentaje de variación de la dureza Rockwell.



Nota. La Figura representa la disminución de los valores de la dureza en las probetas en sus diferentes estados.

Tenemos que la probeta de 300° Celsius tuvo una disminución del 15% de dureza frente a la probeta sin tratamiento térmico, así como la de 325° Celsius disminuyó un 38% de la cuales la probeta 325° Celsius es la que tuvo mayor disminución frente a la probeta original.

4.7. Análisis Metalográfico.

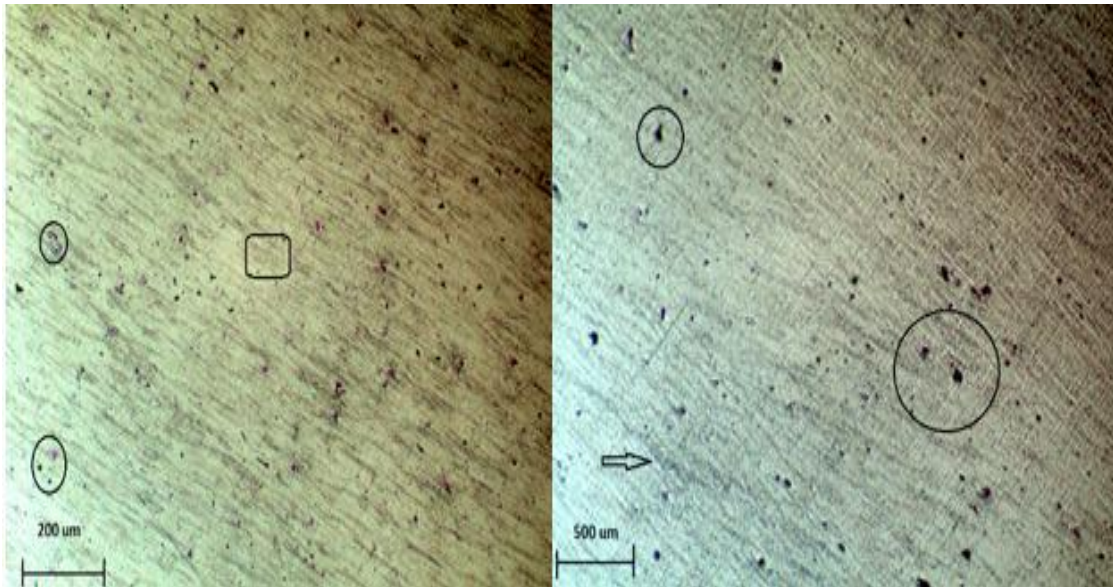
Por medio del microscopio óptico se tomaron imágenes de las microestructuras de cada probeta a diferentes aumentos 200X y 500X.

4.7.1. Micrografía de la probeta en estado original.

Probeta sin tratar térmicamente atacada con reactivo 2 ml HF (40%), 3 ml HCL (38%), 5 ml de HNO₃(70%) y 190 ml H₂O por 20 segundos (ASTM-E407).

Figura 69.

Micrografía 200X y 500X de la muestra sin tratar térmicamente.



Nota. En la figura se muestra las imágenes captadas por el microscopio a 200X y 500X de la muestra de la probeta sin trata térmicamente.

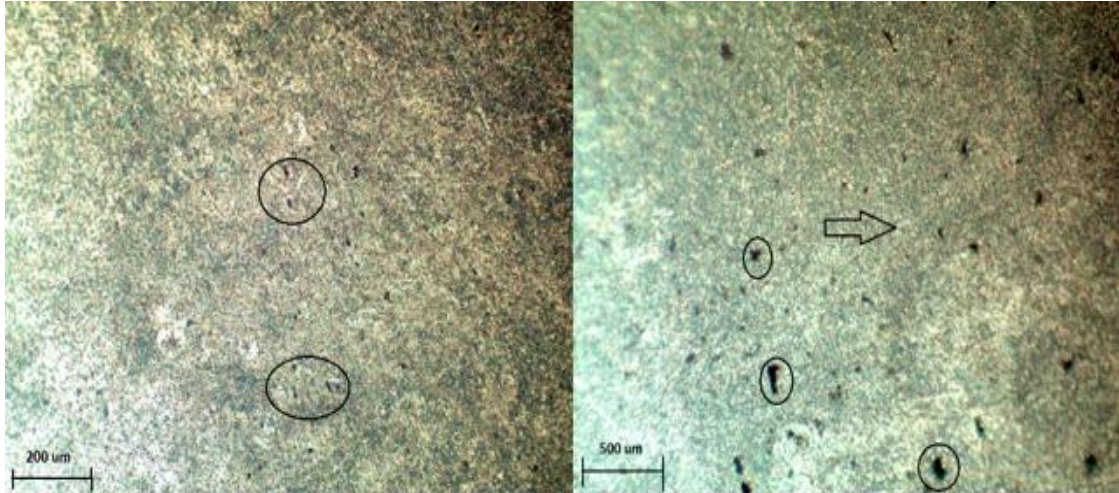
En el gráfico se observan una microestructura clara y definida, en ella se puede observar precipitados y pequeñas manchas de forma alargada, estos precipitados tienen forma circular, con una distribución en todo el material de Aluminio 7075.

4.7.2. Micrografía de la probeta con tratamiento térmico a 300°Celsius.

Probeta tratada térmicamente a 300° Celsius por 12 minutos atacada con reactivo 2 ml HF (40%), 3 ml HCL (38%), 5 ml de HNO₃(70%) y 190 ml H₂O por 20 segundos (ASTM-E407).

Figura 70.

Gráfica 200X y 500X de la muestra con tratamiento térmico a 300° C.



Nota. En la figura se muestra las imágenes captadas por el microscopio a 200X y 500X de la muestra de la probeta con tratamiento normalizado a 300°Celsius.

Se puede observar la matriz de aluminio 7075 fue atacada y presenta una tonalidad oscura, presentando los mismos precipitados a mayor tamaño.

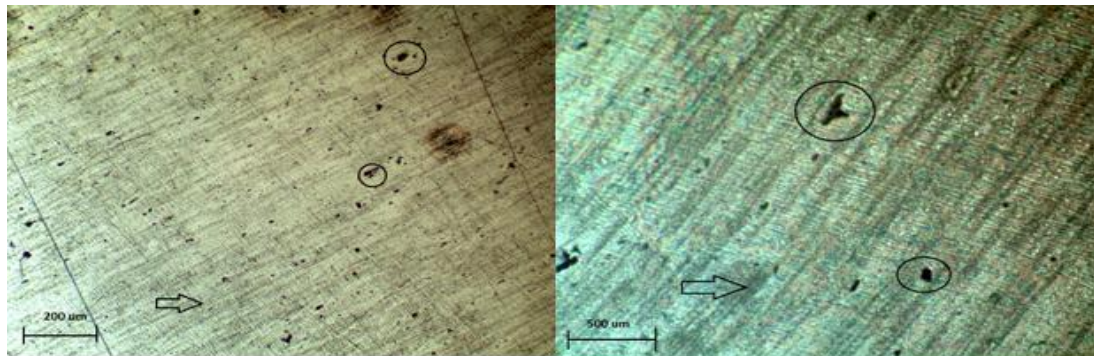
Se observan que las manchas han reducido su proporción disminuyendo en la muestra tomada.

4.7.3. Micrografía de la probeta con tratamiento térmico a 325°Celsius.

Probeta tratada térmicamente a 325° Celsius por 12 minutos atacada con reactivo 2 ml HF (40%), 3 ml HCL (38%), 5 ml de HNO₃ (70%) y 190 ml H₂O por 20 segundos (ASTM-E407).

Figura 71.

Gráfica 200X y 500X de la muestra con tratamiento a 325° C.



Nota. En la figura se muestra las imágenes captadas por el microscopio a 200X y 500X de la muestra de la probeta con tratamiento normalizado a 300°Celsius.


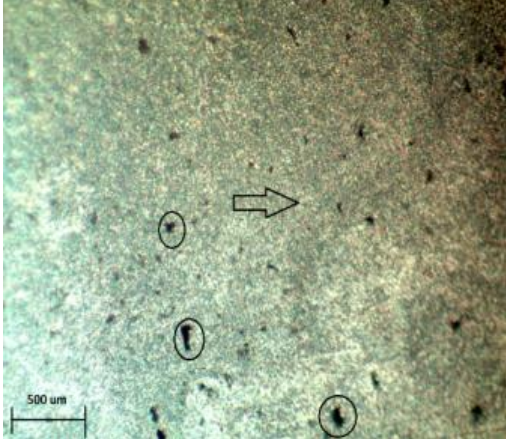
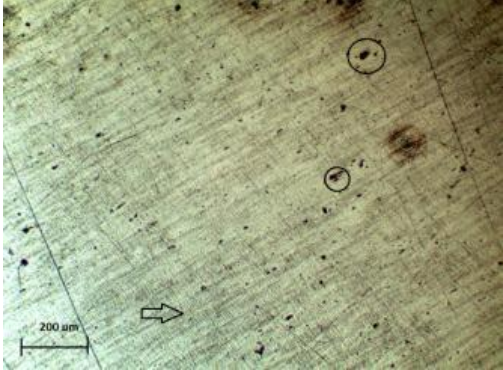
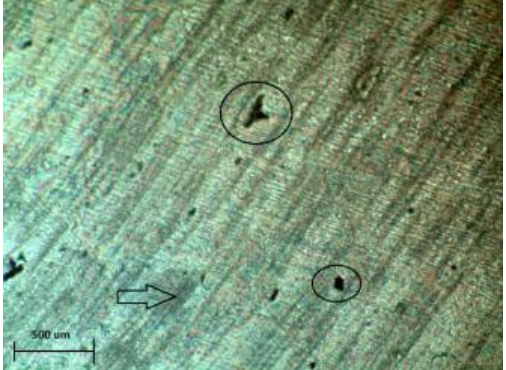
Se observa que a mayor temperatura se nota como son más evidentes los precipitados, los cambios de color en la matriz siguen notándose de mayor manera. Los precipitados son de mayor tamaño y cambiando la forma.

4.8. Análisis de las Imágenes a 200X y 500X de las muestras de aluminio

Tabla 42.

Comparación de las Imágenes a 200X y 500X de las distintas muestras..

Comparación de imágenes 200X	Comparación de imágenes 500X
Sin tratamiento	Sin tratamiento
<p>A micrograph showing the microstructure of untreated aluminum at 200X magnification. The matrix has a fine, parallel striated appearance. There are several small, dark, circular precipitates scattered throughout. A scale bar indicates 200 µm, and a white arrow points to the right.</p>	<p>A micrograph showing the microstructure of untreated aluminum at 500X magnification. The matrix and precipitates are more clearly visible than in the 200X image. A scale bar indicates 500 µm, and a white arrow points to the right.</p>

Comparación de imágenes 200X	Comparación de imágenes 500X
Tratamiento a 300 ° Celsius por 12 minutos	Tratamiento a 300 ° Celsius por 12 minutos
	
Tratamiento a 325° Celsius por 12 minutos	Tratamiento a 325° Celsius por 12 minutos
	

Nota. En la tabla se muestra las diferentes imágenes tomadas de las muestras de las probetas sin tratamiento y con tratamiento.

Se observa que a mayor temperatura los precipitados siguen manteniéndose, pero son más notorios es decir que el tamaño de los mismos aumenta, pero tienen diferente morfología.

CAPÍTULO V

MARCO ADMINISTRATIVO

2.1. Recursos

2.2. Recursos Humanos

El recurso humano enfocado en el desarrollo del proyecto de investigación es:

Tabla 43.

Recursos Humanos

Ord.	Descripción	Cantidad	Función
1	Jhonny Patricio Granada Molina	1	Investigador
2	Stalin Geovanny Escola Yacelga	1	Investigador
3	Ing. Edison Oswaldo Arguello Maya	1	Colaborador Científico

Nota. En la tabla se muestra los nombres de los ejecutores del proyecto.

A demás, se contó con la ayuda de los ingenieros encargados de los laboratorios de resistencia de materiales de la Universidad de las fuerzas Armadas ESPE Sangolquí al momento de realizar el tratamiento térmico de normalizado.

2.3. Recursos Materiales

En el desarrollo del proyecto de investigación es necesario contar con materiales y componentes los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 44.*Recursos Materiales*

Ord.	Cantidad	Detalle	Costos	Costo Total
			Unitarios USD	USD
1	2	Plancha de aluminio	\$ 55	\$ 110
2	9	Mecanizado de la probeta	\$ 100	\$ 900
3	9	Tratamiento térmico	\$ 5	\$ 45
5	2	Aceite hidráulico	\$ 50	\$ 100
6		Repuestos máquina	\$ 100	\$100
7		Documentos	\$ 100	\$ 100
8		Imprevistos	\$ 300	\$ 300
Total				\$ 1655

Nota. En la tabla se muestra los costos del proyecto realizado.

2.4. Recursos tecnológicos

Para tener valores correctos en los ensayos de tracción es necesario contar con el equipo tecnológico totalmente funcional por lo que se necesita los siguientes recursos:

*Tabla 45.**Recursos Tecnológicos.*

Ord.	Cantidad	Detalle	Costos	Costo Total
			Unitarios USD	USD
1	1	Diseño interfaz	\$ 1200	\$ 1200

2	2	Ensayo centro carrocerero	\$ 15	\$ 30
Total				\$ 1230

Nota. En la tabla se muestra los valores de los recursos tecnológicos adquiridos.

2.5. Costo neto del proyecto

El costo neto del proyecto tiene un total de:

Tabla 46.

Costo Neto del Proyecto

Descripción	Costo Total USD
Recursos Materiales	\$ 1655
Recursos Tecnológicos	\$ 1230
Total	\$ 2885

Nota. En la tabla se muestra el costo total del proyecto.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Mediante la información recopilada, se conoció que el aluminio presenta condiciones y propiedades requeridas para el diseño de estructuras mecánicas.
- El mantenimiento a la máquina universal Time Shijin serie WAW-600C disponible en el laboratorio de Mecánica de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE sede Latacunga, se lo realizó en los sistemas hidráulico y eléctrico, en especial en la creación de una nueva interfaz para la interacción entre máquina-humano en el software Labview para obtención de datos en tiempos reales, aunque debido a la instalación de un sensor de presión no adecuado, en tesis anteriores la señal saliente tiene mucho ruido es por eso que se optó por un filtrado de señal en el mismo software que permitió tener una señal más limpia pero no completamente libre de ruido.
- De un total de nueve probetas de aluminio 7075 seis fueron tratadas térmicamente por normalizado en el horno de mufla en intervalos de temperatura de 300 °C, y 325 °C en un tiempo de 12 minutos, y las tres restantes en condiciones originales, lo cual permitió adquirir datos que posteriormente fueron comparados entre sí determinando que existía disminución de las propiedades mecánicas en las probetas tratadas térmicamente, el medio de enfriamiento fue a temperatura ambiente como lo requiere un tratamiento de normalizado

- Se realizó ensayos de tracción a las nueve probetas en la máquina universal Time Shijin serie WAW-600C luego de su puesta a punto, obteniendo la curva esfuerzo vs deformación que permite identificar la variación de las propiedades mecánicas del material al ser tratado térmicamente en comparación con su condición original.
- En el ensayo de dureza Rockwell se identificó los valores de dureza de cada una de las probetas en condiciones originales y con tratamiento térmico de 300° y 325° C mostrando que en condición original del material tienen mayor dureza que tratadas térmicamente.
- Al analizar la microestructura de las diferentes muestras se evidencia que la muestra sin tratamiento térmico es la que tiene menor número de precipitaciones de un tamaño pequeño seguido por las muestras que fueron tratadas térmicamente con tratamiento térmico de normalizado estas tienen variaciones en los precipitados encontrados los cuales aumentan su número y tamaño según la temperatura a la que se realizó el tratamiento, es decir que la muestra de 300° Celsius contiene menor número de precipitados y de tamaño menor a la muestra de 325° Celsius.
- En condiciones originales el material tiene las mejores propiedades mecánicas para ser utilizado en estructuras, a diferencia de las probetas tratadas térmicamente determinando que a mayor temperatura las propiedades mecánicas disminuyen en mayor porcentaje, a menos que necesitemos un material dúctil para lo cual utilizaríamos el tratamiento de normalizado a 325 °C.

6.2. Recomendaciones

- Antes de realizar el tratamiento se debe verificar la condición de los equipos que se vaya a utilizar, ya que el mal estado de estos puede tener consecuencias en los datos que arrojan y tener resultados poco confiables.
- Previo a la realización de ensayos revisar el manual de operación de la máquina, con el fin de seguir los pasos correctos para su funcionamiento evitando daños debido a su mal uso, además de utilizar equipos de protección personal para evitar accidentes.
- Es indispensable realizar análisis con tratamientos térmicos a diferentes tiempos y temperaturas ya que pueden existir condiciones que favorezcan a las propiedades mecánicas del aluminio 7075 favoreciendo su implementación en estructuras.
- No dejar las probetas en el horno más tiempo de los definidos, ya que estas pueden sufrir cambios totalmente desfavorables en la estructura metalográfica y variantes en las propiedades mecánicas de las mismas.
- Es necesario utilizar las normativas respectivas en la ejecución de los ensayos de tracción y dureza para la obtención correcta de datos.
- La superficie de las muestras para el análisis metalográfico debe estar perfectamente pulida y atacada con el reactivo correcto.
- Se debe realizar mantenimientos periódicos a la máquina universal como el chequeo del nivel de aceite y conexiones eléctricas para evitar daños posteriores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alacermas. (s.f.). *Alacermas* . Obtenido de Alacermas :

https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa_7075_aluminio.pdf

Recuperado 23 de noviembre de 2019

Aluminio y Metales Unicornio . (2019). Obtenido de Aluminio y Metales Unicornio :

<http://www.aluminiosymetalesunicornio.com.mx/7075.html> Recuperado 7 de

enero de 2020

Barrand, P. (2001). *Metalurgia estructural del aluminio Fusión y colada de placas y tochos Fabricaciones anexas*. Bilbao: Vízcaína S.A.

Callister , W., & Rethwisch, D. (2017). *Ciencia e Ingeniería de Materiales* (Vol. Segunda Edición). Barcelona , España : Reverte, S.A.

E-03, A. (s.f.). ASTM E-03 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.

ASTM E-03 Standard Practice for Preparation of Metallographic Specimens.

Recuperado 15 de febrero del 2020

E-18, A. (s.f.). ASTM E-18 Standard Test Methods For Rockwell Hardness of Metallic Materials . Recuperado 18 de febrero 2020

Esparza, C. D. (2009). Estudio del efecto de contenido de manganeso y tratamientos Ingeniería sobre la resistencia al desgaste de la aleación z. Obtenido de:

<http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/840> F, S. W. (s.f.).

Recuperado el 5 de enero de 2020.

Garavito, J. (2008). *Tratamientos Térmicos*. Obtenido de:

https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/1537_tratamientosTérmicosr2.pdf. Recuperado el 28 de Diciembre del 2019

Hogar, S. (2018). *Influencia de los tratamientos Ingeniería y mecánicos en las propiedades mecánicas*. Obtenido de:

http://www.salohogar.com/ciencias/fisica/aluminio/influ_trataTÉRMIICO.htm.

Recuperado el 11 de febrero de 2020

José, T. (2017). Evaluación y Simulación de la Fractura. Sangolquí. Recuperado el 17 de Enero de 2020

Marder, A. (2000). The metallurgy of zinc-coated. *Progress in Materials Science.*, 191-271. Obtenido de https://www.academia.edu/26487091/The_metallurgy_of_zinc-coated_steel. Recuperado el 11 de diciembre de 2020,

MATERIALS, A. S. (2004). ASTM B557-10. *Standard Test Methods for Tension Testing Wrought and Cast Aluminum and Magnesium-Alloy Products.*

Monteros, L. (junio de 2015). Diseño y construcción de un horno mufla para la realización de tratamientos Ingeniería en aceros. Obtenido de: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/4592/1/04%20MEC%20077%20Tesis.pdf> Recuperado el 2 de marzo de 2020

Montes, J., Cuevas, F., & Cintas, J. (2014). *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Madrid: Ediciones Paraninfo S.A. Recuperado el 5 de marzo de 2020

Moposita, M. y. (2016). REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA UNIVERSAL TIME SHIJIN SERIE WAN-600C UTILIZADA PARA LA REALIZACIÓN DE ENSAYOS MECÁNICOS PARA EL LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE LA UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE EXTENSIÓN LATACUNGA (tesis de pregrado). Latacunga. Recuperado el 20 de marzo de 2020

Newell, J. (2009). *Ciencia de Materiales Aplicaciones en Ingeniería*. México: Alfaomega Grupo Editor S.A. Recuperado el 23 de Abril de 2020

Patiño, J. A. (29 de Marzo de 1996). Tratamientos Térmicos de los Aceros .

Tratamientos Térmicos de los Aceros . Bilbao: Vízcaína S.A. Recuperado el 30 de abril de 2020

Pereira, J., Duran , L., Van Deventer , D., & Zambrano, J. (2010). Propiedades

mecánicas en torsión de la aleación de aluminio AA6061 con diferentes tratamientos Ingeniería. Valencia, Venezuela. Recuperado el 23 de marzo de 2020

Perez, J. (29 de Marzo de 1996). Tratamientos Térmicos de los Aceros. México

Universidad Autónoma de Nuevo León. Recuperado el 13 de mayo de 2020

Piris, N. M. (2012). Ciencia de materiales para ingenieros. Madrid,España: PEARSON

EDUCACIÓN, S.A. Recuperado el 14 de abril de 2020

Puente, J. M. (Febrero de 2019). Identificación de microconstituyentes en aleaciones de

Aluminio mediante metalografía óptica en color. . *Identificación de microconstituyentes en aleaciones de Aluminio mediante metalografía óptica en color* . Madrid, España. Recuperado el 30 de mayo de 2020

Reyes, A., & Díaz del Castillo, F. (2012). *Aceros, estructuras y tratamientos*

Ingeniería.Obtenido de:

http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_Ingeniería/mecanica/mat/mat_mec/m6/aceros%20estructuras%20y%20tratamientos%20Térmicos.pdf. Recuperado el 23 de Abril de 2020

Rico Suárez, V. (2016). Análisis de las propiedades mecánicas de tenacidad, esfuerzo

de tensión y dureza de la aleación de aluminio 2024 t4, tratado térmicamente mediante el endurecimiento por precipitación a 180 °c. Colombia. Recuperado el 12 de Febrero de 2020

- Rico, Y., & Hernández, J. (diciembre de 2015). Influencia de la velocidad de enfriamiento sobre la microestructura y comportamiento a la corrosión de recubrimientos Zn-7Al por inmersión en caliente sobre acero. Obtenido de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522015000200013#fig1 Recuperado el 23 de noviembre de 2020.
- Robert, B. P. (2001). *Metalurgia estructural del aluminio Fusión y colada de placas y tochos Fabricaciones anexas*. Bilbao, España: URMO, S.A. DE EDICIONES. Recuperado el 12 de diciembre de 2020
- Salazar, C., & Del Castillo, S. (2018). *Fundamentos Básicos de la Estadística* (Vol. 1). Quito. Obtenido de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/13720/3/Fundamentos%20B%C3%A1sicos%20de%20Estad%C3%ADstica-Libro.pdf> Recuperado el 23 de noviembre de 2020
- Shackelford, J. F. (2010). *Introducción a la ciencia de materiales para ingenieros*. Madrid: Person Educación S.A. . Recuperado el 15 de junio de 2020
- Smith, W., & Hashemi, J. (2007). *Fundamentos de la ciencia e Ingeniería de Materiales*. (Vol. Cuarto). México D.F., México.: McGraw-Hill INTERAMERICANA EDITORES, S.A. Recuperado el 14 de noviembre de 2020
- TECMICRO, S. (20 de agosto de 2019). *TECMICRO, S.A.* Recuperado el 13 de febrero de 2020, de <https://materialografia.es/ataque-quimico/>
- Toledano, A. (2010). Resistencia a fatiga de la aleación de aluminio 7075-t6 en función del tipo. Santiago de Chile. Recuperado el 12 de marzo de 2020
- Zuñiga, M. A. (Agosto de 2012). Reconocimiento de Fases en Aleaciones de Aluminio en Estado Modelado . *Reconocimiento de Fases en Aleaciones de Aluminio en Estado Modelado* . Piura, Perú. Recuperado el 26 de abril de 2020

ANEXOS