

**DESARROLLO DE UN PLAN METODOLÓGICO PARA LA OPERACIÓN DE
UNA MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS MODELO SHIMADZU AGS-X
SEGÚN LAS NORMAS ASTM**

FABIO ALEJANDRO GUTIERREZ ARAGON

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.**

2019

**DESARROLLO DE UN PLAN METODOLÓGICO PARA LA OPERACIÓN DE
UNA MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS MODELO SHIMADZU AGS-X
SEGÚN LAS NORMAS ASTM**

FABIO ALEJANDRO GUTIERREZ ARAGON

**Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO**

Director

Oscar Chamarraví Guerra.

Ingeniero Metalúrgico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERIAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA

BOGOTÁ D.C.

2019

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Físico. Jairo Andrés Coral Campaña
Jurado

Ing. Daniel Eduardo Villalobos Correa
Jurado

Bogotá D.C., Agosto de 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD AMÉRICA

Presidente Institucional y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectoría Académica y de Posgrados

Ing. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

A mi madre querida, por su apoyo incondicional, sus consejos y su fortaleza que me han servido de inspiración para lograr todo lo que me propongo.

A mis abuelos maternos por brindarme su amor durante toda mi vida, por su comprensión y cariño.

A mi tío por ser esa persona con carácter, con inteligencia que siempre ha creído en mí y en mis capacidades.

Dedico especialmente este trabajo de grado a ti Luz Ángela, por tu amor incondicional, apoyo, paciencia, cariño y confianza que me has otorgado a lo largo de estos años, en los cuales he compartido contigo miles de alegrías y sonrisas que han sido fruto de inspiración para este momento.

Gracias a ustedes la culminación de esta etapa en mi vida no es solo un logro mío, sino de toda mi familia especialmente ustedes que siempre han querido mi bienestar y mi felicidad.

FABIO ALEJANDRO GUTIERREZ ARAGON

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios por haberme permitido la culminación de esta etapa en mi vida, por brindarme sabiduría, confianza e inteligencia.

Agradezco a la universidad de américa por brindarme su confianza para desarrollar este proyecto.

Al profesor Jairo Coral, por sus conocimientos e ideas que permitieron la culminación de este proyecto de grado.

Al ingeniero Oscar Chamarraví, por acompañarme en este proyecto, por creer en mí, por sus conocimientos transmitidos, paciencia apoyo y su acogedor trato.

Al ingeniero Ivan castro, por su conocimiento, su confianza, y su apoyo en este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	25
OBJETIVOS	26
1. CARACTERIZACIÓN DE LA MÁQUINA UNIVERSAL	27
1.1 HISTORIA DE LA MÁQUINA UNIVERSAL	27
1.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA UNIVERSAL	27
1.2.1 Máquinas universales hidráulicas	27
1.2.2 Máquinas universales electromecánicas	27
1.3 MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS SHIMADZU AGS-X	28
1.3.1 Características generales UTM Shimadzu AGS-X	29
1.3.2 Calibración de la máquina universal	29
1.4 MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS SHIMADZU AGS-X - 50KN	29
1.5 PARTES Y SOFTWARE SHIMADZU AGS-X - 50KN	32
1.5.1 Accesorios complementarios	34
1.5.2 Software TRAPEZIUM X	37
1.6 TIPOS DE ENSAYOS REALIZABLES EN SHIMADZU AGS-X – 50 kN	38
1.6.1 Ensayo de tensión	38
1.6.2 Ensayo de flexión	40
1.6.3 Ensayo de compresión	41
1.7 PROCEDIMIENTO PARA USO DE SOFTWARE TRAPEZIUM X	41
1.8 RECOMENDACIONES FINALES PARA REALIZAR LOS ENSAYOS	48
2. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS SEGÚN LAS NORMAS ASTM	49
2.1 DISEÑO DE PROBETAS METÁLICAS DE TENSIÓN	49
2.1.1 Tipo de probeta	49
2.1.2 Probeta plana	49
2.1.4 Material de fabricación de las probetas	50
2.1.4 Proceso de fabricación	51
2.2 DISEÑO DE PROBETAS METÁLICAS DE COMPRESIÓN	51
2.2.1 Tipo de probeta	51
2.2.2 Dimensiones probeta cilíndrica corta	51
2.2.3 Material de fabricación de las probetas	52
2.1.4 Proceso de fabricación	52
2.3 DISEÑO DE PROBETAS METÁLICAS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS	53
2.3.1 Dimensiones de la probeta	54
2.3.2 Materiales de fabricación de la probeta	54
2.3.3 Proceso de fabricación	55
2.4 DISEÑO DE PROBETAS PLÁSTICAS DE TENSIÓN	55
2.4.1 Dimensiones de la probeta	55
2.4.2 Materiales de fabricación de las probetas	57
2.4.3 Proceso de elaboración de las probetas	57

2.4.4	Parámetros para la inyección de plásticos	58
2.5	DISEÑO DE PROBETAS PLÁSTICAS DE COMPRESIÓN	59
2.5.1	Dimensiones de la probeta	59
2.5.2	Materiales para elaborar las probetas	60
2.5.3	Proceso de fabricación de las probetas	60
2.6	DISEÑO DE PROBETAS PLÁSTICAS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS	61
2.6.1	Dimensiones de la probeta	61
2.6.2	Materiales para elaborar las probetas	62
2.6.3	Proceso de fabricación	62
2.7	DISEÑO DE PROBETAS CERÁMICAS DE TENSIÓN	62
2.7.1	Molde para probetas de tensión	62
2.7.2	Fabricación del molde	63
2.7.3	Fraguado de las probetas de tensión	64
2.8	DISEÑO DE LAS PROBETAS CERÁMICAS DE COMPRESIÓN	66
2.8.1	Características del molde de cemento hidráulico	66
2.8.2	Fabricación del molde de cemento hidráulico	66
2.8.3	Fraguado de las probetas de compresión	67
2.9	DISEÑO DE PROBETAS CERÁMICAS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS	68
2.9.1	Características del molde de cemento hidráulico	68
2.9.2	Fabricación del molde para flexión de cerámica	68
2.9.3	Fraguado de las probetas de flexión	69
3.	REALIZAR EL ENSAYO DE TENSIÓN SEGÚN LAS NORMAS ASTM	70
3.1	PREPARACIÓN GENERAL EL ENSAYO DE TENSIÓN	70
3.2	ENSAYO DE TENSIÓN EN MATERIALES PLÁSTICOS	71
3.2.1	Consideraciones generales para el ensayo	71
3.2.2	Reporte final Polietileno de baja densidad (LLDPE)	73
3.2.3	Reporte final Polipropileno 11H (PP)	79
3.3	ENSAYO DE TENSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS	83
3.3.1	Consideraciones generales para el ensayo	84
3.3.2	Reporte final Acero AISI 1020	85
3.3.3	Reporte final Acero AISI 1045	90
3.4	ENSAYO DE TENSIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS	92
3.4.1	Consideraciones generales para el ensayo	93
3.4.2	Ensayo de tensión en cemento tipo I (UG)	93
3.4.3	Ensayo de tensión en cemento tipo III (ART)	96
4.	REALIZAR EL ENSAYO DE COMPRESIÓN SEGÚN LAS NORMAS ASTM	98
4.1	CONSIDERACIONES GENERALES	98
4.2	ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES PLÁSTICOS	99
4.2.1	Consideraciones generales para el ensayo	99
4.2.2	Reporte final del ensayo de compresión material Poliamida 66	100
4.2.3	Reporte final del ensayo de compresión material Teflón	104
4.3	ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES METÁLICOS	106

4.3.1 Consideraciones generales para el ensayo	107
4.3.2 Reporte final del ensayo de compresión de aluminio	107
4.3.3 Reporte final del ensayo de compresión bronce fosforado	110
4.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS	112
4.4.1 Consideraciones generales para el ensayo	113
4.4.2 Resultados del ensayo de compresión en pasta de cemento (ART)	113
4.4.3 Resultados del ensayo de compresión en pasta de cemento (UG)	115
5. REALIZAR EL ENSAYO DE FLEXIÓN SEGÚN LAS NORMAS ASTM	117
5.1 CONSIDERACIONES GENERALES	117
5.2 ENSAYO DE FLEXIÓN EN MATERIALES METÁLICOS	118
5.2.1 Resultados del ensayo de flexión de 3 puntos con duraluminio 7066	119
5.2.2 Resultados del ensayo de flexión de 3 puntos aluminio normalizado	121
5.3 ENSAYO DE FLEXIÓN EN MATERIALES PLÁSTICOS	123
5.3.1 Consideraciones generales del ensayo	124
5.3.2 reporte final Polipropileno 11H (PP)	126
5.3.3 Reporte Policarbonato	130
5.4 ENSAYO DE FLEXIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS	133
5.4.1 Resultados del ensayo de compresión en pasta de cemento (ART)	134
5.4.2 Resultados del ensayo de compresión en pasta de cemento (UG)	135
6. ANALISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES VS ESPERADOS	137
6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TENSIÓN EN PLÁSTICOS	137
6.1.1 Análisis de resultados para LLDPE	137
6.1.2 Análisis de resultados para PP-11H	141
6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TENSIÓN EN METALES	143
6.2.1 Análisis de resultados para acero AISI 1020	144
6.2.2 Análisis de resultados para acero AISI 1045	146
6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE TENSIÓN EN CERÁMICOS	148
6.3.1 Análisis de resultados para cemento portland tipo I y III en tensión	148
6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE COMPRESIÓN EN PLÁSTICOS	150
6.4.1 Análisis de resultados para el Nylon 66	151
6.4.1 Análisis de resultados para el Teflón	153
6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE COMPRESIÓN EN METALES	155
6.2.1 Análisis de resultados para aluminio 6063 y el bronce fosforado	156
6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE COMPRESIÓN EN CERÁMICOS	158
6.6.1 Análisis de resultados para cemento portland tipo I y III en compresión	158
6.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FLEXIÓN EN METALES	159
6.7.1 Análisis de resultados para aluminio 7066 y 2024	159
6.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FLEXIÓN EN PLÁSTICOS	162
6.8.1 Análisis de resultados para el polipropileno 11H y el acrílico	162
6.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE FLEXIÓN EN CERÁMICOS	165
6.9.1 Análisis de resultados para el cemento tipo I y III	165

7. REALIZAR EL ANÁLISIS FINANCIERO PARA CADA ENSAYO	168
7.1 COSTO DEL ENSAYO DE TENSIÓN	169
7.1.1 Costo del ensayo de tensión en materiales metálicos	170
7.1.2 Costo del ensayo de tensión en materiales plásticos	170
7.1.3 Costo del ensayo de tensión en materiales cerámicos	171
7.2 COSTO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN	172
7.2.1 Costo del ensayo de compresión en materiales metálicos	173
7.2.2 Costo del ensayo de tensión en mat-eriales plásticos	173
7.2.3 Costo del ensayo de compresión en materiales cerámicos	174
7.3 COSTO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN	175
7.3.1 Costo del ensayo de flexión en materiales metálicos	175
7.3.2 Costo del ensayo de flexión en materiales plásticos	176
7.3.3 Costo del ensayo de flexión en materiales cerámicos	177
7.4 TARIFAS SUGERIDAS PARA CADA ENSAYO	178
8. CONCLUSIONES	180
9. RECOMENDACIONES	181
BIBLIOGRAFIA	182
ANEXOS	185

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tipos de máquinas universales Shimadzu AGS-X	28
Figura 2. Partes máquina universal Shimadzu AGS-X	32
Figura 3. Interfaz Trapezium X	38
Figura 4. Representación del ensayo de tensión	38
Figura 5. Representación de gráfica esfuerzo-deformación	39
Figura 6. Comportamiento a flexión de una viga	40
Figura 7. Ensayo de compresión	41
Figura 8. Cotas probeta plana	50
Figura 9. Cotas probeta tipo I	56
Figura 10. Cotas probeta tipo IV	56
Figura 11. Molde recomendado para probetas	62
Figura 12. Dimensiones briqueta de tensión	63
Figura 13. Relación agua-cemento	65
Figura 14. Método Offset 0,002%	78
Figura 15. Método offset ASTM E8	86
Figura 16. Método para cálculo de ángulo de doblado	120
Figura 17. Finalización ensayo guiado	122
Figura 18. Estructura de cadena ramificada	137
Figura 19. Comportamiento general de los polímeros	138
Figura 20. Curva esfuerzo- deformación para plásticos rígidos	141
Figura 21. Curva esfuerzo ingenieril-deformación ingenieril teórica	145
Figura 22. Curva de temperatura de transición vitrea en plásticos	151
Figura 23. Curva Esfuerzo vs deformación en compresión experimental Teflón .	154
Figura 24. Tipos de falla en compresión	157
Figura 25. Curva teórica de especímenes que fallan al 5% de la deformación	163

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1.Celda de carga de Shimadzu AGS-X 50kN	33
Imagen 2.Panel de control	34
Imagen 3. Mordazas para ensayo de tensión	34
Imagen 4. Platos para ensayos de compresión	35
Imagen 5. Kit de flexión de 3 puntos para Shimadzu	36
Imagen 6. Pantalla principal PC auxiliar	42
Imagen 7.Interfaz de inicio Trapezium X	42
Imagen 8. Interfaz principal de Trapezium X	43
Imagen 9. Interfaz sistema de Trapezium X	43
Imagen 10. Interfaz sensores de Trapezium X	44
Imagen 11. Pestaña muestreos	44
Imagen 12. Interfaz ensayo de Trapezium X	45
Imagen 13. Interfaz muestra de Trapezium X	45
Imagen 14. Interfaz datos procesados de Trapezium X	46
Imagen 15. Interfaz gráfico de Trapezium X	47
Imagen 16. Probeta metálica a tensión	51
Imagen 17. Probeta de aluminio a compresión	53
Imagen 18.Probeta de bronce a compresión	53
Imagen 19. Probeta final metálica a flexión duraluminio 7066	55
Imagen 20. Probeta final metálica a flexión aluminio normalizado	55
Imagen 21. Probeta final plástica tipo IV a tensión LLDPE	59
Imagen 22. Probeta final plástica tipo I a tensión PP-11H	59
Imagen 23. Probeta final compresión	61
Imagen 24. Probeta final de policarbonato	62
Imagen 25.Molde de madera para probetas de tensión	63
Imagen 26. Briqueta final para el ensayo de tensión	65
Imagen 27. Molde metálico para probetas de compresión cerámicas	67
Imagen 28.Probeta final para el ensayo de compresión en cerámica	67
Imagen 29. Molde metálico para probetas de flexión de cerámica	69
Imagen 30. Probeta final para el ensayo de compresión en cerámicos	69
Imagen 31. Montaje para ensayo de tensión en plásticos	70
Imagen 32. Instalación probetas planas	72
Imagen 33. Montaje para ensayo	98
Imagen 34. Montaje para ensayo de flexión	117
Imagen 35. Superficie después del ensayo	121
Imagen 36. Continuación del ensayo guiado	122
Imagen 37. Superficie de probeta N° 1	123
Imagen 38.Comportamiento óptimo	140

Imagen 39. Burbujas en probetas a tensión en cerámico	150
Imagen 40. Probetas finales aluminio y bronce	157
Imagen 41. Superficie de la probeta N°1 Aluminio 2024	160
Imagen 42. Superficie de la probeta N°1 duraluminio	161

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Curva Esfuerzo-Deformación probeta N° 3	79
Gráfica 2. Curva tensión-desplazamiento probeta N°2	81
Gráfica 3. Curva tensión-desplazamiento probeta N°4	81
Gráfica 4. Curva tensión-desplazamiento probeta N°1	82
Gráfica 5. Diagrama esfuerzo de tensión vs deformación- offset ensayo N° 1	86
Gráfica 6. Curva Tensión vs Desplazamiento probeta N° 2. Acero 1020	87
Gráfica 7. Curva carga vs desplazamiento tensión cerámico (UG)	95
Gráfica 8. Curva carga vs desplazamiento tensión cerámico (ART)	97
Gráfica 9. Curva esfuerzo de compresión vs deformación probeta N° 1	103
Gráfica 10. Curva esfuerzo vs deformación probeta N°2	109
Gráfica 11. Curva esfuerzo Vs deformación Offset aluminio probeta N°3	109
Gráfica 12. Curva esfuerzo vs deformación probeta N°1	111
Gráfica 13. Curva esfuerzo vs deformación offset bronce probeta N°1	112
Gráfica 14. . Curva fuerza de compresión vs desplazamiento probeta N° 1	114
Gráfica 15. Curva fuerza de compresión vs desplazamiento probeta N° 3	115
Gráfica 16. Curva fuerza-desplazamiento probeta N°1 PP-11H	128
Gráfica 17. Curva Carga de flexión vs desplazamiento probeta N° 1 (ART)	135
Gráfica 18. Curva Carga de flexión vs desplazamiento probeta N° 1 (UG)	136
Gráfica 19. Curva esfuerzo – deformación probeta N°2 LLDPE	139
Gráfica 20. Curva esfuerzo – deformación probeta N°3 LLDPE	139
Gráfica 21. Comportamiento general de la curva esfuerzo- deformación PP11H	142
Gráfica 22. Curva esfuerzo-deformación general acero 1020	144
Gráfica 23. Curva esfuerzo-deformación acero 1045	147
Gráfica 24. Curva Esfuerzo vs deformación en compresión experimental Teflón	154
Gráfica 25. Curva carga vs desplazamiento probeta N° 1 aluminio 2024	160
Gráfica 26. Curva esfuerzo vs deformación probeta N° 2 Aluminio 7066	161
Gráfica 27. Curva esfuerzo-deformación probeta N° 3 de PP-11H	164
Gráfica 28. Curva esfuerzo- deformación N° 1 de Policarbonato	165

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Resistencia a la tensión en ruptura	75
Ecuación 2. Área original de la sección transversal de la probeta	75
Ecuación 3. Valor promedio	76
Ecuación 4. Desviación estándar	76
Ecuación 5. Esfuerzo de fluencia	76
Ecuación 6. Porcentaje de elongación relativo	77
Ecuación 7. Área transversal de probetas de acero	85
Ecuación 8. Resistencia última en metal	87
Ecuación 9. Esfuerzo de rotura en metal	88
Ecuación 10. Porcentaje de reducción de área	89
Ecuación 11. Esfuerzo de tensión en cerámicos	95
Ecuación 12. Área transversal de un cilindro	101
Ecuación 13. Esfuerzo de compresión	102
Ecuación 14. Esfuerzo de fluencia en plásticos	103
Ecuación 15. Área transversal de un cilindro en metales	107
Ecuación 16. Esfuerzo de compresión máximo	114
Ecuación 17. Área transversal de un cubo	114
Ecuación 18. Relación entre centros para ensayo de flexión en metales	119
Ecuación 19. Distancia entre soportes	125
Ecuación 20. Velocidad del ensayo	125
Ecuación 21. Deformación máxima	127
Ecuación 22. Modulo tangente de elasticidad	127
Ecuación 23. Esfuerzo de flexión	129
Ecuación 24. Esfuerzo de flexión en rotura	130
Ecuación 25. Esfuerzo de flexión máximo	134
Ecuación 26. Modulo secante	162
Ecuación 27. Potencia de un motor trifásico	168
Ecuación 28. Conversión de w a kWh	169
Ecuación 29. Conversión de kWh a \$/kWh	169

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Especificaciones básicas Shimadzu AGS-X-50KN	30
Tabla 2. Especificaciones técnicas de operación Shimadzu AGS-X-50KN	30
Tabla 3. Especificaciones funcionales Shimadzu AGS-X-50KN	31
Tabla 4. Dimensiones mordazas para tensión Shimadzu AGS-X 50 kN	35
Tabla 5. Dimensiones de platos para compresión Shimadzu AGS-X 50 kN	36
Tabla 6. Características de kit de flexión Shimadzu AGS-X 50 kN	37
Tabla 7. Dimensiones máximas de probetas para ensayo de flexión	37
Tabla 8. Dimensiones de la probeta plana	50
Tabla 9. Composición química acero AISI 1020	50
Tabla 10. Composición química acero AISI 1045	50
Tabla 11. Dimensiones probeta cilíndrica corta de aluminio	52
Tabla 12. Dimensiones probeta cilíndrica corta de bronce	52
Tabla 13. Composición química aluminio-6063	52
Tabla 14. Composición química bronce fosforado	52
Tabla 15. Dimensiones de una probeta rectangular a flexión	54
Tabla 16. Propiedades mecánicas duraluminio 7066	54
Tabla 17. Propiedades mecánicas aluminio 2024	54
Tabla 18. Dimensiones de la probeta tipo I	56
Tabla 19. Dimensiones de la probeta tipo IV	57
Tabla 20. Parámetros de inyección para el LLDPE Y PP-11H	58
Tabla 21. Dimensiones de la probeta cilíndrica de plástico	60
Tabla 22. Propiedades mecánicas Nylon 66 (Poliamida 6.6)	60
Tabla 23. Propiedades mecánicas Teflón (PTFE)	60
Tabla 24. Dimensiones de la probeta rectangular	61
Tabla 25. Dimensiones de la probeta cubica	66
Tabla 26. Dimensiones de la probeta cubica	68
Tabla 27. Condiciones atmosféricas	74
Tabla 28. Rapidez del ensayo	74
Tabla 29. Resultados esfuerzo de tensión (LLDPE)	75
Tabla 30. Resultados esfuerzo de fluencia	77
Tabla 31. Porcentaje de elongación LLDPE	77
Tabla 32. Módulo de elasticidad de LLDPE	78
Tabla 33. Condiciones atmosféricas PP-11H	80
Tabla 34. Rapidez del ensayo PP-11H	80
Tabla 35. Resultados esfuerzo de tensión polipropileno PP-11H	82
Tabla 36. Resultados esfuerzo de fluencia PP-11H	82
Tabla 37. Resultados porcentaje de alargamiento polipropileno 11H (PP)	83
Tabla 38. Módulo de elasticidad polipropileno 11H (PP)	83

Tabla 39. Esfuerzo de fluencia acero 1020	87
Tabla 40. Resultados esfuerzo de tensión 1020	88
Tabla 41. Resultados esfuerzo de rotura	88
Tabla 42. Módulo de elasticidad	89
Tabla 43. Resultados porcentaje de elongación relativo	89
Tabla 44 Resultados porcentaje de reducción de área	90
Tabla 45. Esfuerzo de fluencia acero 1045	90
Tabla 46. Resultados esfuerzo de tensión en acero 1045	91
Tabla 47. Resultados esfuerzo de ruptura en acero 1045	91
Tabla 48. Resultados módulo de elasticidad acero 1045	91
Tabla 49. Porcentaje de elongación acero 1045	92
Tabla 50. Resultados porcentaje de reducción de área	92
Tabla 51. Resultados esfuerzo de tensión cemento tipo I	95
Tabla 52 Resultados esfuerzo de tensión cemento tipo I	97
Tabla 53. Condiciones atmosféricas	101
Tabla 54. Resultados esfuerzo de compresión	102
Tabla 55. Esfuerzo de fluencia Nylon 66	103
Tabla 56. Módulo de elasticidad Nylon 66	104
Tabla 57. Condiciones atmosféricas- Teflón	105
Tabla 58. Fuerza de compresión máxima Teflón	105
Tabla 59. Módulo de elasticidad Teflón	106
Tabla 60. Comparación dimensiones iniciales y finales	108
Tabla 61. Valores módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia para el aluminio	110
Tabla 62. Comparación dimensiones iniciales y finales	110
Tabla 63. Valores módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia para el bronce	112
Tabla 64. Esfuerzo de compresión máximo para cemento tipo (ART)	115
Tabla 65. Esfuerzo de compresión máximo para cemento UG	116
Tabla 66. Resultados ángulo de doblado duraluminio 7066	120
Tabla 67. Resultados ángulo de doblado duraluminio 2024	123
Tabla 68. Información específica del ensayo	126
Tabla 69. Resultados deformación máxima	127
Tabla 70. Resultados modulo tangente Polipropileno 11H	128
Tabla 71. Resultados Fuerza de flexión máxima	129
Tabla 72. Resultados esfuerzo de flexión máximo	129
Tabla 73. Resultados esfuerzo de flexión de rotura	130
Tabla 74, Información específica del ensayo	131
Tabla 75. Resultados deformación máxima	131
Tabla 76. Resultados módulo tangente	132
Tabla 77. Resultados esfuerzo de flexión máxima	132
Tabla 78. Resultados esfuerzo de flexión en rotura	132

Tabla 79. Resultados módulo de elasticidad en flexión	133
Tabla 80. Esfuerzo de flexión máximo para cemento ART	135
Tabla 81. . Esfuerzo de flexión máximo para cemento UG	136
Tabla 82. Comparación resultados de esfuerzo de fluencia	140
Tabla 83. Comparación resultados módulo de elasticidad LLDPE	141
Tabla 84. Comparación resultados porcentaje de elongación LLDPE	141
Tabla 85. Resultados esfuerzo de fluencia experimental vs esperado	142
Tabla 86. Resultados porcentaje de elongación experimental vs esperado	142
Tabla 87. Resultados módulo de elasticidad AISI 1020	145
Tabla 88. Resultados esfuerzo de tensión experimental vs esperado	145
Tabla 89. Porcentaje de elongación relativo experimental vs esperado	146
Tabla 90. Porcentaje de reducción de área experimental vs esperado	146
Tabla 91. Resultados módulo de elasticidad AISI 1045	147
Tabla 92. Resultados esfuerzo de tensión experimental vs esperado	147
Tabla 93. Porcentaje de elongación experimental vs esperado	147
Tabla 94. Resultados esfuerzo de tensión cemento tipo I	149
Tabla 95. Resultados esfuerzo de tensión cemento tipo III	149
Tabla 96. Esfuerzo de compresión 1% Nylon 66	152
Tabla 97. Esfuerzo de compresión 2% Nylon 66	152
Tabla 98. Porcentaje de error en esfuerzo de compresión Nylon 66	152
Tabla 99. Porcentaje de error módulo elástico experimental vs esperado	153
Tabla 100. Porcentaje de error del módulo elástico experimental vs esperado	155
Tabla 101. Porcentaje de error del módulo elástico aluminio 6063	156
Tabla 102. Porcentaje de error del módulo elástico bronce fosforado	156
Tabla 103. Comparación de esfuerzo de compresión	158
Tabla 104. Resultados modulo secante	163
Tabla 105. Resultados módulo secante experimental vs esperado	163
Tabla 106. Modulo secante experimental vs esperado	164
Tabla 107. Porcentaje de error esfuerzo de fluencia	164
Tabla 108. Porcentaje de error de esfuerzo de flexión de cemento tipo I	166
Tabla 109. Porcentaje de error de esfuerzo de flexión de cemento tipo III	166
Tabla 110. Porcentaje de error corregido de esfuerzo de flexión	167
Tabla 111. Costos de talento humano	168
Tabla 112. Costos de instrumentos y energía	169
Tabla 113. Costo de materiales para el ensayo de tensión	170
Tabla 114. Costo de producción de las probetas	170
Tabla 115. Costo final del ensayo de tensión	170
Tabla 116. Costo de materiales para el ensayo de tensión en plásticos	171
Tabla 117. Costo de producción de las probetas	171
Tabla 118. Costo total del ensayo de tensión en materiales plásticos	171

Tabla 119. Costo de materiales para el ensayo de tensión en cerámicos	171
Tabla 120. Costo de material de moldes ensayo de tensión en cerámicos	172
Tabla 121. Costo de elaboración de molde de tensión en cerámico	172
Tabla 122. Costo de producción de probeta tensión en cerámico	172
Tabla 123. Costo total del ensayo de tensión en cerámicos	172
Tabla 124. Costo de materiales para el ensayo de compresión en metales	173
Tabla 125. Costo de producción de las probetas de compresión metálicas	173
Tabla 126. Costo final del ensayo de compresión en metales	173
Tabla 127. Costo de materiales para el ensayo de compresión en plásticos	173
Tabla 128. Costo de producción de las probetas de compresión metálicas	174
Tabla 129. Costo final del ensayo de compresión en plásticos	174
Tabla 130. Costo de materiales para el ensayo de compresión en cerámicos	174
Tabla 131. Costo de material de moldes ensayo de compresión en cerámicos	174
Tabla 132. Costo de elaboración de molde de compresión en cerámico	175
Tabla 133. Costo de producción de probeta compresión en cerámico	175
Tabla 134. Costo final del ensayo de compresión en cerámicos	175
Tabla 135. Costo de materiales para el ensayo de flexión en metales	176
Tabla 136. Costo de producción de las probetas de flexión metálicas	176
Tabla 137. Costo total del ensayo de flexión en materiales metálicos	176
Tabla 138. Costo de materiales para el ensayo de flexión en plásticos.	176
Tabla 139. Costo de producción de las probetas de flexión plásticas	177
Tabla 140. Costo total del ensayo de flexión en materiales plásticos	177
Tabla 141. Costo de materiales para el ensayo de flexión en cerámicos	177
Tabla 142. Costo de material de moldes ensayo de flexión en cerámicos	177
Tabla 143. Costo de elaboración de molde de flexión en cerámico	178
Tabla 144. Costo de producción de probeta flexión en cerámico	178
Tabla 145. Costo total del ensayo de flexión en materiales cerámicos	178
Tabla 146. Tabla de precios sugeridos para ensayos mecánicos	179

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Identificación del material	73
Cuadro 2. Tipo de muestra (LLDPE)	73
Cuadro 3. Acondicionamiento del plástico	73
Cuadro 4. Identificación del material PP-11H	79
Cuadro 5. Tipo de muestra (PP-11H)	80
Cuadro 6. Acondicionamiento de probeta	80
Cuadro 7. Información general ensayo a tensión acero 1020	85
Cuadro 8. Información general ensayo a tensión acero 1045	90
Cuadro 9. Información general ensayo de tensión en cerámico	94
Cuadro 10. Condiciones atmosféricas ensayo tensión cemento tipo I	94
Cuadro 11. Edad de las probetas de cemento tipo I	94
Cuadro 12. Información general ensayo a tensión cemento ART	96
Cuadro 13. Condiciones atmosféricas ensayo tensión cemento tipo I	96
Cuadro 14. Edad de las probetas de cemento tipo I	96
Cuadro 15. Identificación del material Nylon 66	101
Cuadro 16. Forma probeta Nylon 66	101
Cuadro 17. Acondicionamiento Nylon 66	101
Cuadro 18. Identificación del material Teflón	104
Cuadro 19. Tipo de muestra- Teflón	105
Cuadro 20. Tipo de acondicionamiento Teflón	105
Cuadro 21. Información general del ensayo de aluminio	108
Cuadro 22. Características específicas de ensayo aluminio	108
Cuadro 23. Información general del ensayo bronce fosforado	110
Cuadro 24. Características específicas de ensayo bronce	111
Cuadro 25. Información general del ensayo aluminio 7066	119
Cuadro 26. Información general del ensayo aluminio 7066	119
Cuadro 27. Información general del ensayo aluminio 2024	121
Cuadro 28. . Información específica del ensayo aluminio 2024	121
Cuadro 29. Identificación del material, ensayo de flexión PP-11H	126
Cuadro 30. Identificación del material	130

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Ficha Técnica Acero 1020	186
ANEXO B. Ficha Técnica Nylon	187
ANEXO C. Ficha Técnica Teflón	188
ANEXO D. Ficha Técnica Aluminio	189
ANEXO E. Ficha Técnica Policarbonato	191
ANEXO F. Ficha Técnica Polipropileno	192
ANEXO G. Ficha Técnica Bronce Fosforado	193
ANEXO H. Ficha Técnica Acero 1020	194
ANEXO I. Ficha Técnica Cemento tipo I	195
ANEXO J. Ficha Técnica Acero 1045	196
ANEXO K. Ficha Técnica Cemento Tipo III	197
ANEXO L. Ficha Técnica Aluminio 7066	199
ANEXO M. Parametrización De Materiales Para Shimadzu AGS-X	201

GLOSARIO

ANISOTROPÍA: la anisotropía es una consecuencia de la estructura interna del mineral. Si carece de organización interna (minerales amorfos) o si presenta una organización muy regular son isótropos, los demás son anisótropos. Los minerales que cristalizan en el Sistema Cúbico (o Regular), es decir, el de máxima simetría, con sus átomos o iones igualmente distribuidos en las tres direcciones principales del espacio, son isótropos.

EXACTITUD: viene definida como la proximidad entre el valor medido y el valor “verdadero” del mensurando. Así pues, una medición es más exacta cuanto más pequeño es el error de medida.

FRACTURA DÚCTIL: es la que ocurre cuando hay una deformación plástica

FRACTURA FRÁGIL: hay poca o nula deformación plástica.

HUSILLO DE BOLAS: es un husillo de avance sumamente eficiente en el que la bola realiza un movimiento basculante entre el eje del husillo y la tuerca. Con un par de torsión inferior en una tercera parte o menos al de un husillo deslizante convencional, este producto resulta muy adecuado para ahorrar energía de accionamiento.

LEY DE HOOKE: la fuerza requerida para estirar un objeto elástico, como un resorte de metal, es directamente proporcional a la extensión del resorte

TOBERMORITA: es uno de los dos productos resultantes de la hidratación del silicato bicálcico y del silicato tricálcico del cemento Portland (el otro producto resultante de esta hidratación es la portlandita). Recibe también el nombre de gel CSH y es el principal responsable de las resistencias del cemento (entre el 60 y el 80% de la resistencia total del cemento se debe a la tobermorita)

PRECISIÓN: como la proximidad entre las indicaciones o valores medidos de un mismo mensurando, obtenidos en mediciones repetidas, bajo condiciones especificadas.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es el desarrollo de un plan metodológico para la operación de una máquina universal de ensayos Shimadzu AGS-X, según las normas ASTM, teniendo en cuenta que actualmente este equipo es nuevo y no es aprovechado al 100%. Por medio de esta investigación se busca caracterizar la máquina universal permitiendo conocer los tipos de ensayos que se pueden realizar en ella, tipos de probetas que se pueden usar y materiales que se pueden probar en ella en función de su capacidad.

Para el desarrollo de esta propuesta, se seleccionaron dos tipos de materiales cerámicos, plásticos y metálicos con el fin de realizar ensayos de tensión, compresión y flexión de 3 puntos. Una vez fabricadas las probetas, se realizaron los ensayos en la máquina universal para así conocer propiedades mecánicas específicas de cada material probado.

Después de obtenidos los resultados se realizó un análisis por cada ensayo, identificando porcentajes de error y comportamientos según las normas ASTM. Finalmente se evaluaron los costos de cada ensayo.

Palabras clave: Máquina universal, materiales, ensayos mecánicos, procesos, caracterización de materiales.

INTRODUCCIÓN

La Fundación Universidad de América en el año 2017 adquirió una máquina universal de ensayos tipo marco, modelo Shimadzu AGS-X de 50 kN, la cual durante este año 2018 debido a una serie de adecuaciones en los laboratorios, no se ha puesto en funcionamiento, pero principalmente debido a que este equipo no cuenta con un plan metodológico para su operación, en el cual se incluya la caracterización de la máquina junto con sus generalidades, tipos de ensayos que se pueden realizar, tipos de probetas utilizables en los ensayos, evaluación financiera y guías de laboratorio.

La realización de este proyecto permitirá que los estudiantes de la Universidad de América, posean una forma estandarizada de realizar sus prácticas de laboratorio en ensayos como tensión, compresión y flexión según las normas establecidas (ASTM), y que a su vez puedan constatar lo visto en clases teóricas por medio de los laboratorios y los diseños mecánicos, para fortalecer materias como ingeniería de materiales, resistencia de materiales, estática y dinámica, y a su vez servirá de bases para futuras investigaciones.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un plan metodológico para el uso de una maquina universal de ensayos Shimadzu AGS-X según las normas ASTM.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la maquina universal de ensayos Shimadzu AGS-X
- Fabricar las probetas según la norma ASTM para la realización de los ensayos.
- Realizar experimentalmente el ensayo de tensión con los materiales metálicos, cerámicos y polímeros según la norma ASTM.
- Realizar experimentalmente el ensayo de compresión con los materiales mínimos seleccionados según la norma ASTM.
- Realizar experimentalmente el ensayo de flexión con los materiales metálicos, cerámicos y polímeros según la norma ASTM.
- Analizar los datos obtenidos experimentalmente con relación a los esperados para los materiales seleccionados.
- Realizar el análisis financiero para cada uno de los ensayos.

1. CARACTERIZACIÓN DE LA MÁQUINA UNIVERSAL

La máquina universal de ensayos en la actualidad ha sido una herramienta necesaria para el desarrollo de nuevos productos y diseños mecánicos. Gracias a sus aplicaciones ha permitido determinar y evaluar las propiedades mecánicas, calidades y variables de diversos tipos de materiales creados en laboratorios e industrias para el uso diario en la sociedad.

1.1 HISTORIA DE LA MÁQUINA UNIVERSAL

La primera máquina universal desarrollada y patentada fue en el año de 1880 en estados unidos, en donde se fabricó el primer dispositivo para el ensayo de materiales, fabricado por “Tinius Olsen”¹, el cual permitía realizar pruebas de tensión y de compresión con muy buena precisión, permitiendo el avance de la industria estadounidense. De esta manera se dio por sentado un nuevo precedente en la verificación de las propiedades mecánicas y comportamientos de diversos materiales.

1.2 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA MÁQUINA UNIVERSAL

En la actualidad existen dos tipos de máquina universales: Hidráulicas y electromecánicas. Su diferencia principal radica en su principio de funcionamiento.

1.2.1 Máquinas universales hidráulicas. El principio de funcionamiento de la máquina hidráulica es por el accionamiento de una bomba de aceite de alta presión, que transmite aceite de trabajo hacia unos cilindros hidráulicos que se encuentran en los laterales de la máquina, así generando el empuje de los pistones que se encuentran en los paraleles de la máquina. Esta máquina se utiliza principalmente para determinar propiedades en materiales metálicos.²

1.2.2 Máquinas universales electromecánicas. La máquina universal de ensayos electromecánica utiliza un servo motor como fuente de movimiento, en donde el sistema electrónico controla el servo para hacerlo girar con respecto al sistema de control de velocidad, de esta manera el cabezal puede ser impulsado para hacer avances o retrocesos según el ensayo. La máquina utiliza un sistema de husillo de bolas el cual convierte el movimiento de rotación del servo motor en un movimiento lineal para transmitir el movimiento hacia los dos paraleles de la máquina. La máquina

¹ RUTH, Earl. Tinius Olsen, The History Of Mechanical Testing. [EN LINEA]. 2012. [Citado en 1 de Febrero de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.tiniusolsen.com/our-coMPany/history>>

² MAK, Thai. Universal Testing Machine Working Principle. [EN LÍNEA]. 2018-12-01. [Citado en 2 de Febrero de 2019]. Disponible en internet: <<http://www.qc-test.com/news/universal-testing-machine-working-principle-43664.html>>

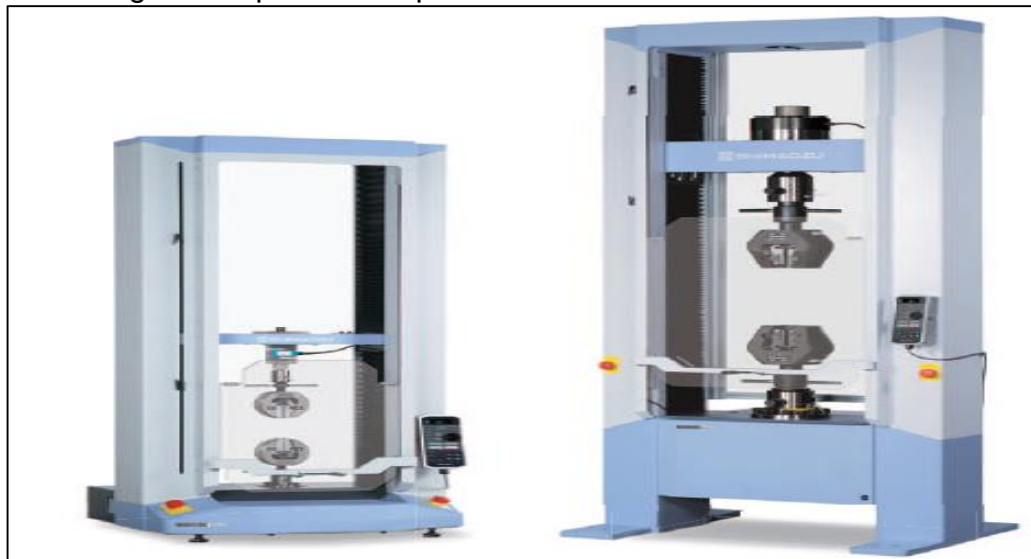
universal electromecánica cuenta con sensores que otorgan precisión, exactitud y sensibilidad en el desarrollo de los ensayos, por medio del control por computadora que se ejerce utilizando un sistema en cascada para la verificación de variables internas, empezando por convertidores AD y sensores fotoeléctricos otorgando gran sensibilidad y exactitud en los datos.

Por ultimo al realizar los ensayos en la máquina entra en acción la celda de carga, la cual convierte la fuerza mecánica generada en los ensayos en impulsos eléctricos, de esta manera estos impulsos son llevados a un software de análisis y procesamiento donde se guardan y son convertidos en datos de información (bits). Esta máquina es ampliamente utilizada en la industria actual ya que permite el ensayo de diversos materiales entre ellos metales, no metales, materiales compuestos, medicinas, alimentos, plásticos, cauchos y fibras textiles.³

1.3 MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS SHIMADZU AGS-X

Es una máquina universal electromecánica con estructura tipo marco, la cual permite la ejecución de ensayos destructivos en gran variedad de materiales. Esta máquina cuenta con varios modelos según la capacidad de la celda de carga. Entre los modelos fabricados se tienen máquinas de 10 kN, 20 kN Y 50 kN para máquinas de mesa y de 100KN Y 300KN de piso.⁴ Ver figura 1.

Figura 1. Tipos de máquinas universales Shimadzu AGS-X.



Fuente: SHIMADZU, Corporation. Autograph AGS-X series, 2015.

³ Ibid.p 2.

⁴ SHIMADZU CORPORATION, AGS-X Series. [EN LINEA]. 2015. [Citado en 2 de Febrero de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.Shimadzu.com/an/test/universal/AGS-X/AGS-X.html>>

1.3.1 Características generales UTM Shimadzu AGS-X. Esta máquina ofrece el servicio de ensayo de materiales a un bajo costo y alto desempeño. Es un equipo de rápida instalación, debido a que cuenta con un acople que permite montar y desmontar con gran facilidad accesorios complementarios para cada uno de los ensayos a realizar. La máquina cuenta con un sistema de seguridad interno que permite detener cualquier ensayo que se esté realizando si los cambios de fuerza o energía exceden los niveles de ajuste iniciales.⁵

1.3.2 Calibración de la máquina universal. Toda máquina universal debe ser sometida a pruebas de verificación de fuerza de unidades SI, incluyendo la Shimadzu AGS-X. La máquina debe ser calibrada mediante los procedimientos descritos en la norma ASTM E4 “Standard Practices for Force Verification of Testing Machines”⁶, La cual describe tres tipos de procedimientos para la verificación de unidades de la máquina como lo son: uso de pesos estándar, uso de balanzas de brazos iguales, pesos estándar y uso de dispositivos de calibración elástica. La máquina ya cuenta con esta calibración de fábrica, pero se recomienda que la máquina sea calibrada cada 24 meses o cuando se traslade de sitio. Para Colombia se utiliza la norma NTC 7500-1 “GUÍA CALIBRACIÓN DE MÁQUINAS DE ENSAYO UNIAXIALES”⁷, desarrollada por Icontec.

1.4 MÁQUINA UNIVERSAL DE ENSAYOS SHIMADZU AGS-X - 50KN

La universidad de América adquirió una máquina universal de ensayos modelo Shimadzu AGS-X de 50 KN, tipo marco de mesa, la cual cuenta con las siguientes especificaciones. Ver Tabla 1.

⁵ SHIMADZU CORPORATION, AGS-X Series. [EN LINEA]. 2015. [Citado en 3 de Febrero de 2019]. Disponible en internet: <https://www.Shimadzu.com/an/test/universal/AGS-X/AGS-X_3.html>

⁶ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS.. Standard Practices For Force Verification Of Testing Machines. ASTM E4 -16. United States.2016.

⁷

Tabla 1. Especificaciones básicas Shimadzu AGS-X-50KN

CARACTERÍSTICAS	UNIDAD	AGS-X 50KN
Capacidad máxima	kN	50
Velocidad de avance	mm/min	0,001 - 800
Velocidad de retroceso	mm/min	1.100
Precisión del control de posición	nm	6,25
Altura efectiva de zona de muestreo modelo estándar	mm	1.210
Altura efectiva de zona de muestreo modelo +500	mm	1.670
Ancho efectivo zona de muestreo	mm	425
Dimensiones; Ancho x Profundidad x Altura	mm	785 x 600 x 1.633
Peso sin cubiertas de protección	kg	250
Tipo de motor	-	Servo motor AC
Voltaje	V	200-230
Potencia aparente	kW	6,5
Consumo energético	kW	-
Conexión a tierra (masa)	(Ω)	100 Ω Máximo

Fuente: SHIMADZU, Corporation, Instruction manual, operation guide, AGS-X series, 2015.

Además de las especificaciones básicas se necesita conocer las especificaciones técnicas de operación para utilizar la máquina universal de manera correcta. Ver Tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones técnicas de operación Shimadzu AGS-X-50KN.

PROPIEDAD	UNIDAD	RANGO
Temperatura	°C	5 – 40
Humedad	%	20 – 80
Fluctuación de voltaje permitidas	%	10% según la potencia aparente
Vibración del suelo	Hz	Max 10 Hz
	μm	Max 5 μm de Amplitud

Fuente: SHIMADZU, Corporation, Instruction manual, operation guide, AGS-X series, 2015

Es necesario conocer las especificaciones y características que desarrolla la máquina universal Shimadzu AGS-X de esta manera se hace más práctica la realización de los ensayos. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Especificaciones funcionales Shimadzu AGS-X-50KN.

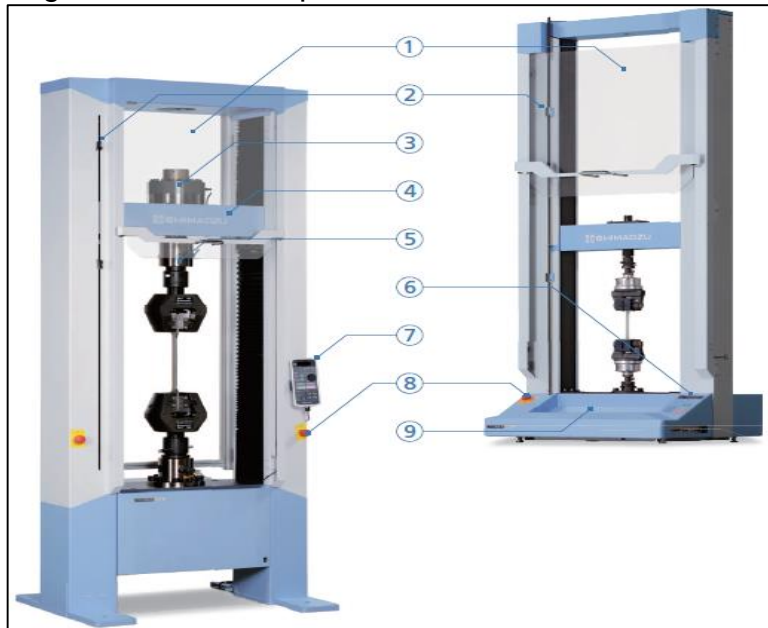
FUNCIÓN	CARACTERÍSTICA	UNIDAD	VALOR
	Resolución del control de posición	Nm	6,25
	Resolución en pantalla de posición	µm	1
	Detección de posición de cabezal	mm	0,01
	Número máximo de ciclos	ciclos/min	3
	Máximo número de horas de operación continua	H	10
	Máximo número de conteo de ciclos	Ciclos	1.000
Control de cabezal	Detección de ruptura de probeta	-	Detección por sensibilidad
	Acción después de ruptura de probeta	-	Stop o retorno a posición inicial
	Calibración	-	Automática
	Ajuste de punto cero	-	Ajuste digital
	18% de la celda de carga	-	1/10.000
	3,2% y 18% de la celda de carga	-	1/50.000
	0,56% y 3,2% de la celda de carga	-	1/200.000
	<0,56% de la celda de carga	-	1/500.000
Voltaje Analógico de entrada y salida	Número de canales	Nº	2
	Voltaje absoluto de entrada	V	± 12 V-DC
	Voltaje en escala completa	V	± 5 V-DC
	Medida de resolución de entrada	bit	18
	Medida de resolución de salida	bit	16
	Velocidad de salida	ms	10
Muestreo de datos	Precisión del voltaje	mV	± 10
	Velocidad de muestreo de datos	ms	1
Seguridad y protección integral	Límite de carrera	-	Seguro localizado en la parte superior e inferior
	Límite de sobrecarga	-	Actúa automáticamente cuando la carga sobrepasa el 102%
	Protección de la celda de carga	-	Actúa cuando la carga sobrepasa el 150%
	Botón de emergencia	-	Apaga el servo motor

Fuente: SHIMADZU, Corporation, Instruction manual, operation guide, AGS-X series, 2015

1.5 PARTES Y SOFTWARE SHIMADZU AGS-X - 50KN

La máquina cuenta con varias partes clave dentro de su funcionamiento como lo son: panel de control, cabezal, celda de carga etc. En la Figura 2, se puede observar la distribución de las partes principales de la máquina universal de ensayos Shimadzu AGS-X. También es importante mencionar que para el completo funcionamiento, la máquina cuenta con varios accesorios complementarios y de un software especializado para la recopilación de datos durante los ensayos.

Figura 2. Partes máquina universal Shimadzu AGS-X.



Fuente: SHIMADZU, Corporation. Autograph AGS-X, 2015. Vol 1

1. Zona de carrera; es todo el espacio disponible para que el cabezal se desplace dentro del marco de la máquina, este posee una distancia de recorrido de 1.2 metros, además posee en su parte superior un protector contra escombros, el cual posee un sensor que al activarse detiene el ensayo.
2. Limitador de carrera; Permiten un ajuste simple, con un toque generando un bloqueo firme de las posiciones de límite de carrera del cabezal de la máquina, tanto para el avance o retroceso.
3. Celda de carga; Es un instrumento el cual permite convertir una fuerza en una corriente eléctrica mediante el "principio de Wheatstone"⁸, el cual explica que por

⁸ Raghavendra, N.V. Krishnamurthy, L. (2013). Engineering Metrology and Measurements - 14.3.3 Proving Rings. (pp. 346). Oxford University Press.

medio del cambio de tensión en una serie de 4 resistencias al aplicar una carga se produce un diferencial que puede ser medible, en donde se genera una señal eléctrica de salida. Esta parte se puede ver en la Imagen 1.

Imagen 1. Celda de carga de Shimadzu AGS-X 50kN



Fuente: elaboración propia.

4. Cabezal; Permite ensamblar varios de los accesorios necesarios para realizar los ensayos. Este cabezal cuenta con una velocidad de desplazamiento máxima de 800 mm/min y una mínima de 0,001 mm/min.
5. Acople superior universal; permite la fácil instalación de los accesorios para montajes de tensión y compresión, facilitando el intercambio de plantillas ya que se fija al cabezal de la máquina mediante un sistema de pernos.
6. Panel de operación incorporado. Este panel está disponible solo para las máquinas universales Shimadzu AGS-X de 10kN.
7. Panel de control principal; El panel principal permite el ajuste y almacenamiento de las condiciones de prueba de un ensayo, lo que posibilita realizar pruebas sin tener que conectarse a una PC. Además permite realizar operaciones de desplazamiento para el ajuste y ensamble de las probetas la máquina universal. Ver Imagen 2.
8. Botones de emergencia; Corta la energía del servo motor deteniendo inmediatamente el cabezal de desplazamiento, cuenta con 2 botones, ubicados en la parte frontal de la máquina.
9. Bandeja multiusos; Es un espacio utilizado para colocar accesorios de la máquina, herramientas, organizar muestras o tomar notas de los ensayos a realizar.

Imagen 2. Panel de control



Fuente: elaboración propia

1.5.1 Accesorios complementarios. Para la ejecución de los ensayos en la máquina universal es necesario utilizar distintos accesorios para adaptar la máquina a diferentes tipos de ensayos como lo son: Tensión, compresión y flexión de 3 puntos.

1.5.1.1 Accesorios para ensayos a tensión. La máquina cuenta con un par de mordazas adecuadas para la ejecución de los ensayos a tensión ver Imagen 3. Estas mordazas pueden utilizarse para probar 2 tipos de probetas, cilíndricas y planas, y a su vez pueden utilizarse para probar materiales metálicos, plásticos, cerámicos y maderas.

Imagen 3. Mordazas para ensayo de tensión Shimadzu AGS-X 50 kN.



Fuente: elaboración propia

Estas mordazas son específicas para cada modelo de máquina universal. En la Tabla 4 se puede observar las características propias del área de agarre de las mordazas para la máquina universal Shimadzu AGS-X de 50 kN.

Tabla 4. Dimensiones mordazas para tensión Shimadzu AGS-X 50 kN

Mordazas para ensayo de tensión		
Medidas y superficie de agarre para probetas planas	Superficie de agarre	Tipo lima
	Holgura	0 -7 mm
	Espesor	40 mm
	Largo	55 mm
Medidas y superficie de agarre para probetas cilíndricas	Diámetro	4-9 mm
	Largo	55 mm

Fuente: SHIMADZU, Corporation. Autograph AGS-X, 2015. Vol 1

1.5.1.2 Accesorios para ensayos a compresión. La máquina universal de ensayos cuenta con dos platos cilíndricos, ver Imagen 4, los cuales se apoyan en la parte inferior del cabezal y a su vez en la parte superior de la base de la máquina. Estos platos permiten el ensayo de materiales metálicos, plásticos, maderas, cementos y cauchos a compresión. La forma de las probetas que pueden usarse es muy diversa, entre algunas representativas están, cilindros, tubos, aros y cubos.

Imagen 4. Platos para ensayos de compresión Shimadzu AGS-X 50kN



Fuente: elaboración propia

Los platos que se utilizan para este ensayo son genéricos para todos los modelos de la máquina universal Shimadzu AGS-X, en el Tabla 5, se especifican las dimensiones, y temperatura de operación de los platos.

Tabla 5. Dimensiones de platos para compresión Shimadzu AGS-X 50 kN.

Platos para ensayos de compresión	
Diámetro	50 mm
Altura	25 mm
Temperatura de operación	0-40 °C

Fuente: SHIMADZU, Corporation. Autograph AGS-X, 2015. Vol 1.

Las probetas deben tener un diámetro máximo de 50 mm, si se va a utilizar una probeta con mayor diámetro se debe usar un accesorio adicional para que se ajuste a la forma de la probeta.

1.5.1.3 Accesorios para ensayos de flexión de 3 puntos. La máquina universal de ensayos Shimadzu AGS-X cuenta con un kit especial para realizar el ensayo de flexión de 3 puntos, ver Imagen 5, este kit está compuesto de una base especial para colocar los soportes inferiores que servirán para ser apoyo de la muestra a ser probada por flexión, estos son dos soportes que cumplen como 2 de los 3 puntos de carga y un accesorio superior que cumple la función de punzón para ser el 3 punto de carga.

Imagen 5. Kit de flexión de 3 puntos para Shimadzu AGS-X 50 kN.



Fuente: elaboración propia

Este kit para ensayos de flexión de 3 puntos permite el ensayo de materiales como son; metales, plásticos, cementos y materiales compuestos. En el Tabla 6, se puede observar las dimensiones de los soportes y del punzón, también llamados puntas.

Es posible utilizar 2 tipos de probetas las cuales son planas y cilíndricas las dimensiones máximas de estas probetas se pueden ver en el Tabla 7.

Tabla 6. Características de kit de flexión Shimadzu AGS-X 50 kN.

KIT DE FLEXIÓN		
Dimensiones	Valores	Unidades
Dimensiones punzón	R5 x 34	mm
Dimensiones soportes	R2 x 34	mm
	R5 x 34	mm
Distancia variable entre soportes	20 a 200	mm

Fuente: SHIMADZU, Corporation. Autograph AGS-X, 2015. Vol 1.

Tabla 7. Dimensiones máximas de probetas para ensayo de flexión.

Forma de probetas	Dimensión máxima	Longitud
Probetas planas	Largo	425 mm
	Ancho	40 mm
Probetas cilíndricas	Diámetro	4-9 mm
	Largo	425 mm

Fuente: elaboración propia

1.5.2 Software TRAPEZIUM X. Este software, ver Figura 3, permite en tiempo real analizar, almacenar y graficar los datos obtenidos a partir de los ensayos que se realizaran en la máquina. En donde se puede analizar cerca de 50 tipos de gráficas correspondientes a variables de los ensayos, además este software permite llevar un control estadístico de los ensayos para así elaborar histogramas y gráficos de control⁹. La versatilidad y fácil uso del software permite la medición de variables, identificación de esfuerzos, desplazamientos y deformaciones, siendo ideal para la investigación y estudio de todo tipo de materiales.

⁹ SHIMADZU, Corporation. Trapezium Lite X. [EN LÍNEA]. 2018. [Citado en 20 de Abril de 2019]. Disponible en internet: <https://www.Shimadzu.com/an/test/universal/trapezium_litex.html>

Figura 3. Interfaz Trapezium X.



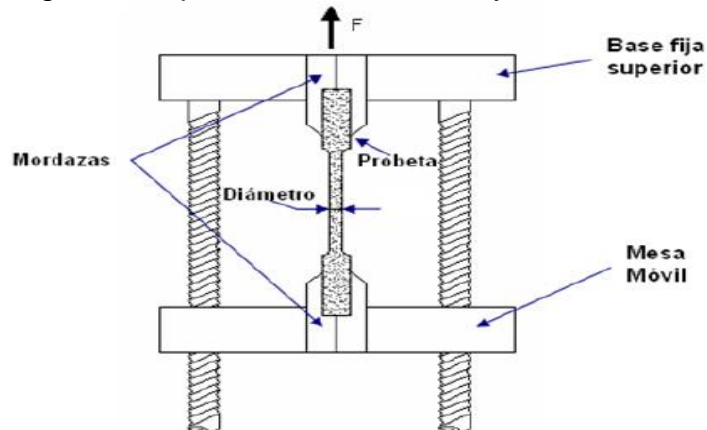
Fuente: elaboración propia.

1.6 TIPOS DE ENSAYOS REALIZABLES EN SHIMADZU AGS-X – 50 kN

En función de los accesorios que posee la máquina universal de ensayos permite la ejecución de varios tipos de ensayos destructivos dentro de los cuales se encuentran el ensayo de tensión, compresión y flexión de 3 puntos. Se explicara el significado e importancia de la ejecución de estos ensayos para conocer ciertas propiedades en los materiales sujetos a pruebas.

1.6.1 Ensayo de tensión. Ensayo realizado para medir ciertas propiedades mecánicas de un material al aplicar carga continua. Esta prueba de laboratorio consiste en aplicar fuerzas axiales crecientes en los extremos alargando la probeta, hasta que se produzca una rotura del material bajo el ensayo. Ver Figura 4.

Figura 4. Representación del ensayo de tensión.



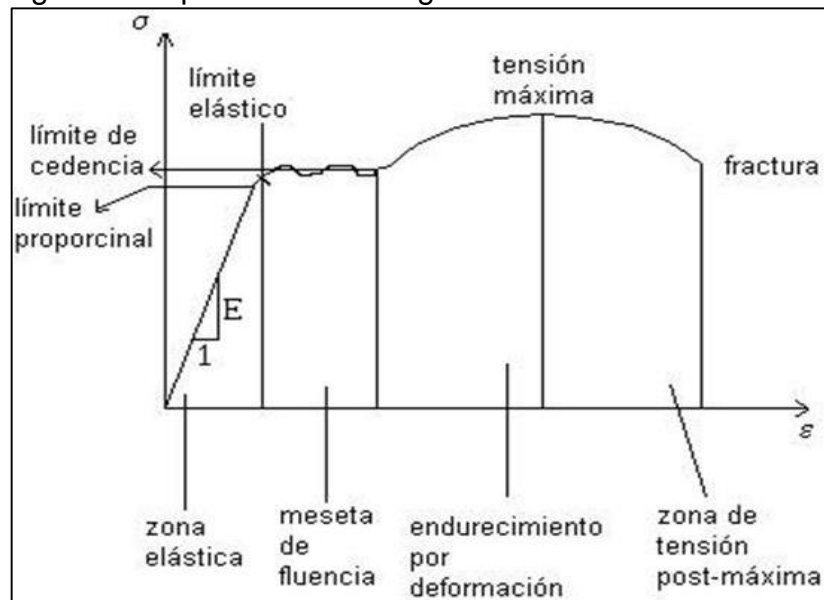
Fuente: ECIJL. Ensayo de Tensión. Junio. 2011. Vol. 1

El ensayo a tensión permite conocer propiedades específicas del material como: límite elástico, límite de fluencia, alargamiento, coeficiente de Poisson, módulo de elasticidad y resistencia a la tensión. Este tipo de ensayo cuenta con varias curvas características, de las cuales la más representativa es esfuerzo-deformación.

Se puede identificar que en las curvas esfuerzo-deformación cuenta con 4 secciones las cuales son la región elástica del material, donde el esfuerzo es proporcional a la deformación, por lo tanto si la carga desaparece el material vuelve a su longitud inicial siendo la zona elástica del material, ver figura 5. La siguiente zona de la curva de esfuerzo-deformación es la denominada meseta de fluencia, en la cual el material por primera vez va a deformarse sin aumentar la carga del material sin poder volver a su longitud inicial. La tercera zona es el inicio de la zona plástica, denominada endurecimiento por deformación, en la cual debido a la carga aplicada al material, en un punto de determinado de su estructura por una inestabilidad local del material debido a defectos lineales como dislocaciones y deslizamientos que se producen dentro de la microestructura de la probeta la acumulación de esfuerzos y endurecimiento del material en un punto de la probeta, de esta manera se genera una tensión máxima, llegando a la zona de tensión post- máxima generando una estricción o encuellamiento llegando a la ruptura de la probeta. La pendiente de la gráfica esfuerzo-deformación en la zona elástica es conocida como el módulo de elasticidad.¹⁰

La gráfica esfuerzo- deformación es independiente de cada material ya que cada uno de ellos cuenta con diferentes composiciones químicas, tratamientos térmicos, tasa de deformación, anisotropía, orientación de la carga, temperatura de la probeta, forma y tamaño.

Figura 5. Representación de gráfica esfuerzo-deformación.



Fuente: MOOSBRUGGER, Charles. .Atlas Of Stress-Strain curves. Representation Of Stress-strain Behavior. 2012

¹⁰ BEER, Ferdinand. y JOHNSTON, Rusell. Mecánica De Materiales. 3 ed. [s.l.]. : Mc Graw Hill, 2001. 50 p.

1.6.2 Ensayo de flexión. Es un tipo de ensayo que permite conocer ciertas propiedades mecánicas de un material cuando es sometido a cargas en una dirección perpendicular a su eje longitudinal y que generalmente son materiales tipo viga que generalmente son las que trabajan de esta manera.

En el ensayo de flexión se presentan nuevos efectos dentro de la probeta de muestra debido a las cargas aplicadas, donde la probeta desarrolla una fuerza cortante (V) y un denominado momento flector los cuales son variables en toda la probeta con respecto al punto de aplicación de la carga y distancias entre los apoyos de la muestra de material, este momento flector (M) y fuerza cortante son muy importantes en el diseño de elementos de máquinas ya que simulan los esfuerzos y cargas a las que son sometidas algunos elementos y se representan por medio de gráficas.¹¹

La deformación de un elemento que trabaja a flexión da a entender que su comportamiento estructural en su parte superior se comprime y en la parte inferior se alarga, estas probetas en su estructura poseen fibras en las que se puede observar su compresión y su alargamiento pero también se observa que en el centro de la probeta se encuentra una fibra neutra, ver figura 6, la cual no varía con respecto al valor antes de la deformación.¹²

En el ensayo de flexión existen algunas variables características como lo son el esfuerzo de flexión, momento flector, momento de inercia, deformación y módulo de elasticidad, que sirven como referencia para realizar el modelo matemático para los ensayos de flexión, este tipo de ensayo se puede realizar en materiales cerámicos, polímeros y metálicos.

Figura 6. Comportamiento a flexión de una viga



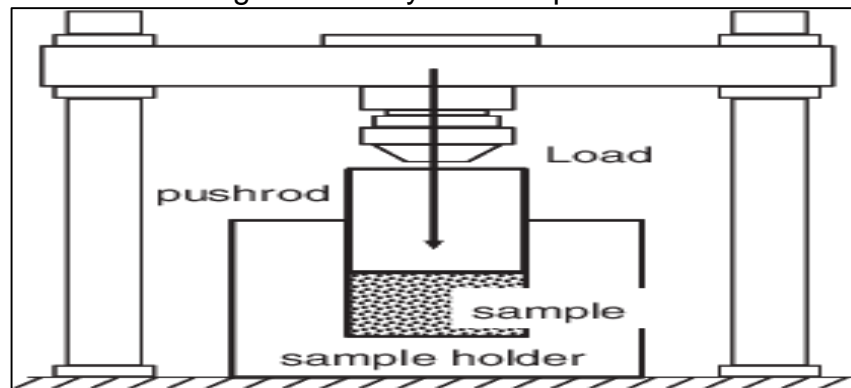
Fuente: ZARRAONANDIA, Iñaki. Flexión pura. [EN LINEA].
. [Citado en 23 de julio de 2019]. Disponible en internet:
<<https://ibiguridp3.wordpress.com/>>

¹¹ BEJARANO, Edwin. Ensayo De Flexion. [EN LINEA]. Universidad Distrital. [Citado en 19 de Octubre de 2018]. Disponible en internet: <<http://udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+FLEXION.pdf?versio n=1.0.>>

¹² Ibíd. P.3.

1.6.3 Ensayo de compresión. El ensayo de compresión consiste en deformar una probeta de forma cilíndrica para producir una nueva con un diámetro mayor y de menor longitud, esto se logra aplicando cargas uniaxiales, ver Figura 7, esta prueba se considera más fiable para establecer la curva de esfuerzo-deformación, se utiliza para poner a prueba materiales que trabajan a altas temperaturas, materiales con poca maquinabilidad y que no se pueden poner a prueba a ensayo de tensión.

Figura 7. Ensayo de compresión.



Fuente: ASAGA, Takeo. Schematic diagram of the Compression test machine. [EN LINEA]. [Citado en 14 de Octubre de 2018]. Disponible en internet: < https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-the-compression-test-machine_fig1_254276692 >

Este ensayo cuenta con dos variables al momento de realizarse las cuales son: Pandeo y abarilamiento. El pandeo se presenta cuando existe una deflexión lateral causada por las deflexiones al momento de someter la probeta a cargas axiales de compresión y el abarilamiento se produce debido a que la superficie externa de la probeta se deforma, produciendo fallas en la toma de datos en el ensayo de compresión. El objetivo fundamental del ensayo de compresión es conocer la resistencia a la compresión, la cual se denomina resistencia última en donde el material se vuelve quebradizo también el límite elástico.¹³

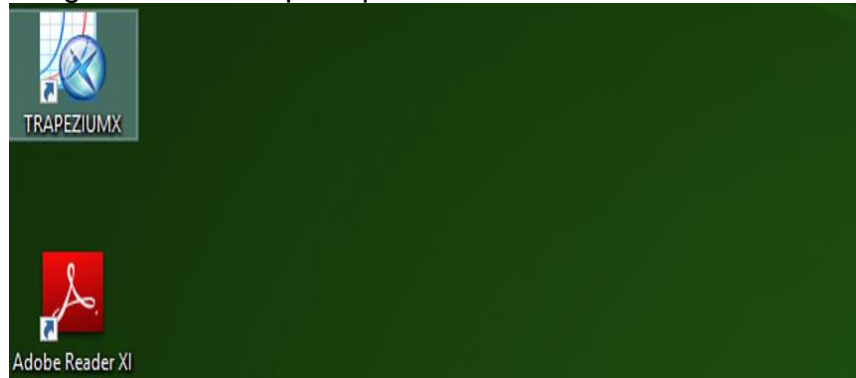
1.7 PROCEDIMIENTO GENERAL PARA EL USO DEL SOFTWARE TRAPEZIUM X

Para la ejecución de los ensayos a tensión en materiales metálicos, plásticos y compuestos es necesario seguir una guía paso a paso, para evitar inconvenientes a la hora de utilizar el equipo y el software según el proyecto o investigación. Este paso a paso es específico para la creación de nuevos ensayos y su posterior desarrollo mediante el software de apoyo como lo es Trapezium X.

¹³ ASTM. Standard Test Methods Of Compression Testing Of Metallic Materials At Room Temperature. E9-89A. 2000 ed. : American National Standard, 7 p.

En primer lugar encender la máquina y el equipo de cómputo, con el botón y relé que se encuentran en la parte lateral de la máquina, revisar las conexiones eléctricas y puertos con hacia el computador, estar atento a los botones de emergencia (rojo), ubicados en la parte frontal de la máquina, estos botones no deben estar presionados, ver figura 2, luego encender el computador y este nos dirigirá al escritorio. Ver Imagen 6.

Imagen 6. Pantalla principal PC auxiliar.



Fuente: elaboración propia.

Una vez inicie la máquina, es necesario dirigirse al computador, donde se encuentra el software **TRAPEZIUM X**, ubicado en la parte superior izquierda del escritorio, ver Imagen 7, el software se iniciara y será necesario ingresar los datos como son; usuario y contraseña, definidos así:

Imagen 7. Interfaz de inicio Trapezium X.



Fuente: elaboración propia.

- USUARIO: admin
- CONTRASEÑA: admin

Después se ingresará a la interfaz del programa, en donde se debe seleccionar la opción crear método, ver Imagen 8.

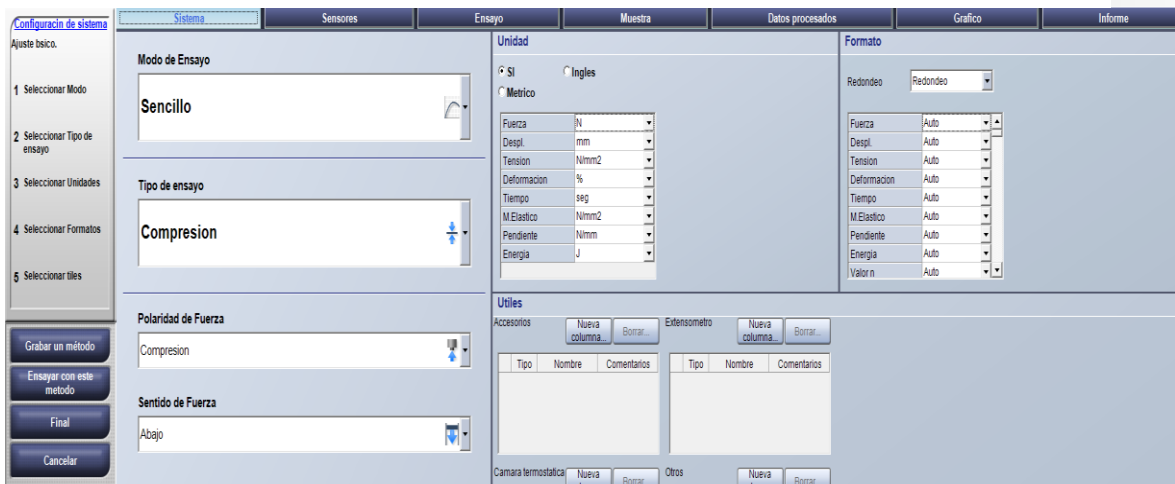
Imagen 8. Interfaz principal de Trapezium X.



Fuente: elaboración propia.

Después seleccionar en crear método, el programa abrirá una nueva pestaña con 7 viñetas donde la primera que aparecerá será sistema, ver Imagen 9, esta viñeta permitirá seleccionar el modo de ensayo y el tipo de ensayo a realizar como principales características, esto se realiza en función de los accesorios de la máquina que se posea, en este caso se puede seleccionar ensayos de tensión, compresión o flexión por 3 puntos. También es importante mencionar que en esta parte del programa se seleccionaran las unidades con las que se trabajara el ensayo, el tipo de formato y sí se utilizara algún elemento extra en el ensayo como lo son extensómetros o deflexómetros.

Imagen 9. Interfaz sistema de Trapezium X.

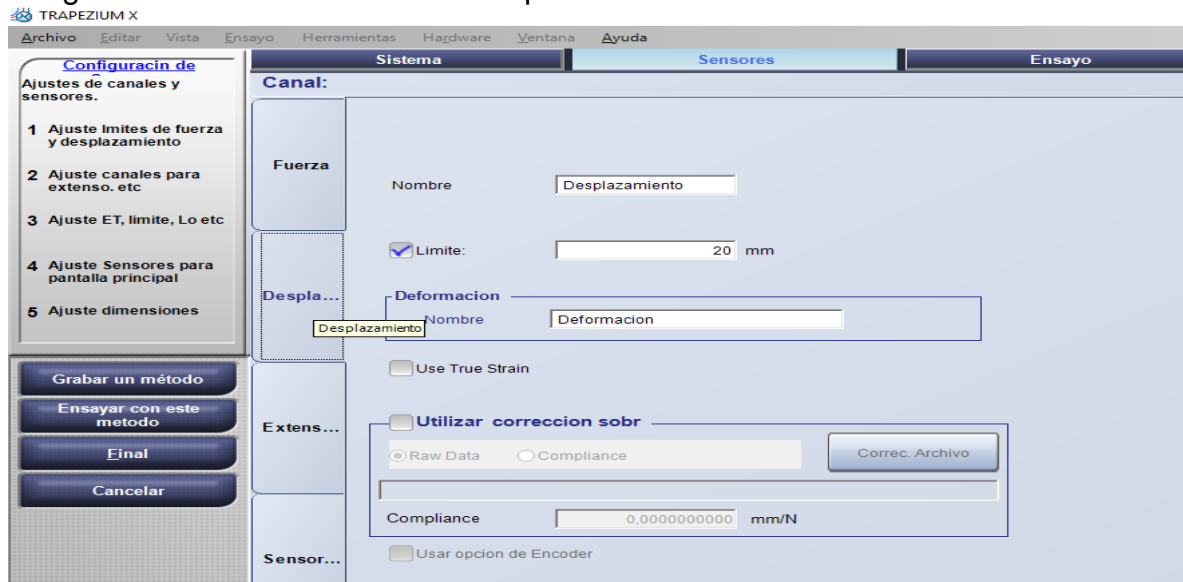


Fuente: elaboración propia.

El programa por defecto al seleccionar el ensayo que se trabajara, automáticamente escogerá la polaridad y sentido de la aplicación de la fuerza

La siguiente pestaña es la de sensores, ver Imagen 10, en esta parte se ajustaran los límites de fuerza y desplazamiento que la máquina puede efectuar durante el ensayo, es de vital importancia establecer el recorrido máximo que la máquina puede efectuar ya que de esta manera no se pondrá en riesgo la integridad del dispositivo. También en esta sección se puede ajustar el funcionamiento de los accesorios extras que se pueden integrar a la máquina como lo son extensómetros y deflexómetros.

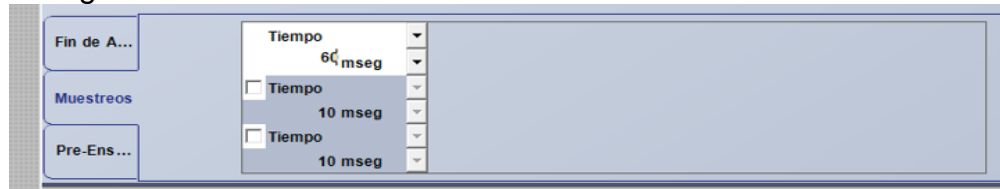
Imagen 10. Interfaz sensores de Trapezium X.



Fuente: elaboración propia.

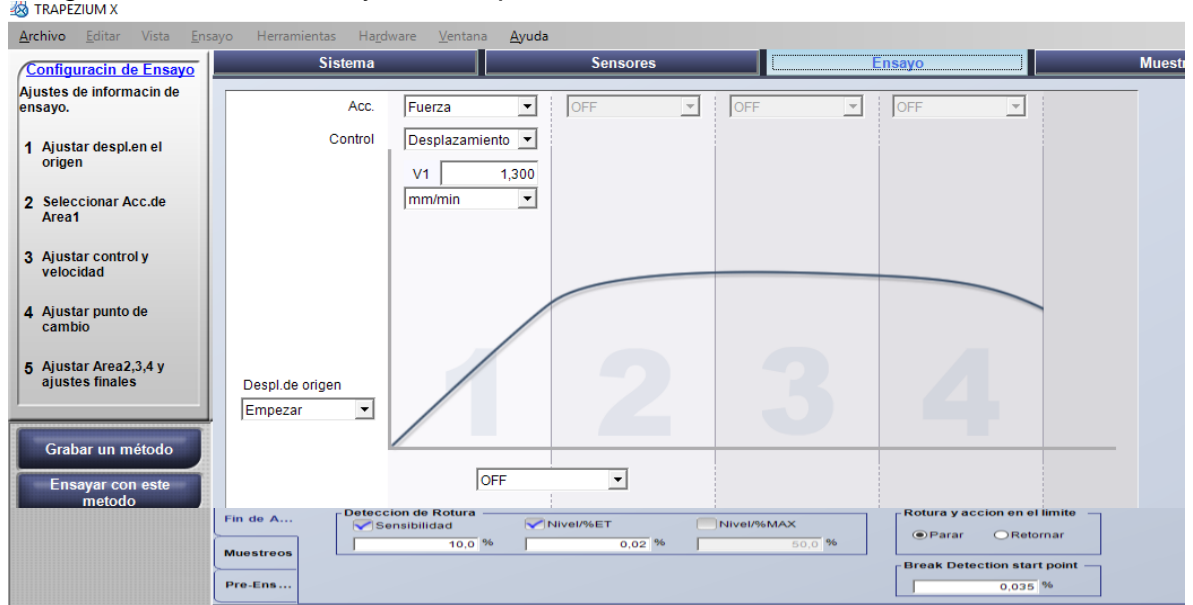
A continuación, nos dirigimos a la sección de ensayo, ver Imagen 12, aquí se pueden ajustar 5 parámetros importantes como lo son: origen de la gráfica, velocidad de desplazamiento, parámetros principales de medida, ajuste de tiempo de recolección de datos y por último sensibilidad de la máquina. Es importante mencionar que se debe seleccionar el intervalo de tiempo en el cual la máquina recopilara y almacenara los datos de los ensayos, para esto se configurara la pestaña muestreos en la sección de ensayo, ver Imagen 11.

Imagen 11. Pestaña muestreos



Fuente: elaboración propia.

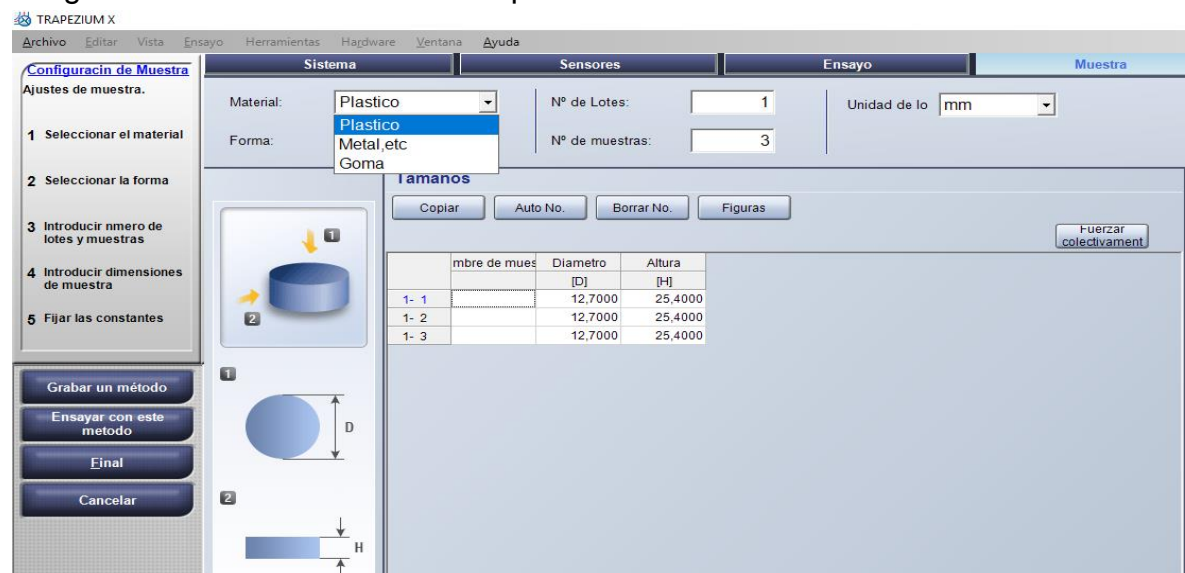
Imagen 12. Interfaz ensayo de Trapezium X



Fuente: elaboración propia

La siguiente pestaña para ajustar es la de muestra, ver Imagen 13, en donde se debe seleccionar el tipo de material a evaluar, tipo de forma de la muestra, número de lotes, número de muestras, unidades de la muestra, dimensiones de la muestra y fijar constantes.

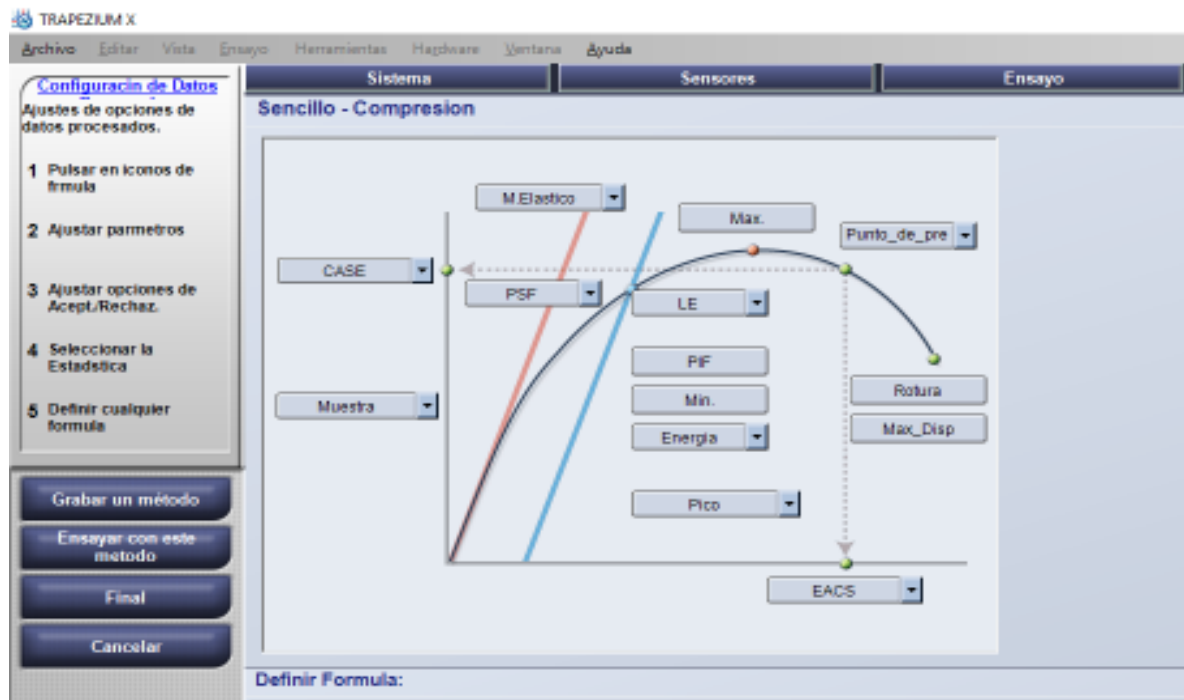
Imagen 13. Interfaz muestra de Trapezium X.



Fuente: elaboración propia.

En la siguiente pestaña de datos procesados, ver Imagen 14, se escogerán los datos que se quieran obtener del ensayo a realizar, de esta manera se puede escoger datos como modulo elástico, desplazamientos, deformaciones, fuerzas y esfuerzos como de rotura y fluencia.

Imagen 14. Interfaz datos procesados de Trapezium X.



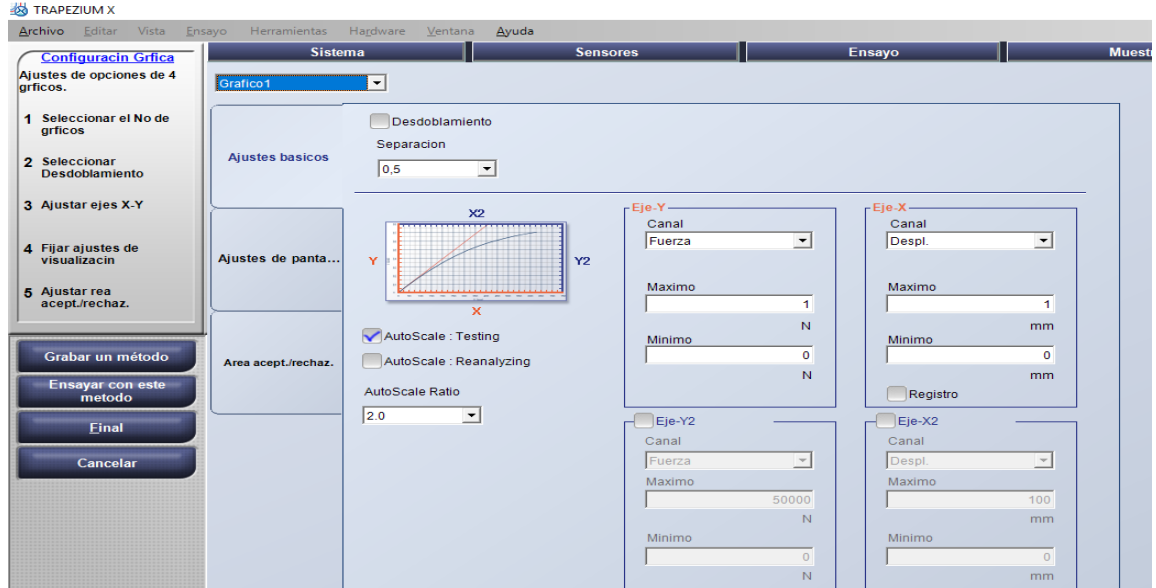
Fuente: elaboración propia.

En la penultima pestaña de gráficos, ver Imagen 15, se crearan las gráficas que se requieran monitorear durante el ensayo, entre ellas se pueden destacar las gráficas de fuerza vs desplazamiento, esfuerzo vs deformación y fuerza vs tiempo etc. Un requerimiento especial es que los datos especificos de máximo y mínimo tengan los siguientes valores:

- Máximo: 1
- Mínimo: 0

Este procedimiento se realiza para que las gráficas comiencen a representar los los valores netos del ensayo desde el origen de los ejes.

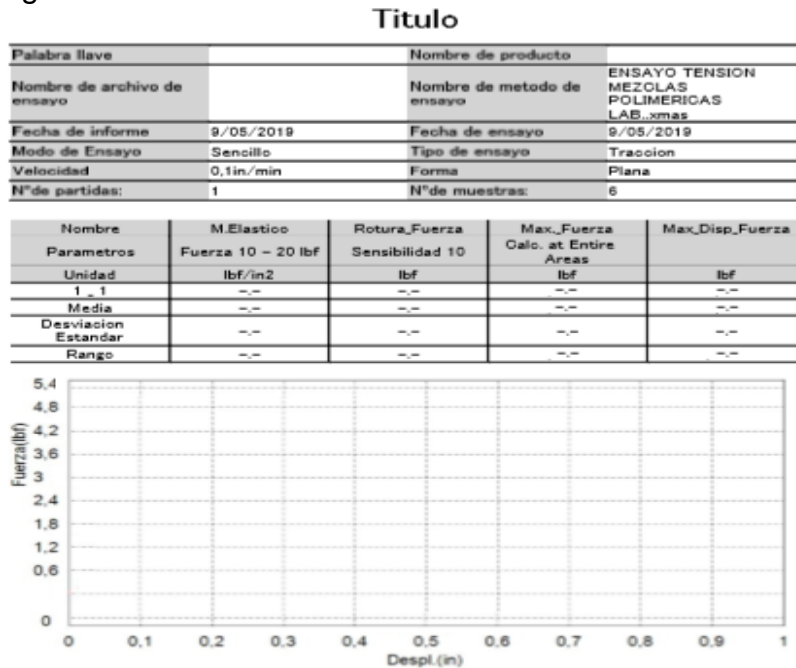
Imagen 15. Interfaz gráfico de Trapezium X.



Fuente: elaboración propia.

La última pestaña es informe, en esta sección se busca configurar los aspectos gráficos, para mostrar la hoja de informe final del ensayo en donde se puede colocar el nombre del ensayo, cantidad de gráficas y datos representativos que se quieran mostrar. Ver Imagen 16.

Imagen 16. Interfaz informe.



Fuente: elaboración propia

Por último, es necesario guardar el ensayo creado, seleccionando “grabar un método” en la parte izquierda de la interfaz, una vez hecho esto se puede proceder a realizar el ensayo, para esto seleccionar el ítem de “ensayar con este método” redirigiendo a la interfaz de ejecución del ensayo. Realizar la calibración electrónica correspondiente y establecer los límites de carrera para el ensayo a realizar.

1.8 RECOMENDACIONES FINALES PARA REALIZAR LOS ENSAYOS

1. Antes de iniciar la práctica, estudiar y planear el trabajo a realizar, asegurarse de qué, cómo y cuándo debe realizarse cada operación. En caso de duda preguntar al profesor titular o al auxiliar. Estudiar la bibliografía con el objeto de un mejor aprovechamiento de la práctica.
2. En caso de utilizar un equipo que no conoce, consultar con el profesor o el auxiliar. No tocar nada sin saber que va a suceder.
3. No dejar equipos en funcionamiento sin atención, en caso de que esto sea inevitable, comunicar a la persona responsable del equipo.
4. Tratar los equipos con cuidado, son de alto costo, delicados y difíciles de reemplazar.
5. Limpiar el área de trabajo, no dejar probetas, herramientas o accesorios en lugares no previstos para ello.
6. Tomar datos en forma clara, de tal manera que sea fácil su interpretación.
7. Repita el procedimiento de una forma ordenada, a su vez maneje equipo de seguridad para la práctica como lo son gafas, bata y guantes.
8. Después de terminada su práctica, deje en orden las piezas que haya utilizado y colóquele el forro a la máquina universal.

2. FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS SEGÚN LAS NORMAS ASTM

Las probetas son parte fundamental de la ejecución del proyecto, con estas se realizaran los ensayos. Para este proyecto se seleccionaron dos tipos de metales, dos tipos de plásticos y dos tipos de materiales cerámicos. Estos materiales y sus dimensiones se seleccionaron con respecto a la capacidad de la máquina, la cual es de 50 kN, por esta razón los materiales no deben superar esta capacidad de carga.

2.1 DISEÑO DE PROBETAS METÁLICAS DE TENSIÓN

Para la fabricación y selección de las probetas se debe utilizar la norma ASTM A370¹⁴ y ASTM E8¹⁵ las cuales indican cuales son las características y dimensiones necesarias para la fabricación de la probeta a evaluar mediante el ensayo de tensión para especímenes metálicos.

2.1.1 Tipo de probeta. Las probetas deben ser fabricadas de acuerdo a la norma ASTM E8¹⁶, la cual describe los métodos de prueba estándar para pruebas de tensión en materiales metálicos. En el numeral 6 se describen diferentes tipos de probeta como lo son; tipo placa, tipo hoja y redonda, estas se diferencian de acuerdo a la forma de agarre de la máquina a la probeta, el tamaño de la probeta, fabricación del espécimen y relación al proceso de conformado del material del espécimen a estudio. Para este proyecto se seleccionó la probeta tipo hoja.

2.1.2 Probeta plana. Es una probeta utilizada para aceros con proceso de fabricación de forjado, utilizado para probar materiales metálicos en forma de hoja, placa, alambre, banda o aro, cuya probeta puede tener un grosor nominal entre 0,13 mm y 25 mm.

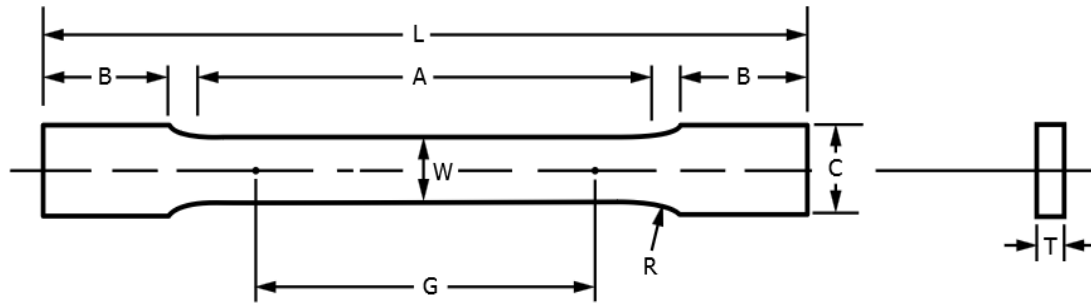
2.1.3 Dimensiones de la probeta plana. La probeta tipo hoja cuenta con unas dimensiones estándares, ver Figura 8 y Tabla 8, las cuales se usaran para su fabricación.

¹⁴ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods And Definitions For Mechanical Testing Of Steel Products. A370 – 12A. United States.: ASTM International, 2012. 48 p.

¹⁵ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. E8/E8M. 13 ed. United States.: ASTM International, 2013. 28 p.

¹⁶ Ibid., p. 4.

Figura 8. Cotas probeta plana.



Fuente: ASTM, International. A370, 2012, Vol. 12.

Tabla 8. Dimensiones de la probeta plana.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
G	Longitud interna de sección reducida	50 ± 0.10	2 ± 0.005
W	Ancho de sección reducida	12,5 ± 0,25	0,5 ± 0.010
T	Espesor de muestra	0,13 y 25	0.512 y 1
R	Radio del filete	13	0.5
L	Longitud total de muestra	200	8
A	Longitud de sección reducida	60	2,25
B	Longitud de sección de agarre	50	2
C	Ancho de la sección de agarre	20	0,75

Fuente: elaboración propia.

2.1.4 Material de fabricación de las probetas. Para la fabricación de las probetas se tuvo en cuenta la capacidad de la máquina, por esto se seleccionaron dos aceros de bajo contenido de carbono los cuales son el AISI 1020 Y AISI 1045, los cuales poseen las siguientes composiciones ver Tabla 9 y 10, y Anexo A y J.

Tabla 9. Composición química acero AISI 1020.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% CARBONO	% MANGANESO	% MAX. FOSFORO	% MAX. AZUFRE	% MAX. SILICIO
ANALISIS	0,18	0,3	0,04	0,05	0,15
TIPICO EN %	0,23	0,6			0,3

Fuente: Compañía general de aceros. SAE 1020 y 1045, marzo. 2007 vol.1.

Tabla 10. Composición química acero AISI 1045.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% CARBONO	% MANGANESO	% MAX. FOSFORO	% MAX. AZUFRE	% MAX. SILICIO
ANALISIS	0,43	0,6	0,04	0,05	0,2
TIPICO EN %	0,50	0,9			0,4

Fuente: Compañía general de aceros. SAE 1020 y 1045, marzo. 2007 vol.1

2.1.4 Proceso de fabricación. Para la fabricación de las probetas la norma ASTM E8¹⁷ recomienda que se pueden obtener a partir de dos procesos, los cuales son: Troquelado y mecanizado. Se decidió fabricar las probetas de tensión por medio de un CNC, lo cual permitió cumplir con los requerimientos de la norma. La probeta para el ensayo de tensión se puede observar en la Imagen 17.

Imagen 17. Probeta metálica a tensión.



Fuente: elaboración propia.

2.2 DISEÑO DE PROBETAS METÁLICAS DE COMPRESIÓN

Para la fabricación y selección de las probetas se debe utilizar la norma ASTM E9¹⁸, la cual indica cuales son las características y dimensiones necesarias para la fabricación de la probeta a evaluar mediante el ensayo de compresión para especímenes metálicos.

2.2.1 Tipo de probeta. La fabricación de las probetas se debe realizar según la norma ASTM E9¹⁹, en el numeral 7 se especifican las condiciones de fabricación de las probetas, las cuales pueden ser de dos formas; cilíndricas o planas. Para este ensayo se utilizó una probeta cilíndrica la cual cuenta con tres tipos de medidas; corta, mediana y larga. Se escogió la probeta cilíndrica corta, porque se requiere menos material para su obtención.

2.2.2 Dimensiones probeta cilíndrica corta. Se busca que las dimensiones de la probeta no varíen en su diámetro y largo más del 1% lo que significa una variación menor de 0.05 mm. El acabado de la superficie debe ser de 1,6 μm o mayor, siendo las caras totalmente planas y paralelas. Las dimensiones finales se pueden encontrar en el Tabla 11 y 12.

¹⁷ Ibid., p. 6.

¹⁸ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods Of Compression Testing Of Metallic Materials At Room Temperature. E9. 89a ed. United States.: ASTM International, 2000. 9 p.

¹⁹ Ibid., p. 3.

Tabla 11. Dimensiones probeta cilíndrica corta de aluminio.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
D	Diámetro	10	0,39
L	Longitud	20	0,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Dimensiones probeta cilíndrica corta de bronce.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
D	Diámetro	6	0,25
L	Longitud	12	0,48

Fuente: elaboración propia.

2.2.3 Material de fabricación de las probetas. Para la fabricación de las probetas a compresión se eligió aluminio y bronce ver Tabla 13 y 14, se seleccionaron aleaciones no férricas para este ensayo, esto debido a que los aceros poseen una elevada resistencia a compresión. Para mayor información ver anexos D y G.

Tabla 13. Composición química aluminio-6063.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% Si	% Fe	%Mg	%Cr	% Cu	%Zn	% Mn	% Al
ANÁLISIS TÍPICO EN %	0,2-0,6	0,35	0,45-0,9	0,1	0,1	0,1	0,1	Remanente

Fuente: Promecol Ltda. Aluminio, especificaciones del producto. 2018. Vol. 1.

Tabla 14. Composición química bronce fosforado.

COMPOSICIÓN QUÍMICA	% Cu	% Pb	% Sn	% Zn
ANÁLISIS TÍPICO EN %	84	7	2	7

Fuente: Promecol Ltda. Bronce fosforado común. 2017. Vol. 1.

2.1.4 Proceso de fabricación. Para la fabricación de las probetas la norma ASTM E9²⁰ recomienda el proceso de mecanizado en una máquina herramienta, mediante operaciones de cilindrado y refrentado, para poder dar forma a las probetas, ver Imagen 18 y 19, de esta manera se mecanizó un elemento tipo barra, hasta darle la forma cilíndrica.

²⁰ Ibid., p. 5.

Imagen 18. Probeta de aluminio a compresión.



Fuente: elaboración propia.

Imagen 19. Probeta de bronce a compresión.



Fuente: elaboración propia.

2.3 DISEÑO DE PROBETAS METÁLICAS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS

Para la fabricación y selección de las probetas se debe utilizar la norma ASTM E290²¹, la cual indica cuales son las características y dimensiones necesarias para la fabricación de la probeta a evaluar mediante el ensayo de flexión, en donde se busca evaluar la ductilidad del material y evidenciar sí al someterse al ensayo de flexión se provocan grietas o roturas en la superficie de la probeta.

²¹ ASTM E290-14, Standard Test Methods for Bend Testing of Material for Ductility, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014

2.3.1 Dimensiones de la probeta. La forma y dimensión de las probetas a flexión de 3 puntos, según la norma ASTM E290²², sugiere que la sección transversal sea rectangular y que sus dimensiones cumplan una relación 8:1 de ancho a espesor o mayores, facilitando que la muestra que se vaya a someter al ensayo permita doblarse y evidencie un comportamiento de deformación plano. La longitud de la probeta debe ser mayor que la distancia entre los soportes. Las dimensiones finales se pueden observar en el Tabla 15.

Tabla 15. Dimensiones de una probeta rectangular a flexión.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
A	Ancho	25,4	1
L	Longitud	100	4
E	Espesor	3	0,11

Fuente: elaboración propia.

2.3.2 Materiales de fabricación de la probeta. La probeta se elaboró con dos tipos de aluminios; Aluminio 7066 y aluminio 2024, los cuales cuentan con buenas propiedades mecánicas y por lo tanto son aptos para este tipo de ensayos de flexión. Estos cuentan con módulos de flexión y propiedades mecánicas no elevadas, ver Tabla 16 y 17, que no colocan en riesgo la integridad de la máquina y que permiten la fácil detección de fallas en su superficie. Para mayor información ver anexos D y L.

Tabla 16. Propiedades mecánicas duraluminio 7066.

Propiedad	Característica	Valor	Unidades
PROPIEDADES MECÁNICAS	Limite elástico	390-490	MPa
	Carga de rotura	480-540	MPa
	Elongación	2,0-6,0	%
	Dureza	130-160	HB
PROPIEDADES FÍSICAS	Densidad	2,8	g/cm ³

Fuente: AXTECOL S.A, Prodax 7066, 2013.

Tabla 17. Propiedades mecánicas aluminio 2024.

Propiedad	Característica	Valor	Unidades
PROPIEDADES MECÁNICAS	Modulo elástico	69	MPa
	Resistencia a la tensión	150	MPa
	Elongación	8-16	%
PROPIEDADES FÍSICAS	Densidad	2,7	g/cm ³

Fuente: Promecol Ltda. Aluminio laminado, especificaciones .2019. Vol. 1.

²² Ibid., p. 3.

2.3.3 Proceso de fabricación. El proceso de fabricación se llevó a cabo por medio de mecanizado de CNC en donde la probeta fue sometida a un desbaste de su cara superior y laterales conformando la figura rectangular deseada y con las tolerancias, ajustes y superficies que se necesitan para el ensayo, dando como resultado las probetas para flexión de 3 puntos, ver Imagen 20 y 21.

Imagen 20. Probeta final metálica a flexión duraluminio 7066.



Fuente: elaboración propia.

Imagen 21. Probeta final metálica a flexión aluminio normalizado.



Fuente: elaboración propia.

2.4 DISEÑO DE PROBETAS PLÁSTICAS DE TENSION

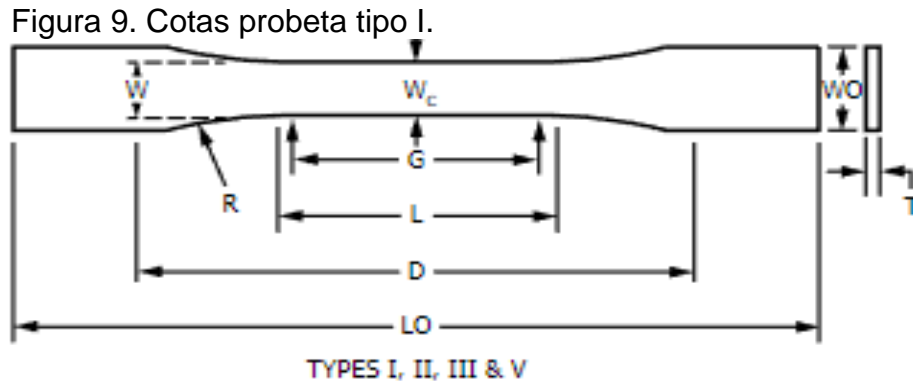
Estas probetas se deben fabricar de acuerdo a la norma ASTM D638²³, la cual describe en su numeral 6 los tipos de probetas que se pueden utilizar en este ensayo se pueden encontrar cinco tipos de probetas, entre estas cinco probetas su diferencia radica en el material que se va a ensayar, siendo catalogados entre plásticos: rígidos, semirrígidos, no rígidos o compuestos reforzados.

2.4.1 Dimensiones de la probeta. La probeta se debe fabricar acorde al numeral 6 de la norma ASTM D638²⁴, allí se describe el tipo de probeta a utilizar. Se utilizara la probeta tipo I, entre sus características específicas se encuentra que el espesor

²³ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics. D638-14. 2014 ed. United States.: Astm International, 2014. 17 p.

²⁴ Ibid., p. 3.

máximo de la probeta debe ser de 6mm, las cotas y dimensiones de la probeta tipo I se pueden observar en la Figura 9 y Tabla 18. También se va a utilizar la probeta tipo IV la cual está diseñada para probar un plástico dúctil, esta cuenta con un espesor mínimo de 6 mm, sus cotas y dimensiones finales se observan en la Figura 10 y Tabla 19.

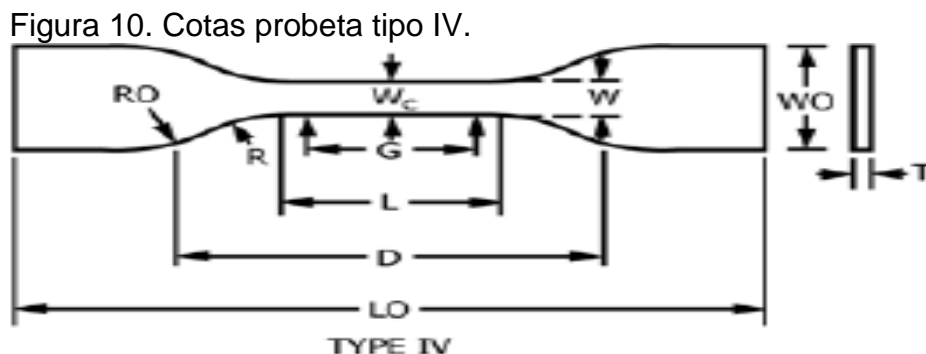


Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14.

Tabla 18. Dimensiones de la probeta tipo I.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
G	Longitud interna de sección reducida	50 ± 0,25	2 ± 0,010
Wc	Ancho de la sección reducida	13 ± 0,5	0,5 ± 0,02
T	Espesor de muestra	3,2	0,28
R	Radio del filete	76	3
LO	Longitud total de muestra	165	6,5
L	Longitud de sección reducida	57	2,25
Wo	Ancho de sección de agarre	19 ± 0,25	0,75 ± 0,010
D	Distancia entre agarres	115	4,5

Fuente: elaboración propia.



Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14

Tabla 19. Dimensiones de la probeta tipo IV.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
G	Longitud interna de sección reducida	25 ± 0,25	1 ± 0,010
Wc	Ancho de la sección reducida	6 ± 0,5	0,25 ± 0,02
T	Espesor de muestra	3,2 ± 0,5	0,126 ± 0,02
R	Radio del filete	14 ± 1	0,56 ± 0,04
LO	Longitud total de muestra	115	4,5
L	Longitud de sección reducida	33 ± 0,5	1,30 ± 0,02
Wo	Ancho de sección de agarre	19 ± 0,25	0,75 ± 0,010
D	Distancia entre agarres	65 ± 5	2,5 ± 0,2

Fuente: elaboración propia.

2.4.2 Materiales de fabricación de las probetas. Para la fabricación de las probetas se escogieron dos tipos de materiales específicos, polipropileno 11H (PP) y el polietileno lineal de baja de densidad (LLDPE) los cuales cuentan con las siguientes características:

- **Polietileno lineal de baja densidad (LLDPE):** Es un polímero termoplástico que pertenece a la familia de los olefínicos, es un polímero de adición donde su proceso de polimerización sucede entre los 1500 y 2000 kg/cm². Este polímero cuenta con una estructura de cadena muy ramificada, cuenta con muy buenas propiedades térmicas, químicas, mecánicas, su coloración natural es transparente y se puede procesar mediante procesos de inyección y extrusión.²⁵ Para mayor información ver Anexo H.
- **Polipropileno 11H (PP-11H):** Es un polímero termoplástico de adición, frágil a temperatura ambiente, por ende, se le adiciona butadieno para contrarrestar esa fragilidad permitiendo a que este mejore sus propiedades mecánicas y de resistencia al desgaste. Entre sus características más comunes se encuentra su opacidad, buena procesabilidad, buena estabilidad dimensional, se procesa mediante inyección y extrusión.²⁶ Para mayor información ver Anexo F.

2.4.3 Proceso de elaboración de las probetas. Estas probetas se elaboraron mediante el proceso de inyección, en las instalaciones del servicio nacional de aprendizaje (SENA), la cual facilitó el molde y la máquina de inyección. Para fabricar este tipo de probetas mediante los estándares de la norma ASTM D638-14, ver Imagen 22 y 23.

²⁵ QUIMINET, Características Y Aplicaciones Del Polietileno De Baja Densidad (LLDPE). [EN LÍNEA]. 1. 2012. [Citado en 09 de 04 de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-del-polietileno-de-baja-densidad-LLDPE-2663472.htm>>

²⁶ ELAPLAS Polipropileno (PP). [EN LÍNEA]. 1. 2016. [Citado en 09 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.elaplas.es/materiales/plasticos-tecnicos/polipropileno-pp/>

2.4.4 Parámetros para la inyección de plásticos. Para realizar las probetas de tensión en plásticos tanto en LLDPE Y PP-11H, es necesario tener en cuenta que se debe regular el proceso de inyección con respecto a las variables de temperatura, velocidad, volumen y tiempo, las cuales se controlan por medio de los factores de velocidad de inyección, tiempo de desmoldeo, índice de fluidez y temperatura de inyección, todos los factores de inyección se pueden apreciar en la tabla 20 para el LLDPE y el PP11H.

- Velocidad de inyección: Este es un parámetro que relaciona la velocidad con la que se puede obtener una pieza inyectada donde a mayor velocidad, menor tiempo de producción se necesitara. También es necesario aclarar que la velocidad será directamente proporcional a la presión. Para la obtención de las probetas tipo I y IV debido a su geometría y para obtener un óptimo llenado del molde es necesario utilizar un perfil de velocidad decreciente, ver Figura x.
- Tiempo de desmoldeo
- Índice de fluidez: Es una propiedad del material que mide la cantidad de material que puede fluir a través de un capilar en un tiempo de 10 min, es medida mediante la norma ASTM D1238²⁷. El índice de fluidez que se utilizó se puede verificar en el Anexo F y H.
- Temperatura de inyección: Temperatura a la que fluye el material dentro del tornillo de inyección.

Tabla 20. Parámetros de inyección para el LLDPE Y PP-11H

Parámetros	Valor	Unidades
Temperatura Ambiente	20	°C
Temperatura de inyección PP-11H	230	°C
Temperatura de inyección LLDPE	180-220	°C
Temperatura del molde	4	°C
Presión de cierre	9	MPa
Presión de inyección	6-9	MPa
Presión de sostenimiento	4	MPa
Flujo másico de inyección	80	kg/h
Longitud de retroceso del tornillo	60	mm
Velocidad de inyección	200	mm/s
Densidad del LLDPE	0,92	g/cm ³
Densidad del PP-11H	0,946	g/cm ³
Índice de fluidez PP-11H	13,2	g/ 10min
Índice de fluidez LLDPE	50	g/ 10min
Tiempo total del proceso	28	s

Fuente: elaboración propia.

Imagen 22. Probeta final plástica tipo IV a tensión LLDPE.



Fuente: elaboración propia.

Imagen 23. Probeta final plástica tipo I a tensión PP-11H.



Fuente: elaboración propia.

2.5 DISEÑO DE PROBETAS PLÁSTICAS DE COMPRESIÓN

Estas probetas se deben elaborar de acuerdo a la norma ASTM D695²⁸, la cual describe los tipos de probetas que se pueden utilizar para este ensayo, existen dos tipos de especímenes, uno cilíndrico y otro con forma de placa, en este caso se utilizara el cilíndrico, ya que el espécimen en forma de placa debe poseer un accesorio adicional con el que no cuenta la máquina universal.

2.5.1 Dimensiones de la probeta. Para la fabricación de esta probeta se tiene en cuenta que la forma preferida para ella la cual es cilíndrica, de esta manera la norma ASTM D695²⁹, sugiere que la longitud de la probeta sea 2 veces el diámetro, por esta razón se realizaron las siguientes dimensiones para esta probeta, ver Tabla 21.

²⁸ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Properties Of Rigid Plastics. D695 . 15 ed. United States.: Astm International, 2015. 8 p.

²⁹

Tabla 21. Dimensiones de la probeta cilíndrica de plástico.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
D	Diámetro	12,7	0,5
L	Longitud	25,4	1

Fuente: elaboración propia.

2.5.2 Materiales para elaborar las probetas. Estas probetas se elaboraron con los siguientes materiales; Nylon 66 (Poliamida 6,6) y Teflón (politetrafluoroetileno). Estos materiales se seleccionaron debido a que son clasificados como plásticos rígidos de ingeniería, los cuales poseen buenas propiedades mecánicas, estabilidad dimensional, resistencia a altas temperaturas y buena maquinabilidad, sus propiedades se pueden observar en el Tabla 22 y 23. Para mayor información de estos materiales ver Anexos B y C.

Tabla 22. Propiedades mecánicas Nylon 66 (Poliamida 6.6).

Propiedades	Método/Prueba (DIN /ASTM)	Seco	Húmedo	Unidad
Densidad	53479	1,14	-	g/cm ³
Elongación en punto de fluencia	53455	90	70	MPa
Resistencia a la rotura por alargamiento	53455	40	150	%
Módulo de elasticidad a la tensión	53457	3.300	2.000	MPa
Dureza Brinell (por penetración de bola)	53456	170	100	HB

Fuente: SANMETAL S.A, Poliamida 6,6. Enero, 2018.

Tabla 23. Propiedades mecánicas Teflón (PTFE).

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	2,16	g/cm ³
Calor específico		Cal/C°
Resistencia a la tensión	27	MPa
Módulo de elasticidad a la tensión	550	MPa
Módulo de elasticidad a la flexión	500	MPa

Fuente: W.S Hampshire Inc. Teflón. Diciembre 2013.

2.5.3 Proceso de fabricación de las probetas. Las probetas se fabricaron mediante el proceso de mecanizado, por medio de los procesos de cilindrado y refrentado, donde estas fueron desbastados hasta la dimensión requerida, ver Imagen 24.

Imagen 24. Probeta final compresión plástica Teflón (PTFE).



Fuente: elaboración propia.

2.6 DISEÑO DE PROBETAS PLÁSTICAS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS

El diseño y selección de esta probeta se hará mediante el estudio de la norma ASTM D790³⁰, la cual enuncia que los materiales deben ser plásticos rígidos o semirrígidos, el proceso de obtención de estas probetas puede ser mediante inyección o corte de láminas extruidas o moldeadas del material escogido. Sí para la obtención del material se tuvo que mecanizar el espécimen, la prueba debe realizarse en dirección longitudinal de la probeta.

2.6.1 Dimensiones de la probeta. La probeta es de forma rectangular, la cual debe cumplir con las siguientes especificaciones como lo son; el ancho de la muestra no debe exceder una cuarta parte del espesor, para muestras con espesor mayor de 3,2 mm, para muestras con espesores de 3,2mm o menos el ancho de ellas deberá ser 12,7 mm y la longitud de esta probeta deberá ser lo suficientemente larga para que en los 2 soportes, en donde se apoya la probeta sobresalga un 10% de su longitud, pero en ningún caso puede ser menor a 6.4mm. Las dimensiones finales se pueden observar en el Tabla 24.

Tabla 24. Dimensiones de la probeta rectangular.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
L	Longitud	125	5
A	Ancho	12,7	0,5
E	Espesor	3,2	0,125

Fuente: elaboración propia.

³⁰ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods For Flexural Properties Of Unreinforced And Reinforced Plastics And Electrical Insulating Materials. D790 . 17 ed. United States.: Astm International, 2017. 12 p.

2.6.2 Materiales para elaborar las probetas. Para la fabricación de las probetas rectangulares se optó por utilizar dos tipos de plásticos, los cuales son policarbonato y polipropileno 11H. Las propiedades de estos materiales se pueden encontrar en los Anexos E y F.

2.6.3 Proceso de fabricación. Las probetas se fabricaron mediante el proceso de corte, estos materiales fueron cortados y después en una fresadora, fueron desbastados hasta la dimensión requerida, ver Imagen 25.

Imagen 25. Probeta final de policarbonato.



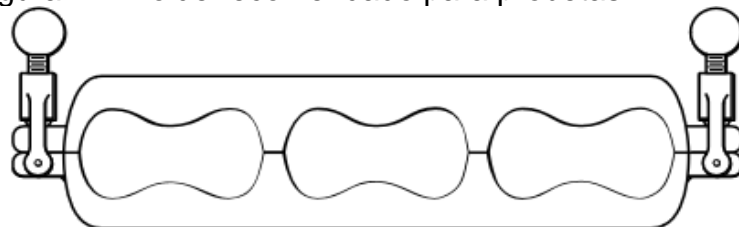
Fuente: elaboración propia.

2.7 DISEÑO DE PROBETAS CERÁMICAS DE TENSIÓN

Para el desarrollo de las pruebas de tensión en materiales cerámicos, se seleccionó 2 tipos de cementos, los cuales son; Cemento portland gris de uso general (UG), tipo I y cemento portland gris de alta resistencia temprana (ART), tipo III. La norma de referencia para desarrollar el ensayo fue la ASTM C307³¹, la cual describe los procedimientos, materiales y moldes necesarios para desarrollar este ensayo, conforme a lo descrito en esta norma fue necesario la construcción de un molde para fraguar las probetas para este ensayo. La ficha técnica de los cementos se puede encontrar en los Anexos I y K.

2.7.1 Molde para probetas de tensión. Para la fabricación del molde se especifica en la ASTM C307³², que debe ser construido de un material rígido para evitar la deformación de las probetas y a su vez debe ser construido de un material resistente a la corrosión, para este propósito se seleccionó madera de cedro, la representación del molde puede ser observada en la Figura 11.

Figura 11. Molde recomendado para probetas.



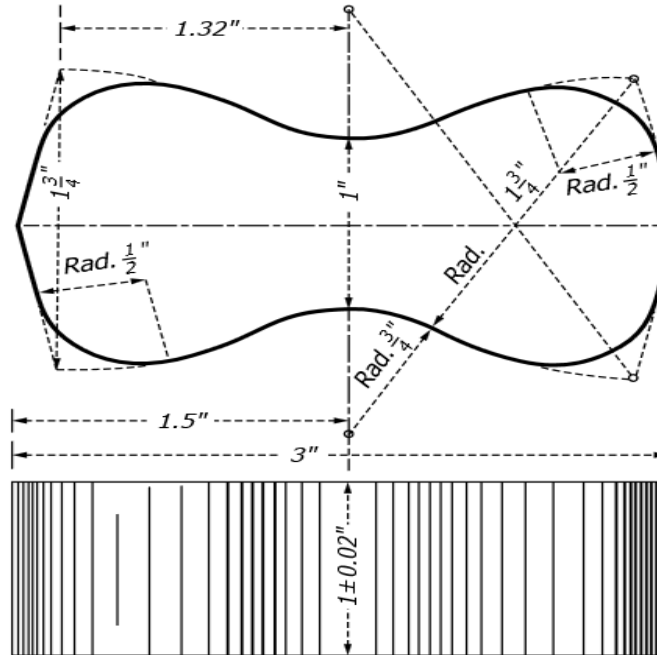
Fuente: ASTM, International. C309, 2018, P.4.

³¹ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Tensile Strength Of Chemical-resistant Mortar, Grouts, And Monolithic Surfacing. C307. 18 ed. West Conshohocken Pa.: Astm International, 2018. 10 p.

³² *Ibíd.*, P.3.

2.7.2 Fabricación del molde. Para la fabricación del molde se realizó el diseño previo de la probeta, ver Figura 12, después se optó por realizar el corte de la madera en la caladora de banco, de esta manera dando la forma deseada a las probetas, para el sistema de sujeción se utilizaron tornillos para mantener unido el molde a la base, se recomienda que la base del molde sea una superficie lisa, se utilizó de base una superficie también de madera, el molde final se puede apreciar en la Imagen 26.

Figura 12. Dimensiones briqueta de tensión.



Fuente: ASTM, International. C309, 2018, P.4.

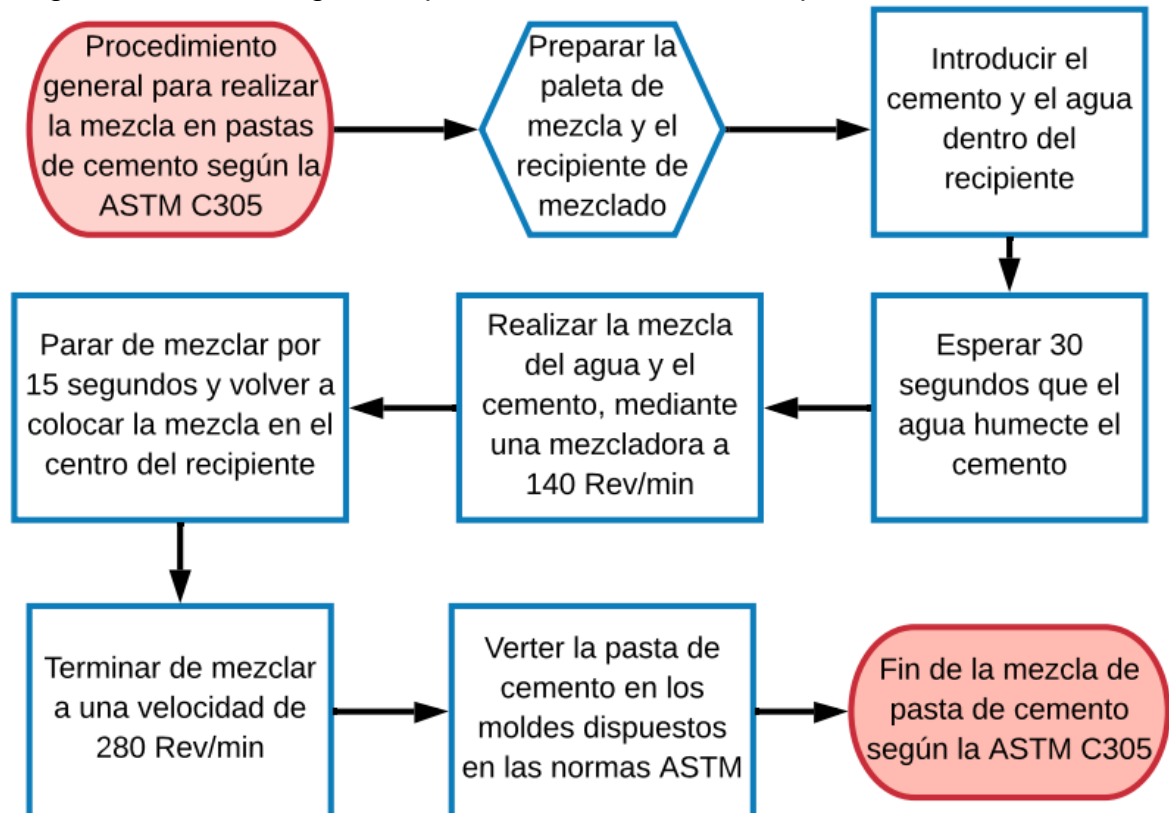
Imagen 26. Molde de madera para probetas de tensión.



Fuente: elaboración propia

2.7.3 Fraguado de las probetas de tensión. Una vez fabricado el molde, se procede a mezclar la pasta de cemento, cuando el material se encuentra dentro del molde ocurre el proceso de fraguado, este proceso de fraguado es un proceso químico en donde se presenta endurecimiento por hidratación del material por la reacción del agua con el cemento. Se siguió el procedimiento establecido en la norma ASTM C305³³, el procedimiento para la mezcla y fraguado de la briqueta se puede observar en el Diagrama 1.

Diagrama 1. Proceso general para realizar la mezcla de pastas de cemento.



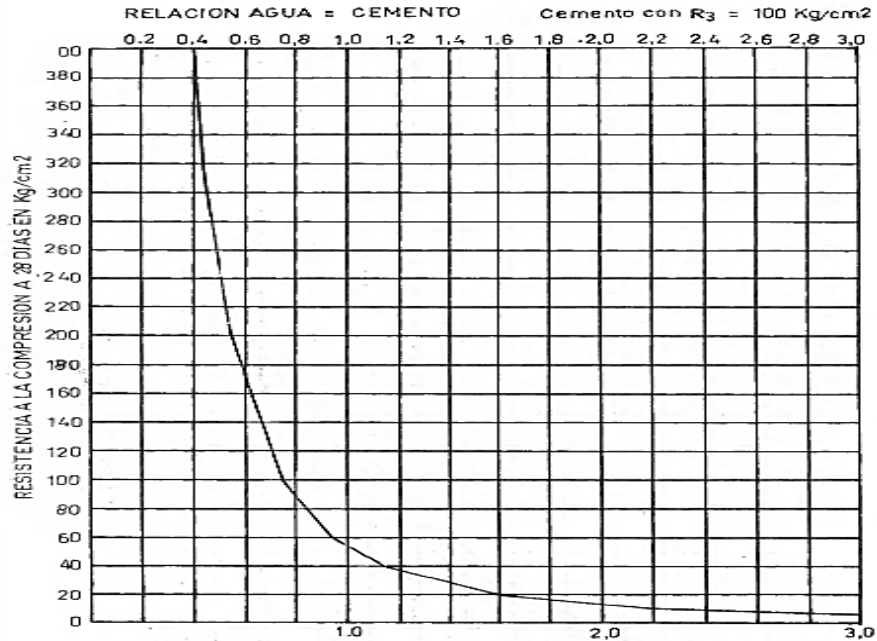
Fuente: elaboración propia

Es necesario aclarar que la proporción de agua-cemento que se seleccionó, fue de 0,4 se tomó como referencia el artículo “Diseño de morteros con cemento portland”³⁴, en donde en uno de sus apartados, se realiza la explicación de que a mayor agua se aplique a la mezcla, menor resistencia presenta la pasta de cemento, ver Figura 13.

³³ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice For Mechanical Mixing Of Hydraulic Cement Pastes And Mortars Of Plastic Consistency. C305. 14 ed. West Conshohocken Pa.: Astm International, 2014. 3 p.

³⁴ GUTIERREZ, L. Diseño de Morteros. [EN LÍNEA]. 2009. [Citado en 27 de Mayo de 2019]. Disponible en internet: <www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>

Figura 13. Relación agua-cemento.



Fuente: GUTIERREZ, L. Diseño de Morteros. [EN LÍNEA]. 2009.

Es necesario, lubricar las superficies del molde con aceite mineral, cada vez que se use. Se realizaron varias muestras con los 2 tipos de cementos para probar su resistencia a un día y a tres días después de realizada la mezcla, su almacenamiento se realizó en una cámara húmeda, cubriendo las probetas con agua. La probeta final para el ensayo de tensión se puede observar en la Imagen 27.

Imagen 27. Briqueta final para el ensayo de tensión.



Fuente: elaboración propia

2.8 DISEÑO DE LAS PROBETAS CERÁMICAS DE COMPRESIÓN

La elaboración de ese tipo de probetas corresponde al tipo de material a utilizar, el cual va a ser pasta de cemento como material de estudio. Para la fabricación y diseño de este tipo de probetas es necesario remitirse a la norma ASTM C109³⁵, la cual enuncia que para realizar el estudio de las propiedades mecánicas a compresión de cementos hidráulicos es necesario realizar un molde de acero. Para mayor información del cemento tipo I y III verificar los anexos I y K.

2.8.1 Características del molde de cemento hidráulico. La forma de la probeta será tipo cubo, cuyo molde tendrá la misma forma, por lo tanto para la fabricación de este molde se debe cumplir con las siguientes condiciones como lo son:

- Los moldes no deben tener más de 3 compartimientos.
- No deben tener más de 2 elementos separables.
- Se deben fabricar de un material duro que el cemento no pueda atacar.
- El acero con que se fabrique el molde debe poseer una dureza de más de 55 HRB.
- El material de fabricación debe ser lo suficientemente duro para prevenir ensanchamiento o pandeos de las probetas.

Los moldes deben poseer caras lisas con una variación máxima de 0,025 mm, sus caras deben tener una distancia entre ellas de 50 mm, con una tolerancia de ± 0.13 mm, y altura de 50 mm con variación de ± 0.25 mm y por ultimo formar un ángulo recto de $90^\circ \pm 0.5^\circ$. Estos moldes se fabricarán nuevos, exclusivamente para estos ensayos.

2.8.2 Fabricación del molde de cemento hidráulico. El molde se va a realizar en lámina de acero cold rolled de un espesor de (3/16)" en donde este se sometió a un proceso de corte para su dimensionamiento y posterior pulido de sus caras, se siguió las características y recomendaciones de la norma ASTM C109³⁶, las dimensiones finales de la probeta se pueden observar en el Tabla 25. El molde final se puede observar en la Imagen 28.

Tabla 25. Dimensiones de la probeta cubica.

SIMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
L	Largo	50	2
B	Base	50	2
A	Alto	50	2

Fuente: elaboración propia.

³⁵ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Strength Of Hydraulic Cement Mortars (using 2-in. Or [50-mm] Cube Specimens). C109. 16 ed. West Conshohocken.: Astm International, 2016. 10 p.

³⁶ Ibid., p. 2.

Imagen 28. Molde metálico para probetas de compresión cerámicas.



Fuente: elaboración propia

2.8.3 Fraguado de las probetas de compresión. Una vez fabricado el molde, se procede a fraguar la pasta de cemento dentro del molde fabricado, en este caso se utilizó la norma ASTM C305³⁷: El procedimiento para la mezcla y fraguado del material se puede observar en el Diagrama 1, de la sección 2.7 del presente trabajo. Al igual que las probetas realizadas para el ensayo de tensión en materiales cerámicos, se utilizó una proporción de agua cemento de 0,4. Se debe utilizar aceite mineral para lubricar los moldes antes de cada uso. La probeta final del ensayo de compresión en materiales cerámicos se puede observar en la Imagen 29.

Imagen 29. Probeta final para el ensayo de compresión en cerámicos.



Fuente: elaboración propia.

³⁷ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes And Mortars Of Plastic Consistency. C305. 14 ed. West Conshohocken Pa.: Astm International, 2014. 3 p.

2.9 DISEÑO DE PROBETAS CERÁMICAS DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS

Para desarrollar el ensayo de flexión en materiales cerámicos, y al utilizarse pasta de cemento como material de estudio, es necesario utilizar la norma ASTM C348³⁸, la cual establece los parámetros necesarios para la fabricación del molde y de las probetas a ensayar. Para mayor información del cemento tipo I y III verificar los anexos I y K.

2.9.1 Características del molde de cemento hidráulico. La forma de la probeta debe ser de prisma rectangular, por lo tanto el molde tendrá la misma forma. Este molde debe poseer algunas características según la ASTM C348³⁹, como lo son:

- Los moldes no deben tener más de 3 compartimientos.
- No deben tener más de 2 elementos separables.
- Se deben fabricar de un material duro que el cemento no pueda atacar.
- El acero con que se fabrique el molde debe poseer una dureza de más de 55 HRB.
- El material de fabricación debe ser lo suficientemente duro para prevenir ensanchamiento o pandeos de las probetas.

Al igual que en la fabricación de los moldes de compresión, los moldes de flexión deben poseer caras lisas con una variación máxima de 0,025 mm, sus caras deben tener una distancia entre ellas de 50 mm, con una tolerancia de $\pm 0,13$ mm, y altura de 50 mm con variación de $\pm 0,25$ mm y por último formar un ángulo recto de $90^\circ \pm 0.5^\circ$. Estos moldes se fabricaran nuevos, exclusivamente para estos ensayos.

2.9.2 Fabricación del molde para flexión de cerámica. El molde se va a realizar en lámina de acero cold rolled de un espesor de $(1/8)''$ en donde este se sometió a un proceso de corte para su dimensionamiento y posterior pulido de sus caras, se siguió las características y recomendaciones de la norma ASTM C348⁴⁰, las dimensiones finales de la probeta se pueden observar en el Tabla 26. El molde final se puede observar en la Imagen 30.

Tabla 26. Dimensiones de la probeta cubica.

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES	
		mm	(in)
L	Largo	160	6,29
B	Base	40	1,57
A	Alto	40	1,57

Fuente: elaboración propia

³⁸ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Flexural Strength Of Hydraulic-cement Mortars. C348. 18 ed. West Conshohocken.: ASTM International, 2018. 6 p.

³⁹ Ibid., P.1.

⁴⁰ Ibid., p. 2.

Imagen 30. Molde metálico para probetas de flexión de cerámica.



Fuente: elaboración propia

2.9.3 Fraguado de las probetas de flexión. Una vez fabricado el molde, se procede a fraguar la pasta de cemento dentro del molde fabricado, en este caso se utilizó la norma ASTM C305⁴¹: El procedimiento para la mezcla y fraguado del material se puede observar en el Diagrama 1, de la sección 2.7 del presente trabajo. Al igual que las probetas realizadas para el ensayo de tensión en materiales cerámicos, se utilizó una proporción de agua cemento de 0,4. Se debe utilizar aceite mineral para lubricar los moldes antes de cada uso. La probeta final del ensayo de compresión en materiales cerámicos se puede observar en la Imagen 31.

Imagen 31. Probeta final para el ensayo de compresión en cerámicos.



Fuente: elaboración propia

⁴¹ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS.. Standard Practice For Mechanical Mixing Of Hydraulic Cement Pastes And Mortars Of Plastic Consistency. C305. 14 ed. West Conshohocken Pa.: Astm International, 2014. 3 p.

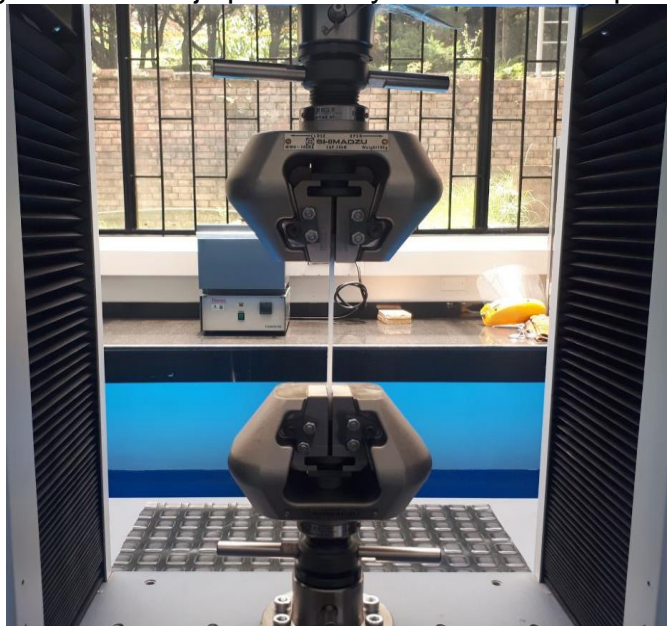
3. REALIZAR EL ENSAYO DE TENSIÓN EN LA MAQUINA UNIVERSAL SEGÚN LAS NORMAS ASTM

El desarrollo del proyecto de grado comprende la ejecución de los ensayos a tensión en la maquina universal donde se realizara una caracterización mecánica según el material de estudio y la norma ASTM de referencia. Se realizara una validación comparando los datos obtenidos durante el ensayo con respecto a los datos esperados de acuerdo con la literatura.

3.1 PREPARACIÓN GENERAL EL ENSAYO DE TENSIÓN

La máquina universal de ensayos cuenta con unos accesorios especiales para realizar este tipo de ensayos en donde el primer paso a realizar para ejecutar el ensayo instalar el montaje de los accesorios, ver Imagen 32. La guía para la correcta instalación se encuentra en el manual del equipo.

Imagen 32. Montaje para ensayo de tensión en plásticos.



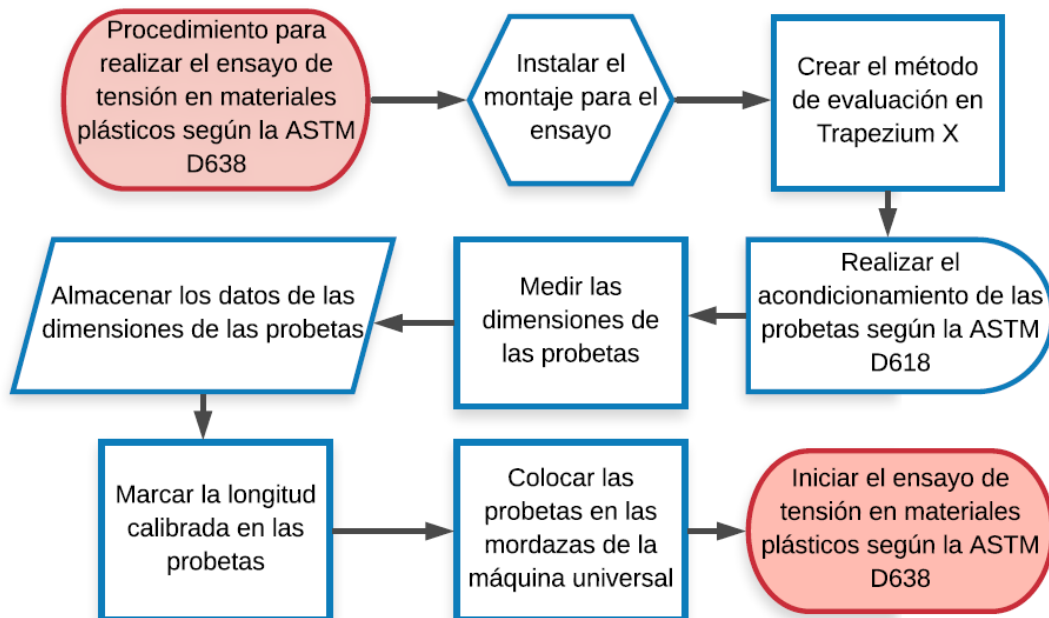
Fuente. elaboración propia.

Para la ejecución de los ensayos a tensión en materiales metálicos, plásticos y compuestos es necesario seguir una guía paso a paso, para evitar inconvenientes a la hora de utilizar el equipo y el software según el proyecto o investigación que se lleve a cabo, de esta manera se debe vez crear el método de evaluación para el ensayo de tensión en el software TRAPEZIUM X, el cual se puede realizar con la guía paso a paso de la sección 1.7 del presente trabajo. A su vez revisar el Anexo M, el cual establece los esfuerzos máximos que se pueden aplicar para los siguientes ensayos.

3.2 ENSAYO DE TENSION EN MATERIALES PLÁSTICOS

Para dar inicio al ensayo se debe realizar la preparación general para el ensayo de tensión descrita en el numeral 3.1 del presente trabajo y a su vez seguir el procedimiento específico en la norma ASTM D638⁴², ver Diagrama 2, en donde los especímenes de prueba se deben someter a un acondicionamiento previo y dimensionamiento para la ejecución del ensayo. La norma ASTM D638⁴³ habla acerca de varios objetos adicionales como lo son extensómetros, el cual no posee la máquina, por esta razón el ensayo normalizado se realizara en función de los accesorios de la máquina y se trabajaran con esfuerzos de ingeniería.

Diagrama 2. Preparación del ensayo de tensión en materiales plásticos.



Fuente: elaboración propia

3.2.1 Consideraciones generales para el ensayo. Este ensayo se debe realizar al menos con cinco probetas para cada caso de estudio según sea para materiales isotrópicos o anisotrópicos, donde se debe buscar un comportamiento en común, las probetas se deben romper en la sección transversal estrecha. Se debe usar una velocidad de prueba establecida en la norma ASTM D638⁴⁴, la cual en su apartado 8 describe que para probetas tipo I, II, III y IV la velocidad mínima es de 5 mm/min \pm 25 % a 5 min por espécimen de prueba o también se puede emplear una velocidad de 50 mm/min \pm 25 %.

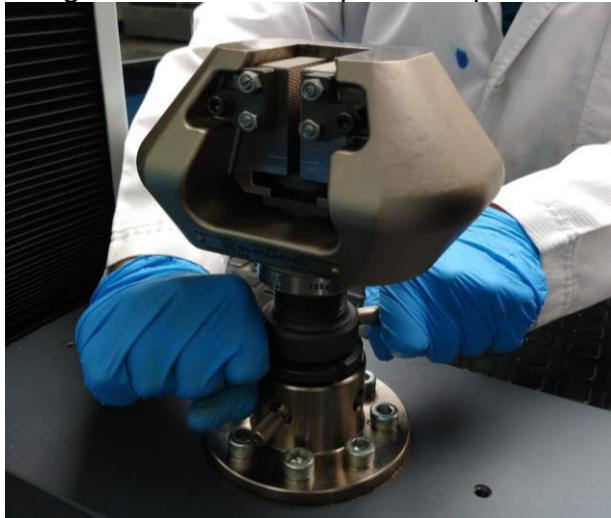
⁴² AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics. D638 – 14. West Conshohocken.: Astm International, 2014. 17 p.

⁴³ Ibid., p2.

⁴⁴ Ibid., p5

- **Acondicionamiento de las probetas.** Para el acondicionamiento de las probetas se debe tener en cuenta la norma ASTM D618⁴⁵, las probetas deben estar 2 días antes en el cuarto del ensayo para que adquieran la temperatura y la humedad relativa del ambiente en donde se va a realizar el ensayo. Se debe realizar un acondicionamiento de la temperatura de la sala para la ejecución de los ensayos, determinado por la norma ASTM D618⁴⁶, esto se realiza con el fin de llevar el material a condiciones normales o promedio para así obtener temperaturas de ejecución del ensayo entre -70°C y 180° C, existe una tolerancia de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y a su vez el porcentaje de incremento o disminución de la humedad relativa no puede sobrepasar más del 10%.
- **Dimensionamiento de la probeta.** El espécimen de prueba se debe someter a un dimensionamiento, con ayuda de un micrómetro, se debe medir tanto el ancho y el espesor cada 5 mm, de esta manera cuando las probetas sean inyectadas basta solo con medir 1 probeta, así se estandariza la medida de la probeta.
- **Instalación de la probeta.** Ajustar el espécimen de prueba en la empuñadura superior e inferior, Se utilizó la empuñadura plana para hacer el agarre de las probetas tipo IV Y I. Esta empuñadura se ajusta mediante un sistema de sujeción de manivela, ver Imagen 33, dando un ajuste que no permite que la probeta se deslice durante el ensayo. Una vez sujeta la probeta se puede iniciar el ensayo.

Imagen 33. Instalación probetas planas.



Fuente: elaboración propia

⁴⁵ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice For Conditioning Plastics For Testing. D618-13. West Conshohocken.: Astm International, 2013. 4 p.

⁴⁶ Ibid., p2

3.2.2 Reporte final Polietileno de baja densidad (LLDPE) La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM D638⁴⁷. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 12 de la presente norma. En este ensayo se utilizaron 5 probetas.

1. Informe ASTM D638 para polietileno de baja densidad (LLDPE)
2. Identificación completa del material. ver Cuadro 1.

Cuadro 1. Identificación del material.

Características	Significado
Nombre	Polietileno de baja densidad
Sigla	(LLDPE)
Fabricante	A. Schulman Inc.
Código	ACCUCOMP™ LD0109L
Forma original	Pellets
Estado Comercial	Activo

Fuente: elaboración propia

3. Tipo de muestra y dimensiones. Es necesario especificar el tipo de muestra y sus dimensiones, ver Cuadro 2.

Cuadro 2. Tipo de muestra (LLDPE).

Reporte Final ASTM D638	
TIPO DE MUESTRA	IV
FORMA	Plana

Fuente: Elaboración propia

4. Procedimiento de acondicionamiento utilizado, ver Cuadro 3.

Cuadro 3. Acondicionamiento del plástico.

Reporte Final ASTM D638	
Tipo de acondicionamiento	Procedimiento
	Tipo A

Fuente: elaboración propia

⁴⁷ AMERICAN. Op cit., p. 8.

5. Condiciones atmosféricas en la sala de pruebas, ver Tabla 27.

Tabla 27. Condiciones atmosféricas.

Reporte Final ASTM D638		
Condiciones atmosféricas	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
	22	44

Fuente: elaboración propia

6. Velocidad de la prueba, ver Tabla 28.

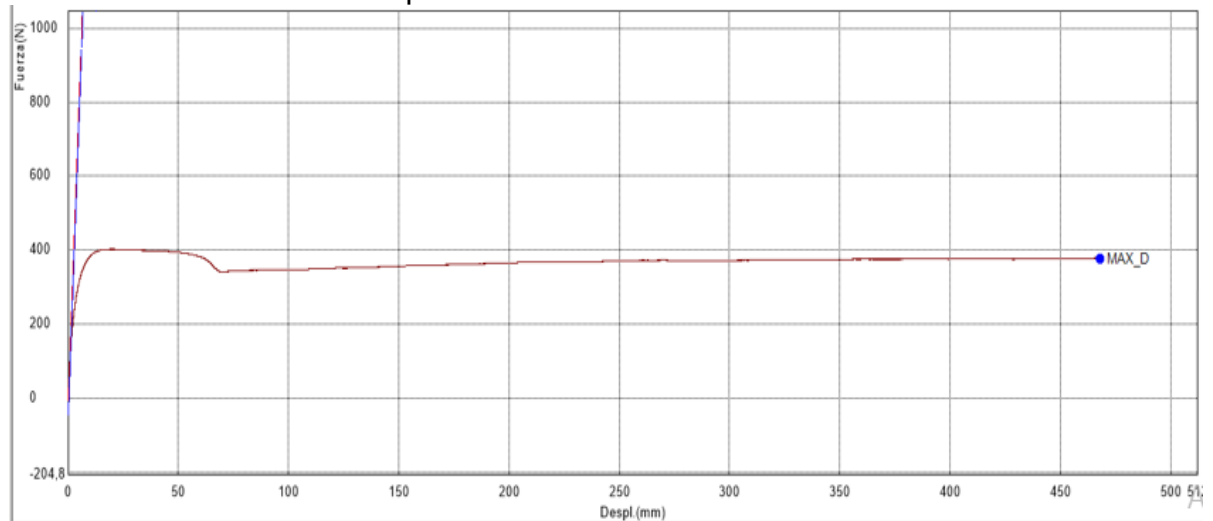
Tabla 28. Rapidez del ensayo.

Reporte final ASTM D638		
Velocidad de prueba	Valor	Unidad
	50	mm/min

Fuente: elaboración propia

7. Gráficas Tensión- Desplazamiento. En la Gráfica 1, se puede observar un comportamiento regular de los plásticos dúctiles, en este caso el LLDPE alcanza a deformarse controladamente más de un 200% de su longitud inicial y su carga máxima a tensión oscila entre los 400 Newton.

Gráfica 1. Curva tensión desplazamiento N°2



Fuente: elaboración propia

8. Resistencia a la tensión, valor promedio y desviación estándar. Para calcular la resistencia a la tensión última se utilizó la ecuación 1 y 2.

Ecuación 1. Resistencia a la tensión en ruptura.

$$\sigma_U = \frac{W}{A_0}$$

Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14. P.13

- σ_u = Resistencia a la tensión en ruptura [MPa]
- A_0 = Área original de la sección transversal de la probeta [mm²]
- W = Carga de ruptura [N]

Ecuación 2. Área original de la sección transversal de la probeta.

$$A_o = A \times E$$

Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14. P.13

$$A_o = 3.2 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$$

$$A_o = 19.2 \text{ mm}^2$$

- A_0 = Área original de la sección transversal de la probeta [mm²]
- E = Espesor de la probeta [mm]
- A = Ancho de la probeta [mm]

Es necesario mencionar que los siguientes resultados son producto de los ensayos realizados con cinco especímenes, los cuales presentaron datos relacionados al comportamiento descrito en la ASTM D638⁴⁸, para plásticos dúctiles, generando datos aptos para la interpretación y posterior análisis de resultados del ensayo de tensión. Ver Tabla 29. Los datos fueron obtenidos extrayendo los datos directamente de Excel. Se utilizó la ecuación 3 y 4 para hallar respectivamente el valor medio y desviación estándar.

Tabla 29. Resultados esfuerzo de tensión (LLDPE).

Muestra Nº	Área transversal		Carga de ruptura		Esfuerzo de tensión	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	19,2	mm ²	362,98	N	18,90	MPa
2	19,2	mm ²	359,22	N	18,71	MPa
3	19,2	mm ²	378,59	N	19,71	MPa
4	19,2	mm ²	356,50	N	18,56	MPa
5	19,2	mm ²	370,23	N	19,28	MPa

Fuente: elaboración propia.

⁴⁸ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice For Conditioning Plastics For Testing. D618-13. West Conshohocken.: Astm International, 2013. 4 p.

Ecuación 3. Valor promedio.

$$X_i = \frac{\sum \sigma_u}{N^{\circ} \text{ de datos}}$$

Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14. P.7

$$X_i = \frac{\sum \sigma_u}{N^{\circ} \text{ de datos}} = \frac{19,72 \text{MPa} + 18,57 \text{MPa}}{2} = 19,03 \text{MPa}$$

Ecuación 4. Desviación estándar.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - X_i)^2}{N - 1}}$$

Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14. P.7

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - X_i)^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{(19,72 - 19,14)^2 + (18,57 - 19,14)^2}{2 - 1}}$$

$$S = 0,90 \text{MPa}$$

9. Punto de fluencia, valor promedio y desviación estándar.

Para establecer el valor del punto de fluencia en tensión se analizó las gráficas anteriores de tensión vs desplazamiento, ver Gráfica 1, identificando el inicio de la zona plástica del material, se utilizó la Ecuación 5 para calcular el esfuerzo de fluencia, de esta manera se generaron resultados los siguientes valores, ver Tabla 30.

Ecuación 5. Esfuerzo de fluencia.

$$\sigma_y = \frac{W}{A_0}$$

- σ_y = Esfuerzo de fluencia [MPa]
- A_0 = Área original de la sección transversal de la probeta [mm^2]
- W = Carga de ruptura [N]

Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14. P.13

Tabla 30. Resultados esfuerzo de fluencia.

Muestra	Punto de fluencia en tensión (N)		Área transversal		Esfuerzo de fluencia		
	Nº	Valor	Unidad	Valor	Unidad	valor	unidad
1		388,23	N	19,2	mm ²	20,220	MPa
2		402,78	N	19,2	mm ²	20,978	MPa
3		377,11	N	19,2	mm ²	19,641	MPa
4		392,87	N	19,2	mm ²	20,462	MPa
5		395,51	N	19,2	mm ²	20,599	MPa
Valor medio						20,380	MPa
Desviación estándar						0,896	MPa

Fuente: elaboración Propia.

10. Porcentaje de elongación, valor medio y desviación estándar. Se calculó este porcentaje mediante la Ecuación 6, los resultados se pueden ver en la Tabla 31.

Ecuación 6. Porcentaje de elongación relativo.

$$\% El = \frac{(l - l_0)}{l_0} * 100\%$$

Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14. P.13

- l_0 = Longitud calibrada [mm]
- l = Longitud a fractura [mm]
- %El= Porcentaje de elongación

Tabla 31. Porcentaje de elongación LLDPE.

Muestra	Medida inicial (Longitud Calibrada) (mm)	Longitud a fractura (mm)	% Elongación
1	67	297	296
2	67	237	236
3	67	270	269
4	67	316	315
5	67	215	214
Valor medio			266 %
Desviación estándar			37,18 %

Fuente: elaboración propia

11. Módulo de elasticidad valor promedio y desviación estándar.

Para encontrar el módulo de elasticidad con mayor exactitud, se recurrió a extraer los datos recopilados durante el ensayo, y realizar el procedimiento Anexo A1 "TOE

COMPESATION”, de la norma ASTM D638⁴⁹, en el cual se realiza una corrección, extrayendo una parte de los datos encontrados en la gráfica esfuerzo-deformación, en la zona elástica del material.

Para este procedimiento, ver Figura 14, se extrapolaron los datos entre la parte C-D, donde se realizó una regresión lineal entre un conjunto de datos, para hallar la pendiente, la cual es el módulo de elasticidad del material, este método se ajusta al descrito en la norma ASTM E111⁵⁰, para calcular el módulo de elasticidad por el método gráfico. Los resultados se pueden observar en la Tabla 32. En la Gráfica 2 se observa los puntos tomados para hallar el módulo de elasticidad en cada ensayo.

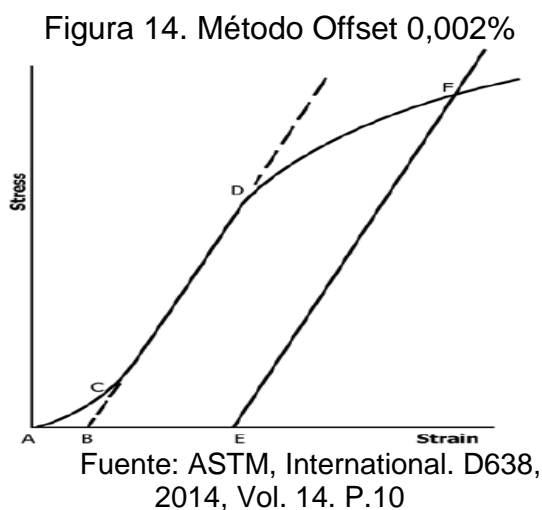


Tabla 32. Módulo de elasticidad de LLDPE.

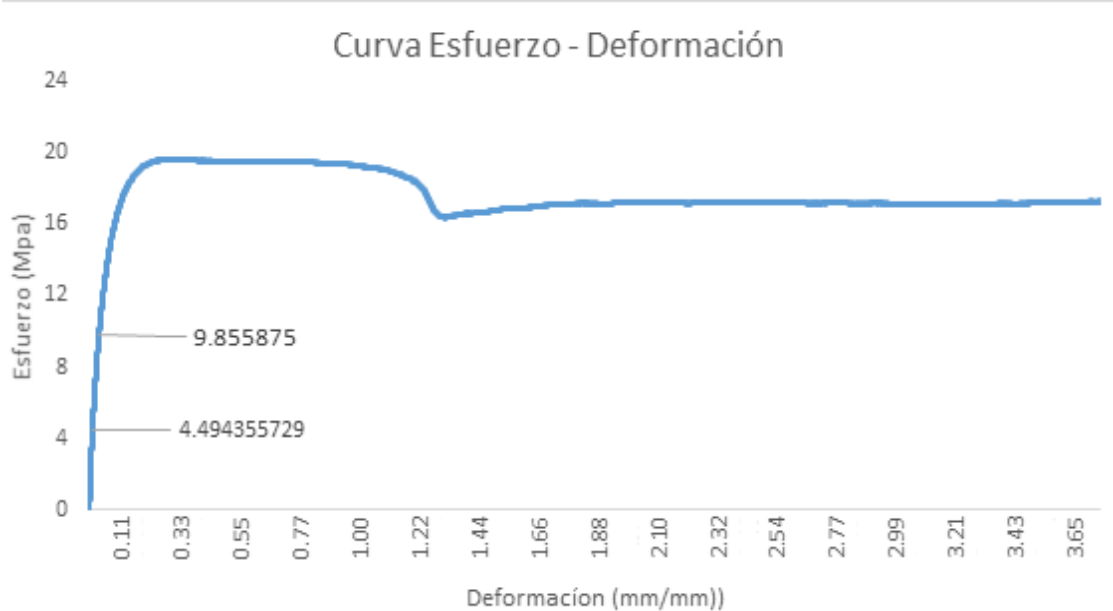
Muestra	Módulo de elasticidad		
	Nº	Valor	Unidad
1		229,34	MPa
2		238,59	MPa
3		209,29	MPa
4		231,32	MPa
5		233,11	MPa
Valor medio		228.33	MPa
Desviación estándar		9.95	MPa

Fuente: elaboración propia.

⁴⁹ Ibid., P.10./

⁵⁰ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Young's Modulus, Tangent Modulus, And Chord Modulus. E111. 17 ed. West Conshohocken.: Astm International, 2017. 7 p.

Gráfica 2. Curva Esfuerzo-Deformación probeta N° 3.



Fuente: elaboración propia.

12. Fecha de la prueba.

La prueba fue realizada el día 27 de marzo de 2019, entre la 1:00 pm y 5:00 pm

3.2.3 Reporte final Polipropileno 11H (PP). La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM D638⁵¹. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 12 de la presente norma.

1. Informe ASTM D638 para polipropileno 11H (PP)
2. Identificación completa del material. Ver Cuadro 4.

Cuadro 4. Identificación del material PP-11H.

Características	Significado
Nombre	Polipropileno 11H
Sigla	(PP)
Fabricante	ESSENTIA S.A
Código	11H01A
Forma original	Pellets
Tipo	Homopolímero

Fuente: elaboración propia

3. Tipo de muestra y dimensión, ver Cuadro 5. Las dimensiones de la probeta final para este ensayo se pueden encontrar en la sección 2.4 del presente trabajo.

⁵¹ AMERICAN. Op cit., p. 8.

Cuadro 5. Tipo de muestra (PP-11H).

Reporte Final ASTM D638	
TIPO DE MUESTRA	I
FORMA	Plana

Fuente: elaboración propia

4. Procedimiento de acondicionamiento utilizado, ver Cuadro 6.

Cuadro 6. Acondicionamiento de probeta.

Reporte Final ASTM D638	
Tipo de acondicionamiento	Procedimiento
	Tipo A

Fuente: elaboración propia

5. Condiciones atmosféricas en la sala de pruebas, ver Tabla 33.

Tabla 33. Condiciones atmosféricas PP-11H.

Reporte Final ASTM D638	
Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
22	44

Fuente: elaboración propia

6. Velocidad de la prueba, ver Tabla 34.

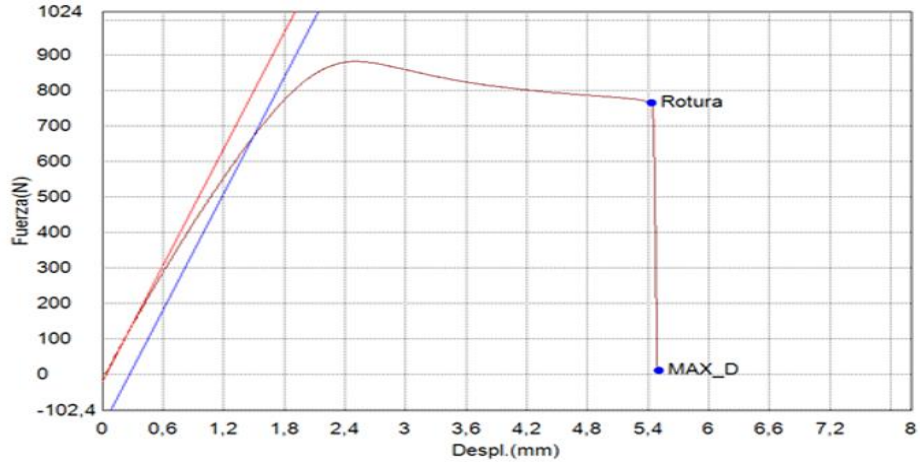
Tabla 34. Rapidez del ensayo PP-11H.

Reporte final ASTM D638		
	Valor	Unidad
Velocidad de prueba	50	mm/min

Fuente: Elaboración propia

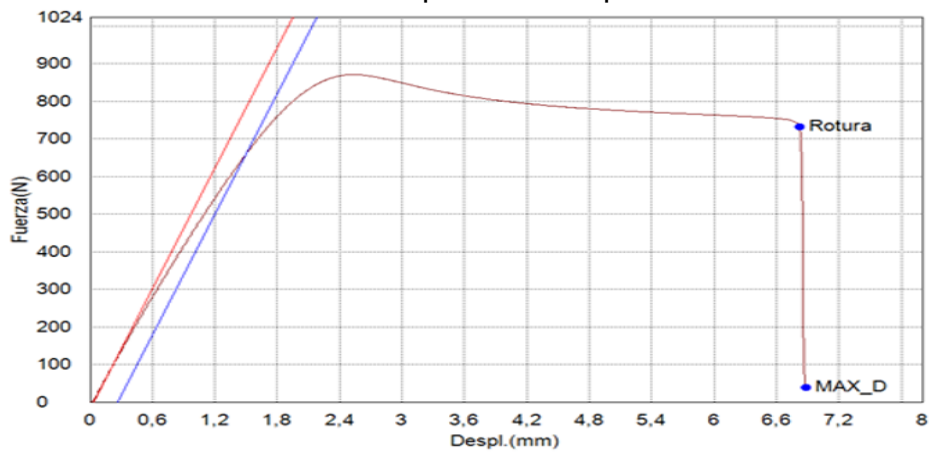
7. Gráficas tensión-desplazamiento PP-11H. Durante el desarrollo de los ensayos a tensión de este plástico hubo un comportamiento grafico en común, este plástico al ser un Homopolímero semicristalino de alto impacto su ductilidad fue poca con relación al LLDPE, ver Gráfica 3 y 4, y su carga máxima en tensión oscilo entre los 900-800 Newton en los 5 ensayos realizados.

Gráfica 3. Curva tensión-desplazamiento probeta N°2



Fuente: elaboración propia

Gráfica 4. Curva tensión-desplazamiento probeta N°4



Fuente: elaboración propia

8. Resistencia a la tensión en ruptura, valor medio y desviación estándar. Se utilizó la Ecuación 1 para calcular la resistencia a tensión en rotura y la Ecuación 2 para calcular el área inicial de la probeta. Los resultados se pueden observar en la Tabla 35.

Ecuación 2. Área original de la sección transversal de la probeta.

$$A_o = \text{Ancho} \times \text{Espesor}$$

Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14. P.13.

$$A_o = 3.2 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$$

$$A_o = 40.64 \text{ mm}^2$$

Tabla 35. Resultados esfuerzo de tensión polipropileno PP-11H.

Muestra N°	Área transversal (A _o)		Carga de ruptura (W)		Resistencia a la tensión en rotura (σ)	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	40,64	mm ²	743,63	N	18,30	MPa
2	40,64	mm ²	765,13	N	18,83	MPa
3	40,64	mm ²	732,69	N	18,03	MPa
4	40,64	mm ²	731,32	N	18,00	MPa
5	40,64	mm ²	748,12	N	18,41	MPa
Valor medio					18,31	MPa
Desviación estándar					0,337	MPa

Fuente: elaboración propia

9. Punto de fluencia, valor medio y desviación estándar

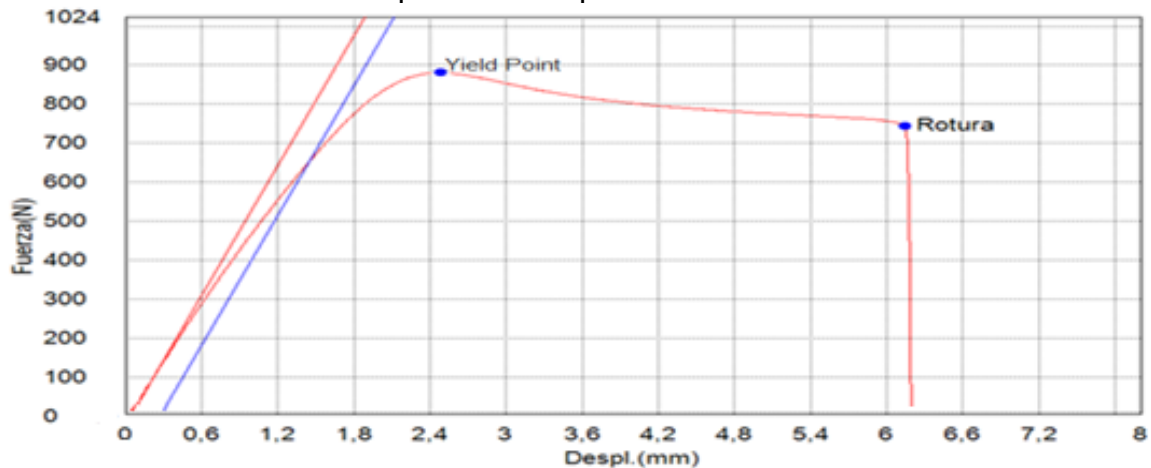
Para encontrar el punto de fluencia, se analizó las gráficas correspondientes a tensión vs desplazamiento, ver Gráfica 5, identificando el inicio de la zona plástica del material. Se utilizó la Ecuación 5 para calcular el esfuerzo de fluencia. Los resultados se pueden ver en la Tabla 36.

Tabla 36. Resultados esfuerzo de fluencia PP-11H.

Muestra N°	Área transversal		Carga máxima		Esfuerzo de Fluencia	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	40,64	mm ²	880,48	N	21,66	MPa
2	40,64	mm ²	882,53	N	21,71	MPa
3	40,64	mm ²	868,03	N	21,36	MPa
4	40,64	mm ²	870,76	N	21,43	MPa
5	40,64	mm ²	870,76	N	21,43	MPa

Fuente: elaboración propia

Gráfica 5. Curva tensión-desplazamiento probeta N°1



Fuente: elaboración propia

10. Porcentaje de alargamiento, valor medio y desviación estándar. Se utilizó la Ecuación 6 para calcular el porcentaje de elongación final. Ver Tabla 37.

Tabla 37. Resultados porcentaje de alargamiento polipropileno 11H (PP).

Muestra	Medida inicial (Longitud Calibrada)	Longitud final	% elongación
Nº	mm	mm	Valor
1	110	116,2	5,34
2	110	115,4	4,68
3	110	117,4	6,30
4	110	116,9	5,90
5	110	116,4	5,49
Valor medio			5,54
Desviación. estándar			0,83

Fuente: elaboración propia

11. Módulo de elasticidad, valor medio y desviación estándar. Ver Tabla 38. Para una mayor exactitud en los datos tomados se realizó el procedimiento “TOE COMPENSATION”, descrito en la sección 3.2.1-11 del presente trabajo.

Tabla 38. Módulo de elasticidad polipropileno 11H (PP).

Muestra	Módulo de elasticidad (MPa)	
Nº	Valor	Unidad
1	757,11	MPa
2	761,54	MPa
3	744,89	MPa
4	742,15	MPa
5	741,97	MPa
Valor medio		749,53 MPa
Desviación estándar		8,1208 MPa

Fuente: elaboración propia

12. Fecha de prueba. La prueba fue realizada el día 27 de marzo de 2019, entre la 1:00 p.m. y 5:00 p.m.

3.3 ENSAYO DE TENSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Para realizar el ensayo de tensión en materiales metálicos, es necesario seguir un procedimiento específico, el cual debe regirse a la norma ASTM E8⁵², este proceso

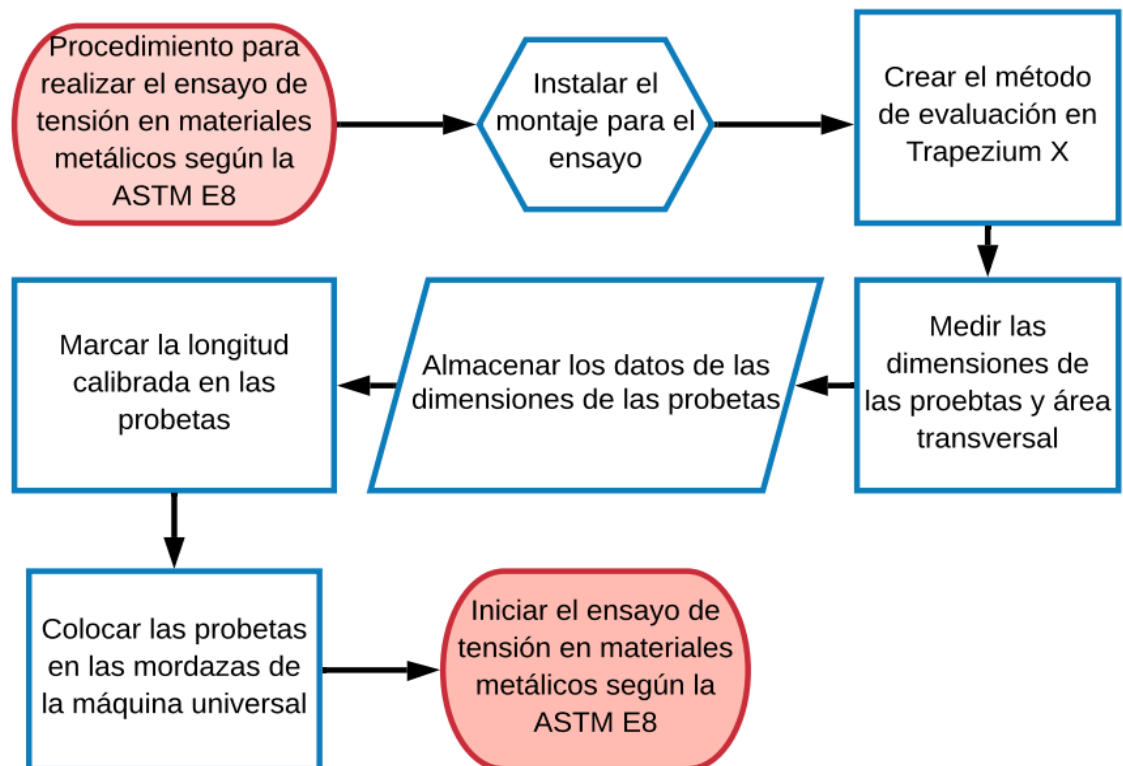
⁵² AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. E8/E8M. 13 ed. United States.: Astm International, 2013. 28 p.

se puede identificar mediante el **Diagrama 3**. En este ensayo se tomaron tres muestras de cada material para así satisfacer e identificar las propiedades características de los aceros a evaluar mediante el ensayo de tensión.

3.3.1 Consideraciones generales para el ensayo. Entre los aspectos más importantes del procedimiento para realizar el ensayo de tensión en materiales metálicos, es organizar e instalar el montaje de los accesorios para el ensayo. La guía para la correcta instalación se encuentra en el manual del equipo. Es muy importante verificar la velocidad del ensayo ya que es sí esta varia los resultados del ensayo puedan no ser satisfactorios. La velocidad escogida para el ensayo fue de 1,15 MPa/s, esta fue escogida debido a que se utilizó el procedimiento A para el muestreo de datos, según la norma ASTM E8⁵³.

- **Instalación de las probetas en la máquina universal.** Ajustar el espécimen de prueba en la empuñadura superior e inferior, Se utilizó la empuñadura plana para hacer el agarre de la probeta de acero. Esta empuñadura se ajusta mediante un sistema de sujeción de manivela, dando un ajuste que no permite que la probeta se deslice durante el ensayo. Una vez sujeta la probeta se puede iniciar el ensayo.

Diagrama 3. Preparación del ensayo de tensión en materiales metálicos.



Fuente: elaboración propia

⁵³ Ibid., P.15.

- **Dimensionamiento de la probeta.** Es necesario dimensionar la probeta, el procedimiento correcto para dimensionar la probeta es medir el ancho, espesor y longitud calibrada, se debe realizar la medición del ancho y el espesor en 10 partes diferentes de la probeta. Se debe hallar el área transversal de la muestra con las dimensiones mínimas encontradas, ver Ecuación 7 Después de esto se puede seguir con el procedimiento descrito en el Diagrama 3.

Ecuación 7. Área transversal de probetas de acero.

$$A_o = \text{Ancho mínimo} \times \text{Espesor mínimo}$$

Fuente: ASTM, International. E8, 2016, Vol. 16. P.12

- Área transversal de probeta plana acero 1020
 $A_o = \text{Ancho mínimo} \times \text{Espesor mínimo}$
 $A_o = 4.0 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm}$
 $A_o = 50 \text{ mm}^2$
- Área transversal de probeta plana acero 1045
 $A_o = \text{Ancho mínimo} \times \text{Espesor mínimo}$
 $A_o = 3.0 \text{ mm} \times 12.5 \text{ mm}$
 $A_o = 37,5 \text{ mm}^2$

3.3.2 Reporte final Acero AISI 1020; La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM E8⁵⁴. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 8 de la presente norma.

1. Identificación completa del material; Ver Cuadro 7, en la siguiente tabla se puede observar características del ensayo como la referencia del ensayo, material utilizado, forma y tipo de probetas entre otros.

Cuadro 7 Información general ensayo a tensión acero 1020.

Características	Significado
Referencia del ensayo	E8- 13
Material	AISI 1020
Fabricante	CGA S.A.
Tipo de muestra	Hoja
Forma de muestra	Plana

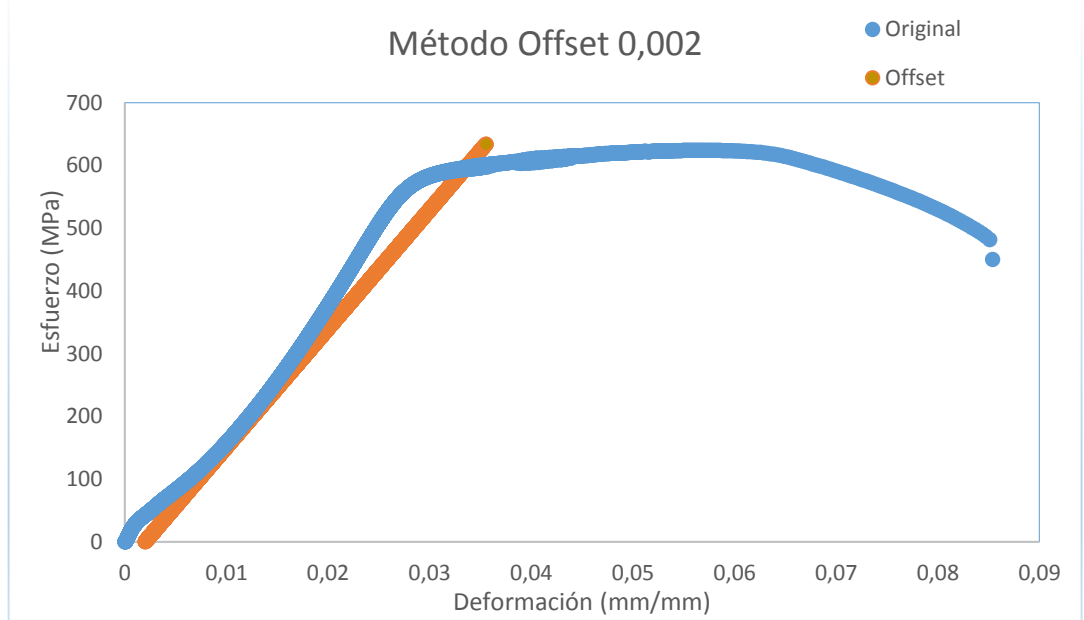
Fuente: elaboración propia

2. Esfuerzo de fluencia del material; Este es un dato importante para el análisis de propiedades mecánicas en materiales metálicos, por lo tanto este dato permite conocer, el esfuerzo máximo que puede alcanzar el material, sin causar una

⁵⁴ Ibid., P.21.

deformación plástica. Este punto fue hallado gráficamente mediante el método offset, descrito en el numeral 7.7.1 de la ASTM E8. Ver gráfica 6.

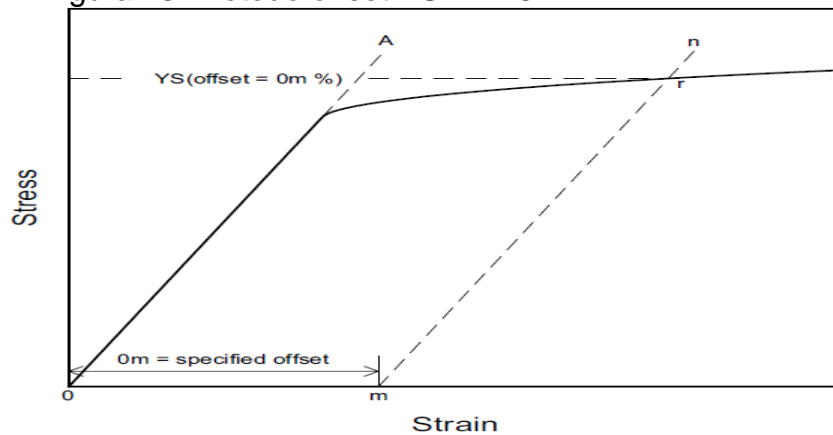
Gráfica 6. Diagrama esfuerzo de tensión vs deformación- offset ensayo N° 1



Fuente: elaboración propia

Se realizó una construcción geométrica, ver Figura 15, donde se toma la pendiente de la recta A-0, Luego, se debe especificar el valor offset, el cual para este ensayo fue de 0,2 %, después se traza una recta paralela con la misma pendiente de la gráfica original comenzando desde el 0,02% de deformación buscando la intersección de las dos gráficas. De esta manera se hallaron los siguientes datos, ver Tabla 39.

Figura 15. Método offset ASTM E8.



Fuente: ASTM, International. E8, 2013, Vol. 13

Tabla 39. Esfuerzo de fluencia acero 1020.

Muestra	Esfuerzo de fluencia (MPa)
1	612,31
2	572,62
3	590,32
Valor medio	591,74
Desviación estándar	16,21

Fuente: elaboración propia.

- Esfuerzo de tensión. Este valor se calcula dividiendo la carga máxima, sobre el área original de la muestra, para ello se calcula el área transversal de la probeta, ver Ecuación 8. Este esfuerzo es el máximo esfuerzo que se calcula a partir de la fuerza máxima durante una prueba de tensión llevada a la ruptura⁵⁵. Ver Tabla 40 y Gráfica 7. También se halló el esfuerzo de rotura con la Ecuación 9, los resultados se pueden observar en la Tabla 41.

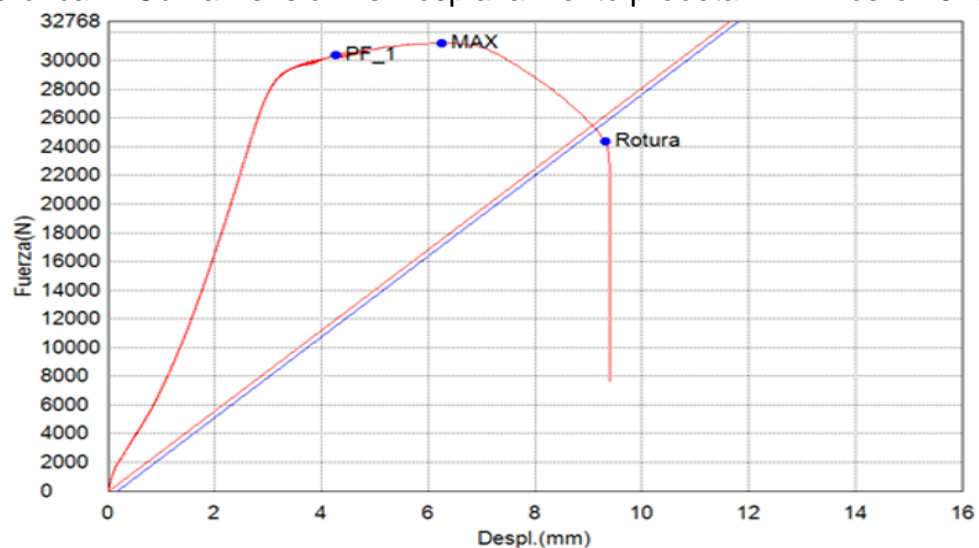
Ecuación 8. Resistencia ultima en metal

$$\sigma_U = \frac{W}{A_0}$$

Fuente: ASTM, International. E8, 2013, Vol. 13. P.2

- σ_u = Resistencia a la tensión [MPa]
- A_0 = Área original de la sección transversal de la probeta [mm²]
- W = Carga máxima [N]

Gráfica 7. Curva Tensión vs Desplazamiento probeta N° 2. Acero 1020



Fuente: elaboración propia

⁵⁵ Ibid., p.2.

Tabla 40. Resultados esfuerzo de tensión 1020

Muestra N°	Área transversal (A _o)		Carga máxima (W)		Esfuerzo de tensión	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades	Valor	Unidades
1	50	mm ²	31.219,47	N	624,39	MPa
2	50	mm ²	31.589,4	N	631,78	MPa
3	50	mm ²	31.580,74	N	631,61	MPa
Valor medio					629,26	MPa
Desviación estándar					3,29	MPa

Fuente: elaboración propia

Ecuación 9. Esfuerzo de rotura en metal

$$\sigma_r = \frac{W}{A_o}$$

Fuente: ASTM, International. E8, 2013, Vol. 13. P.2

- σ_r = Esfuerzo de rotura [MPa]
- A_o = Área original de la sección transversal de la probeta [mm²]
- W = Carga de rotura [N]

Tabla 41. Resultados esfuerzo de rotura.

Muestra N°	Área transversal (A _o)		Carga de ruptura (W)		Esfuerzo de tensión (σ_u)	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	50,00	mm ²	24.347,40	N	486,95	MPa
2	50,00	mm ²	23.404,30	N	468,09	MPa
3	50,00	mm ²	23.954,60	N	479,09	MPa
Valor medio					478,04	MPa
Desviación estándar					7,67	MPa

Fuente: elaboración propia.

- Módulo de elasticidad. Para encontrar el módulo de elasticidad con mayor precisión, se recurrió a extraer los datos recopilados durante el ensayo, en una hoja de cálculo de Excel y realizar el procedimiento descrito en el numeral 3.2.2-11 del presente trabajo, para lograr una mayor aproximación a los resultados verdaderos, ya que no se cuenta con un extensómetro para hacer un cálculo adecuado de esta propiedad. Al realizar este procedimiento se pueden observar los siguientes valores. Ver Tabla 42.

Tabla 42. Módulo de elasticidad

Muestra Nº	Módulo de elasticidad	
	Valor	Unidad
1	34.12	GPa
2	47.34	GPa
3	46.75	GPa
Valor medio	42.74	GPa
Desviación estándar	6.10	GPa

Fuente: elaboración propia.

5. Porcentaje de elongación; Es un valor característico presente en los ensayos de tensión en donde se calcula la diferencia entre la longitud final e inicia, ver Ecuación 6, en términos de porcentaje. Ver Tabla 43.

Tabla 43. Resultados porcentaje de elongación relativo

Muestra Nº	Medida inicial (Longitud Calibrada)		Desplazamiento entre marcas		% elongación
	Valor	Unidad	Valor	unidad	%
1	80	mm	87,50	mm	9,375
2	80	mm	88,50	mm	10,625
3	80	mm	89,00	mm	11,25
Valor medio					10,42
Desviación estándar					0,95

Fuente: elaboración propia.

6. Porcentaje de reducción de área; Es un valor característico presente en los ensayos de tensión en donde se calcula la diferencia entre el área inicial y final, en términos de porcentaje, ver Ecuación 10. Los resultados se pueden observar en la Tabla 44.

Ecuación 10. Porcentaje de reducción de área

$$\% Ra = \frac{(A - A_o)}{A_o} * 100\%$$

Fuente: ASTM, International. E8, 2013, Vol. 13. P.20

- %Ra = Porcentaje de reducción de área [%]
- A_o= Área transversal inicial [mm²]
- A= Área transversal final [mm²]

Tabla 44 Resultados porcentaje de reducción de área

Muestra	Área inicial		Área final		Porcentaje de reducción de área
	Nº	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	50	mm ²	27	mm ²	46
2	50	mm ²	26,5	mm ²	47
3	50	mm ²	25,5	mm ²	49
Valor medio					47,33
Desviación estándar					1,53

Fuente: elaboración propia.

3.3.3 Reporte final Acero AISI 1045; La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM E8⁵⁶. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 8 de la presente norma.

1. Identificación completa del material; Ver Cuadro 8, en la siguiente tabla se puede observar características del ensayo como la referencia del ensayo, material utilizado, forma y tipo de probetas entre otros.

Cuadro 8. Información general ensayo a tensión acero 1045

Características	Significado
Referencia del ensayo	E8- 13
Material	AISI 1045
Fabricante	CGA S.A.
Tipo de muestra	Hoja
Forma de muestra	Plana

Fuente: elaboración propia

2. Esfuerzo de fluencia del material. También llamado límite elástico, el cálculo de este dato se realizó mediante el método offset, descrito en el numeral 3.3.2-2 del presente trabajo, por medio de Microsoft Excel, ver Tabla 45.

Tabla 45. Esfuerzo de fluencia acero 1045.

Muestra	Esfuerzo de fluencia		
	Nº	Valor	Unidad
1		1.178,47	MPa
2		1.095,7	MPa
3		1.130,2	MPa
Valor medio		1.134,79	MPa
Desviación estándar		33,93	MPa

Fuente: elaboración propia

3. Esfuerzo último y esfuerzo de tensión. El esfuerzo de tensión se calculó mediante la Ecuación 8, donde se tomó la carga máxima en los ensayos

⁵⁶ Ibid., P.21.

realizados. Para hallar el esfuerzo ultimo o de rotura se utilizó la Ecuación 9, los respectivos resultados se pueden observar en la Tabla 46 y 47.

Tabla 46. Resultados esfuerzo de tensión en acero 1045

Muestra N°	Área transversal		Carga máxima		Esfuerzo de tensión (σ_u)	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	37,5	mm ²	37.938,38	N	1.011,69	MPa
2	37,5	mm ²	37.907,02	N	1.010,85	MPa
3	37,5	mm ²	37.472,39	N	999,26	MPa
Valor medio					1.007,27	MPa
Desviación estándar					3,49	MPa

Fuente: elaboración propia

Tabla 47. Resultados esfuerzo de ruptura en acero 1045

Muestra N°	Área transversal		Carga de ruptura		Esfuerzo de tensión	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	37,50	mm ²	28.911,80	N	770,98	MPa
2	37,50	mm ²	33.711,20	N	898,97	MPa
3	37,50	mm ²	28.923,11	N	771,28	MPa
Valor medio					813,74	MPa
Desviación estándar					60,25	MPa

Fuente: elaboración propia.

4. Módulo de elasticidad. . Para encontrar el módulo de elasticidad más preciso se recurrió a extraer los datos recopilados durante el ensayo, en una hoja de cálculo de Excel y realizar el procedimiento descrito en el numeral 3.2.2-11 del presente trabajo. Ver Tabla 48.

Tabla 48. Resultados módulo de elasticidad acero 1045.

Muestra N°	Módulo de elasticidad	
	Valor	Unidad
1	61.82	GPa
2	33.47	GPa
3	58.35	GPa
Valor medio		51.21 GPa
Desviación estándar		12.63 GPa

Fuente: elaboración propia.

5. Porcentaje de elongación. Se tuvo en cuenta la distancia calibrada inicial y la final, para calcular el porcentaje se utilizó la Ecuación 6, los resultados se pueden observar en la Tabla 49.

Tabla 49. Porcentaje de elongación acero 1045.

Muestra Nº	Medida inicial (Longitud Calibrada)		Desplazamiento entre marcas		% elongación
	Valor	Unidad	Valor	unidad	%
1	80	mm	86,50	mm	8,12
2	80	mm	87,00	mm	8,75
3	80	mm	85,50	mm	6,87
Valor medio					7,92
Desviación estándar					0,95

Fuente: elaboración propia.

6. Porcentaje de reducción de área; Es un valor característico presente en los ensayos de tensión en donde se calcula la diferencia entre el área inicial respecto al área final en términos de porcentaje, se calculó mediante la Ecuación 10, los resultados se pueden observar en la Tabla 50.

Tabla 50. Resultados porcentaje de reducción de área.

Muestra Nº	Área inicial		Área final		Porcentaje de reducción de área
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	%
1	37,5	mm ²	20,7	mm ²	44,8
2	37,5	mm ²	20	mm ²	46,66
3	37,5	mm ²	20,95	mm ²	44,13
Valor medio					45,2
Desviación estándar					1,32

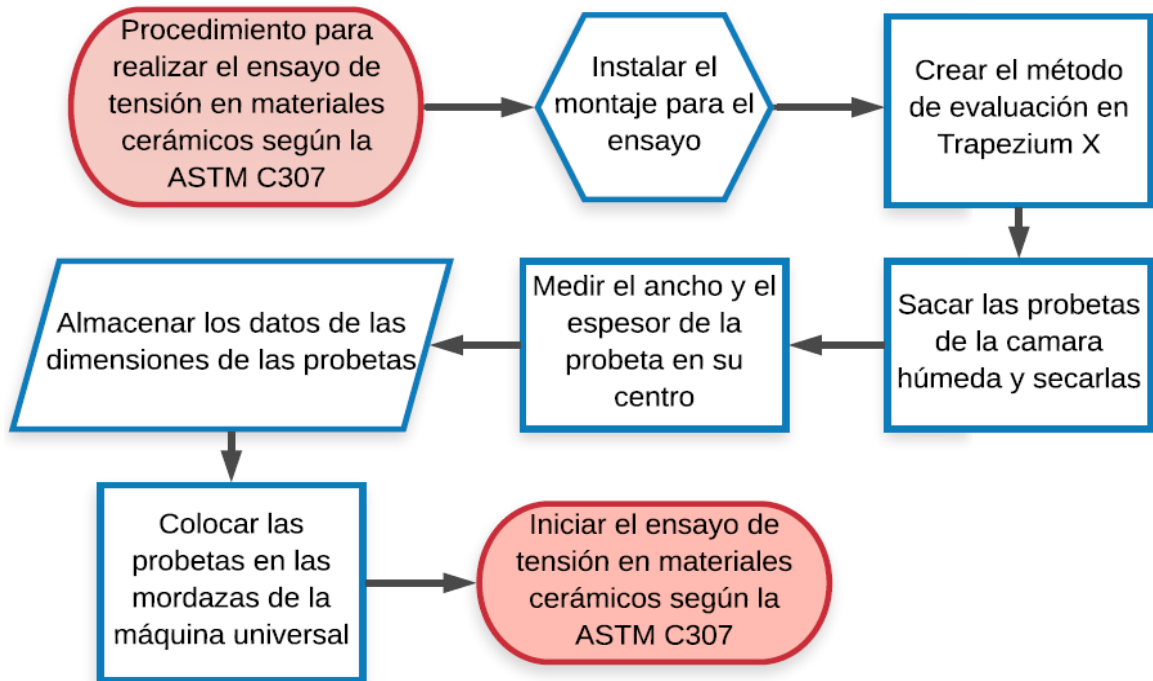
Fuente: elaboración propia.

3.4 ENSAYO DE TENSIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS

Este ensayo se realiza según la norma ASTM C307⁵⁷, en la cual se puede encontrar el procedimiento específico para llevar a cabo el ensayo, ver **Diagrama 4**, este ensayo se desarrolló en cemento hidráulico tipo portland, debido a su facilidad para la obtención y manipulación. Para este ensayo se tomaron dos tipos de cemento; cemento tipo I, llamado uso general y el cemento tipo III, llamado ART. Se tomaron tres muestras por cada ensayo.

⁵⁷ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Tensile Strength Of Chemical-resistant Mortar, Grouts, And Monolithic Surfacing. C307. 18 ed. West Conshohocken.: Astm International, 2018. 4 p.

Diagrama 4. Preparación del ensayo de tensión en materiales cerámicos.



Fuente: elaboración propia

3.4.1 Consideraciones generales para el ensayo. Entre los aspectos más importantes del procedimiento para realizar el ensayo de tensión en materiales cerámicos, es organizar e instalar el montaje de los accesorios para el ensayo. La guía para la correcta instalación se encuentra en el manual del equipo.

Para la ejecución de los ensayos a tensión en materiales metálicos es necesario crear el método de evaluación para el ensayo de tensión en el software TRAPEZIUM X, el cual se puede realizar con la guía paso a paso de la sección 1.7 del presente trabajo.

3.4.2 Ensayo de tensión en cemento tipo I (UG). Se tomara en cuenta el informe final que utiliza la ASTM C307⁵⁸, para la entrega de los resultados.

1. Identificación completa del material; Ver Cuadro 9, en la siguiente tabla se puede observar características del ensayo como la empresa productora del material, material utilizado, forma y tipo de probetas entre otros.

⁵⁸ Ibíd., P.3.

Cuadro 9. Información general ensayo de tensión en cerámico.

Características	Significado
Referencia del ensayo	C307-18
Material	Cemento tipo I
Fabricante	CETESA S.A
Tipo de muestra	BRIQUETA
Norma colombiana	NTC 121

Fuente: elaboración propia

2. Relación de agua-cemento. Se tomó como referencia el artículo “la pasta hidratada de cemento portland”⁵⁹, en donde se sugiere usar una relación a/c de 0,4, lo que permite es que se forme una masa continua sin capilaridad dentro del material.
3. Acondicionamiento de las probetas. Las probetas una vez fraguadas fueron llevadas a una cámara húmeda, hasta donde permanecieron hasta el momento del ensayo.
4. Condiciones atmosféricas en la sala de pruebas, ver Cuadro 10.

Cuadro 10. Condiciones atmosféricas ensayo tensión cemento tipo I

Reporte Final ASTM D638		
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
	18	66

Fuente: elaboración propia

5. Edad de las muestras, ver Cuadro 11.

Cuadro 11. Edad de las probetas de cemento tipo I

Reporte final ASTM C307		
Edad de las muestras	Valor	Unidad
	3	día

Fuente: elaboración propia

6. Esfuerzo de tensión. Este el dato más importante de calcular para este ensayo, ya que es el esfuerzo máximo a tensión, que resiste la pasta de cemento. Se calcula mediante la Ecuación 11. El valor de la carga máxima a tensión es el pico más alto de la gráfica carga-desplazamiento, ver Gráfica 8. Los resultados de los ensayos se pueden observar en la Tabla 51.

⁵⁹ FERNANDEZ PARIS, J.M. .Materiales De Construcción. La Pasta Hidratada De Cemento Portland. Madrid.1975. 17 p.

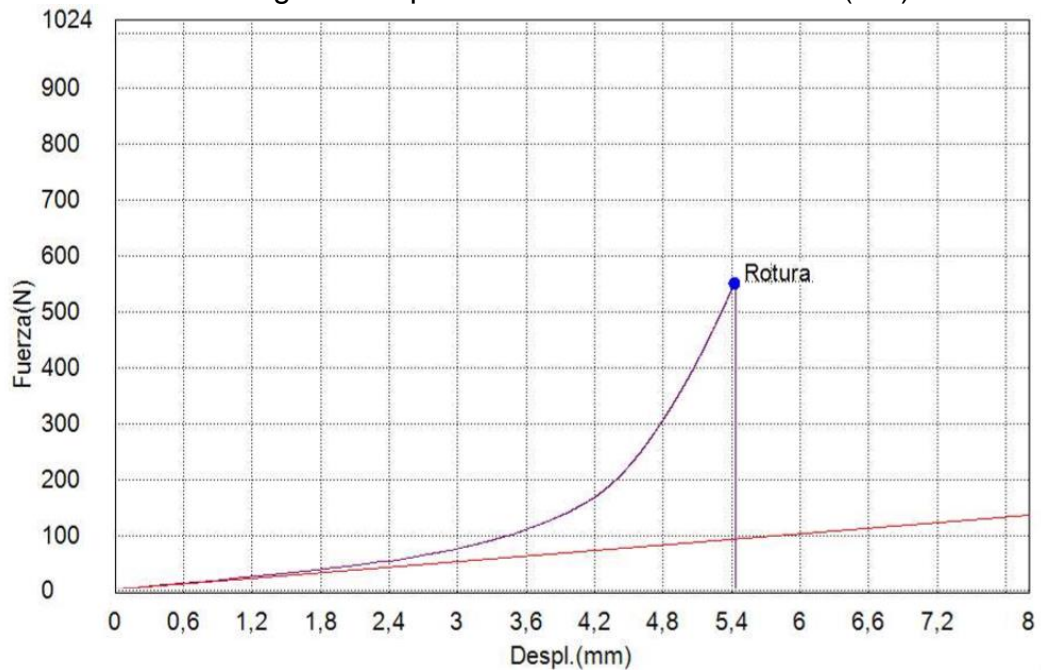
Ecuación 11. Esfuerzo de tensión en cerámicos

$$S = \frac{P}{b * d}$$

Fuente: ASTM, International. C307, 2018, Vol. 18. P.3

- S= esfuerzo de tensión [MPa]
- P= carga al momento de la fractura [N]
- b= ancho en el centro de la muestra [mm]
- d= espesor de la muestra [mm]

Gráfica 8. Curva carga vs desplazamiento tensión cerámico (UG)



Fuente: elaboración propia

Tabla 51. Resultados esfuerzo de tensión cemento tipo I

Muestra Nº	Espesor (d)		Ancho (b)		Carga de ruptura (P)		Esfuerzo de tensión (S)	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	25,2	mm	25,1	mm	574,35	N	0,91	MPa
2	24,9	mm	25,2	mm	503,07	N	0,80	MPa
3	25,1	mm	25	mm	552,77	N	0,88	MPa
Valor medio							0,86	MPa
Desviación estándar							1,00	MPa

Fuente: elaboración propia

3.4.3 Ensayo de tensión en cemento tipo III (ART). Se tomara en cuenta el informe final que utiliza la ASTM C307⁶⁰, para la entrega de los resultados.

1. Identificación completa del material; Ver Cuadro 12, en la siguiente tabla se puede observar características del ensayo como la empresa productora del material, material utilizado, forma y tipo de probetas entre otros.

Cuadro 12. Información general ensayo a tensión cemento ART

Características	Significado
Referencia del ensayo	C307-18
Material	Cemento tipo III
Fabricante	CETESA S.A
Tipo de muestra	BRIQUETA
Norma colombiana	NTC 121

Fuente: elaboración propia

2. Relación de agua-cemento. Se tomó como referencia el artículo “la pasta hidratada de cemento portland”⁶¹, en donde se sugiere usar una relación a/c de 0,4, lo que permite es que se forme una masa continua sin capilaridad dentro del material.
3. Acondicionamiento de las probetas. Las probetas una vez fraguadas fueron llevadas a una cámara húmeda, hasta donde permanecieron hasta el momento del ensayo.
4. Condiciones atmosféricas en la sala de pruebas, ver Cuadro 13.

Cuadro 13. Condiciones atmosféricas ensayo tensión cemento tipo I

Reporte Final ASTM D638		
CONDICIONES ATMOSFÉRICAS	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
	18	66

Fuente: elaboración propia

5. Edad de las muestras, ver Cuadro 14.

Cuadro 14. Edad de las probetas de cemento tipo I

Reporte final ASTM C307		
Edad de las muestras	Valor	Unidad
	1	día

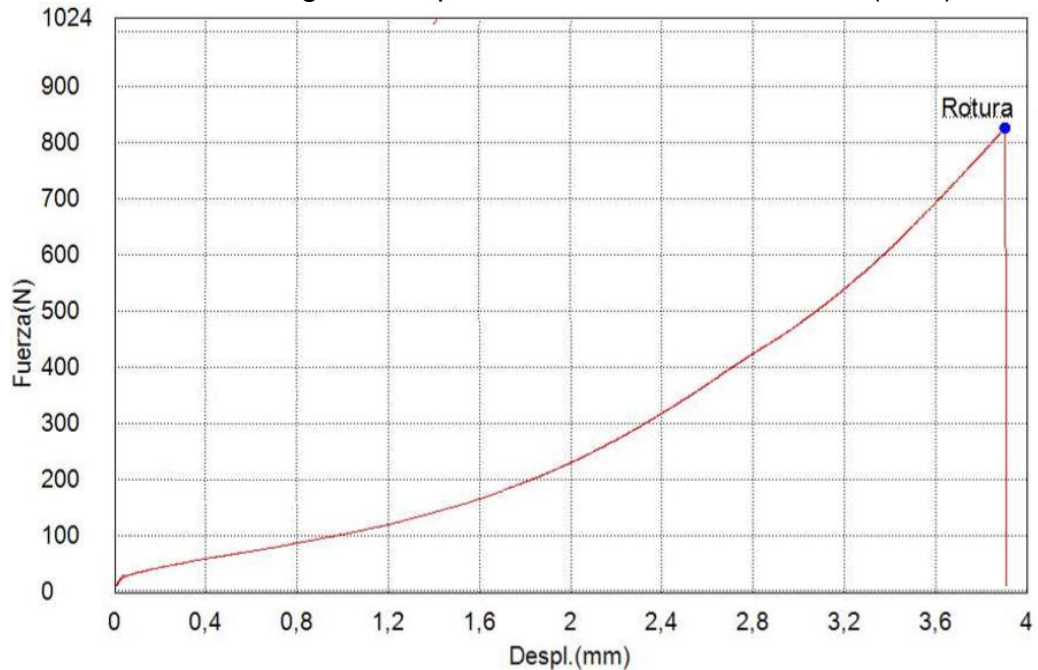
Fuente: elaboración propia

⁶⁰ Ibíd., P.3.

⁶¹ FERNANDEZ PARIS, J.M. Materiales De Construcción. La Pasta Hidratada De Cemento Portland. Madrid.1975. 17 p.

6. Esfuerzo de tensión. Este el dato más importante de calcular para este ensayo, ya que es el esfuerzo máximo a tensión, que resiste la pasta de cemento. Se calcula mediante la Ecuación 11. La carga máxima fue hallada gráficamente, ver Gráfica 9. Los resultados de los ensayos se pueden observar en la Tabla 52.

Gráfica 9. Curva carga vs desplazamiento tensión cerámico (ART)



Fuente: elaboración propia

Tabla 52 Resultados esfuerzo de tensión cemento tipo I.

Muestra Nº	Espesor (d)		Ancho (b)		Carga de ruptura (P)		Esfuerzo de tensión (S)		
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	
1	25,3	mm	25,2	mm	747,32	N	1,17	MPa	
2	25	mm	25,1	mm	827,26	N	1,32	MPa	
3	25,3	mm	25,3	mm	1044,75	N	1,63	MPa	
Valor medio								1,37	MPa
Desviación estándar								0,98	MPa

Fuente: elaboración propia

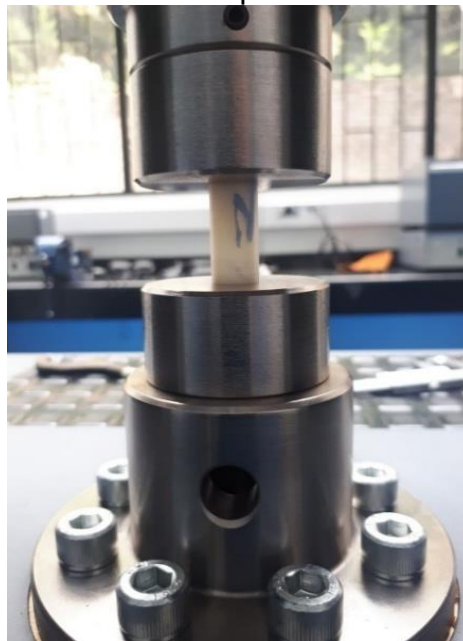
4. REALIZAR EL ENSAYO DE COMPRESIÓN EN LA MAQUINA UNIVERSAL SEGÚN LAS NORMAS ASTM

El desarrollo del trabajo de grado cuenta con el desarrollo de las pruebas de compresión en materiales metálicos, plásticos y cerámicos, donde se busca evaluar propiedades como lo son; el límite elástico, el punto de fluencia, resistencia a la compresión e identificar gráficas características de los materiales a evaluar.

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La máquina universal de ensayos cuenta con unos accesorios especiales para realizar este tipo de ensayos en donde el primer paso a realizar para ejecutar el ensayo es instalar los platos de compresión. La guía para la correcta instalación se encuentra en el manual del equipo. Ver Imagen 34.

Imagen 34. Montaje para ensayo de compresión



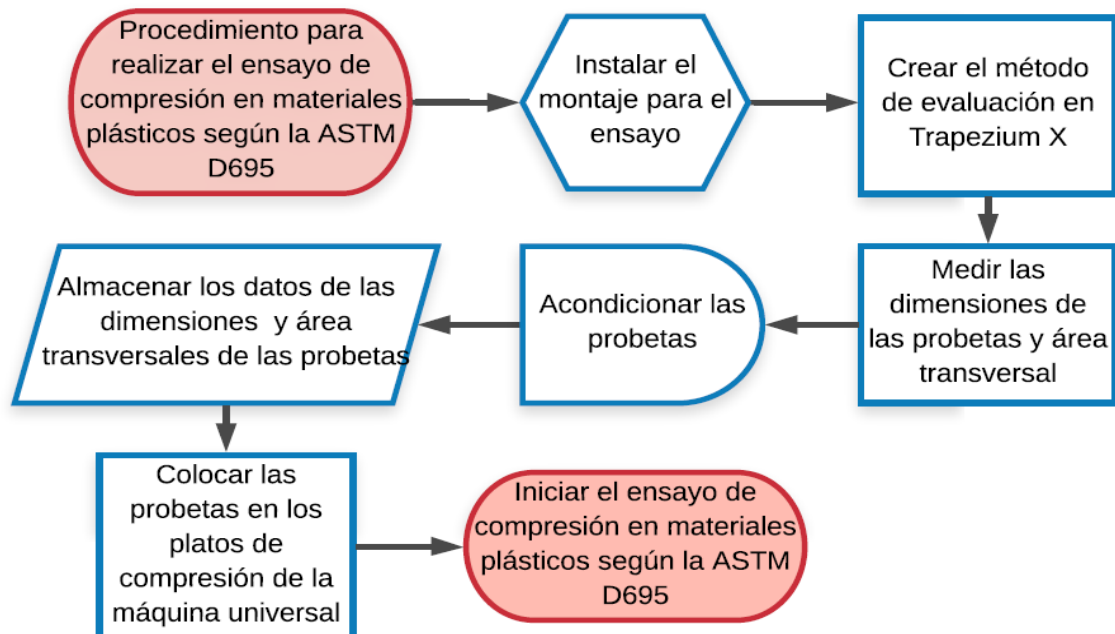
Fuente: elaboración propia.

Para la ejecución de los ensayos a compresión en materiales metálicos, plásticos y cerámicos, es necesario seguir una guía paso a paso, para evitar inconvenientes a la hora de utilizar el equipo y el software, de esta manera se debe vez crear el método de evaluación para el ensayo de tensión en el software TRAPEZIUM X, el cual se puede realizar con la guía paso a paso de la sección 1.7 del presente trabajo. A su vez revisar el Anexo M, el cual establece los esfuerzos máximos que se pueden aplicar para los siguientes ensayos.

4.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES PLÁSTICOS

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma D695⁶², la cual establece que se realiza para determinar las propiedades mecánicas de plásticos rígidos, también incluye compuestos que cuenten con un gran valor de módulo de elasticidad. Para dar inicio al ensayo se debe seguir el procedimiento específico en la norma ASTM D695⁶³, ver Diagrama 5, en donde los especímenes de prueba se deben someter a un acondicionamiento previo y posterior proceso para la ejecución del ensayo.

Diagrama 5. Procedimiento para realizar el ensayo de compresión en plásticos



Fuente: elaboración propia.

4.2.1 Consideraciones generales para el ensayo. Este ensayo se debe realizar al menos con tres probetas para cada caso de estudio, en donde se debe buscar un comportamiento en común. Se debe usar una velocidad de prueba establecida en

⁶² AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Properties Of Rigid Plastics. ASTM D695-15. West Conshohocken.: Astm International, 2015. 8p.

⁶³ Ibid., p4

la norma ASTM D695⁶⁴, la cual la velocidad mínima es de 1.3 mm/min \pm 3 % por espécimen de prueba.

- **Acondicionamiento de las probetas.** Para el acondicionamiento de las probetas se debe tener en cuenta la norma ASTM D618⁶⁵, las probetas deben estar 2 días antes en el cuarto del ensayo para que de esta manera adquieran la temperatura y la humedad relativa del ambiente en donde se va a realizar el ensayo. Se debe realizar un acondicionamiento de la temperatura de la sala para la ejecución de los ensayos, determinado por la norma ASTM D618⁶⁶, esto se realiza con el fin de llevar el material a condiciones normales o promedio para así obtener resultados así para temperaturas de ejecución de la muestra entre - 21 °C y 82 °C, existe una tolerancia de \pm 2 °C y a su vez el porcentaje de incremento o disminución de la humedad relativa no puede sobrepasar más del 10%.
- **Dimensionamiento.** Medir el diámetro del espécimen de prueba a lo largo de su longitud, registrando sus datos y calculando el valor mínimo del área transversal de la probeta.
- **Instalación de probetas.** Colocar la probeta entre los bloques de compresión de la máquina universal, siendo cuidadoso de alinear la probeta con respecto al eje longitudinal de los bloques de compresión, después mover el cabezal de la máquina hasta que los bloques hagan contacto con la superficie de la probeta.
- **Seguridad.** Una vez sujeta la probeta se debe iniciar el ensayo, verificar los inicios y finales de carrera.
- **Finalización del ensayo.** Una vez terminado el ensayo, que se puede dar de dos maneras, cuando la probeta falle o cuando la probeta se deforme drásticamente debido a su composición. Guardar las gráficas de esfuerzo – deformación, demás gráficas y datos correspondientes y seguir con los siguientes especímenes de prueba hasta acabar el ensayo.

4.2.2 Reporte final del ensayo de compresión material Poliamida 66. La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM D695⁶⁷. De este material se ensayaron 3 probetas. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 12 de la presente norma:

1. Informe final material Nylon 66.
2. Identificación del material y probeta, ver Cuadro 15 y 16.

⁶⁴ Ibid. p5

⁶⁵ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice For Conditioning Plastics For Testing. 618-13. West Conshohocken.: Astm International, 2013. 4 p.

⁶⁶ Ibid., p2

⁶⁷ AMERICAN. Op cit., p. 8.

Cuadro 15. Identificación del material Nylon 66

Características	Significado
Nombre	Poliamida 6.6
Sigla	(PA 66)
Fabricante	San metal S.A
Código	PA 66 GF 30
Forma original	Pellets

Fuente: elaboración propia

Cuadro 16. Forma probeta Nylon 66.

Reporte Final ASTM D695	
TIPO DE MUESTRA	1
FORMA	Cilíndrica

Fuente: elaboración propia

3. Método de acondicionamiento de muestra. Se escogió un método de acondicionamiento de la probeta, se puede observar en la Cuadro 17.

Cuadro 17. Acondicionamiento Nylon 66.

Reporte Final ASTM D695	
Tipo de acondicionamiento	Procedimiento
	Tipo A

Fuente: elaboración propia

4. Condiciones atmosféricas en sala de pruebas. Se evaluaron tanto temperatura y humedad relativa, ver Tabla 53.

Tabla 53. Condiciones atmosféricas

Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
22	44

Fuente: elaboración propia

6. Esfuerzo de compresión, valor medio y desviación estándar. Para calcular este valor se necesitó el resultado de la Ecuación 12, para calcular el área transversal de la probeta, y además de la Ecuación 13 para hallar el esfuerzo de compresión. El valor de la carga máxima se halló gráficamente, ver Gráfica 14 Los resultados se puede observar en la Tabla 54.

Ecuación 12. Área transversal de un cilindro

$$A_0 = \pi * r^2$$

Fuente: ASTM, International. D695, 2015, Vol. 15. P.5

- A_0 = Área transversal de la probeta. [mm^2]
- r = Radio de la probeta. [mm]

Ecuación 13. Esfuerzo de compresión

$$S = \frac{P}{A_0}$$

Fuente: ASTM, International. D695, 2015, Vol. 15. P.5

- A_0 = Área transversal de la probeta. [mm^2]
- P = Carga de compresión máxima. [N]
- S = Esfuerzo de compresión. [MPa]

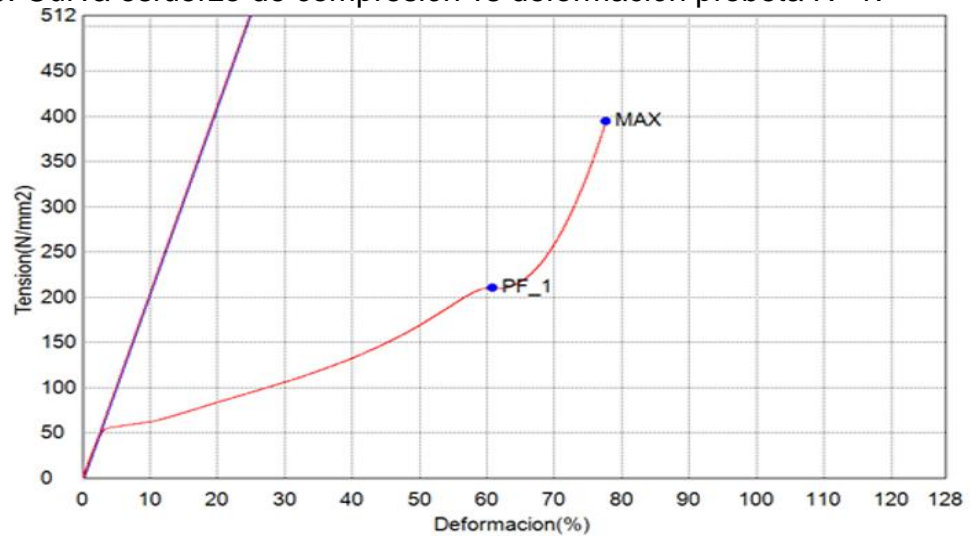
Tabla 54. Resultados esfuerzo de compresión

Muestra	Fuerza de compresión máxima (N)			Área transversal		Esfuerzo de compresión	
	Nº	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1		50.031	N	126,68	mm^2	394,95	MPa
2		50.029,3	N	126,68	mm^2	394,94	MPa
3		50.031,5	N	126,68	mm^2	394,95	MPa
Valor medio						394,95	MPa
Desviación estándar						1,00	MPa

Fuente: elaboración propia

7. Punto de fluencia, valor medio y desviación estándar. Es el primer punto del diagrama esfuerzo deformación, donde ocurre un aumento de deformación sin haber aumento de carga a la probeta. El Grafico 10 ilustra el punto de fluencia para la probeta N^o, este es llamado PF_1. Se utilizó la Ecuación 14 para el cálculo del esfuerzo de fluencia del material. Los resultados se pueden observar en la Tabla 55.

Gráfica 10. Curva esfuerzo de compresión vs deformación probeta N° 1.



Fuente: elaboración propia

Ecuación 14. Esfuerzo de fluencia en plásticos

$$S_y = \frac{P_y}{A_0}$$

Fuente: ASTM, International. D695, 2015, Vol. 15. P.6

- A_0 = Área transversal de la probeta
- P_y = Carga en el punto de fluencia
- S_y = Esfuerzo de fluencia

Tabla 55. Esfuerzo de fluencia Nylon 66

Muestra Nº	Fuerza de compresión máxima (N)		Área transversal		Esfuerzo de compresión	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	26.700,5	N	126,68	mm ²	210,78	MPa
2	31.200,1	N	126,68	mm ²	246,30	MPa
3	22.017,6	N	126,68	mm ²	173,81	MPa
Valor medio					210,29	MPa
Desviación estándar					29,58	MPa

Fuente: elaboración propia

5. Módulo de elasticidad del material en compresión, valor medio y desviación estándar. El módulo de elasticidad fue calculado mediante el método gráfico,

enunciado en la norma ASTM E111⁶⁸. Los resultados se pueden observar en la Tabla 56.

Tabla 56. Módulo de elasticidad Nylon 66

Muestra Nº	Módulo de elasticidad	
	Valor	Unidad
1	2.073,21	MPa
2	1.850,56	MPa
3	1.946,77	MPa
Valor medio	1.956,85	MPa
Desviación estándar	111,67	MPa

Fuente: elaboración propia

6. Fecha de ejecución del ensayo.

Viernes 12 de abril del 2019, entre la 1:00 p.m. y 5 p.m.

4.2.3 Reporte final del ensayo de compresión material Teflón. La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM D695⁶⁹. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 12 de la presente norma:

1. Informe final material Teflón.
2. Identificación del material, ver Cuadro 18.

Cuadro 18. Identificación del material Teflón

Características	Significado
Nombre	Politetrafluoroetileno
Sigla	PTFE
Fabricante	WS Hampshire Inc.
Forma original	Pellets
Estado Comercial	Activo

Fuente: elaboración propia

Es necesario, conocer el tipo de muestra sea cilíndrica o plana, ver Cuadro 19.

⁶⁸ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Young's Modulus, Tangent Modulus, And Chord Modulus. E111. 17 ed. West Conshohocken.: Astm International, 2017. 7 p.

⁶⁹ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Properties Of Rigid Plastics. ASTM D695-15. West Conshohocken.: Astm International, 2015. 6p.

Cuadro 19. Tipo de muestra- Teflón

Reporte Final ASTM D695	
Tipo de muestra	1
Forma	Cilíndrica

Fuente: elaboración propia

3. Método de acondicionamiento de muestra. Ver cuadro 20.

Cuadro 20. Tipo de acondicionamiento Teflón

Reporte Final ASTM D695	
Tipo de acondicionamiento	Procedimiento
	Tipo A

Fuente: elaboración propia

4. Condiciones atmosféricas en sala de pruebas. Ver Tabla 57.

Tabla 57. Condiciones atmosféricas- Teflón

Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)
22	44

Fuente: elaboración propia

5. Fuerza de compresión, valor medio y desviación estándar. Para calcular este valor, se utilizó la Ecuación 12 y 13. Los resultados se pueden observar en la Tabla 58.

Tabla 58. Fuerza de compresión máxima Teflón

Muestra	Fuerza de compresión máxima (N)		Área transversal	Esfuerzo de compresión		
	Valor	Unidad		Unidad	Valor	Unidad
1	21.698,2	N	126,68	mm ²	171,29	MPa
2	41.658,6	N	126,68	mm ²	328,86	MPa
3	42.048,4	N	126,68	mm ²	331,93	MPa
Valor medio					277,36	MPa
Desviación estándar					75,01	MPa

Fuente: elaboración propia

6. Módulo de elasticidad del material en compresión, valor medio y desviación estándar. La opción más adecuada para hallar el módulo de elasticidad, es hallar el modulo tangente, esto es recomendado según la norma ASTM D695⁷⁰, en su anexo A, por lo tanto se siguió el procedimiento descrito en la ASTM E111⁷¹, para hallar este valor Tabla 59.

⁷⁰ Ibíd., P.7.

⁷¹ OP.Cit P.6.

Tabla 59. Módulo de elasticidad Teflón

Muestra Nº	Módulo de elasticidad	
	Valor	Unidad
1	770,26	MPa
2	547,92	MPa
3	571,80	MPa
Valor medio	630,00	MPa
Desviación estándar	122,06	MPa

Fuente: elaboración propia

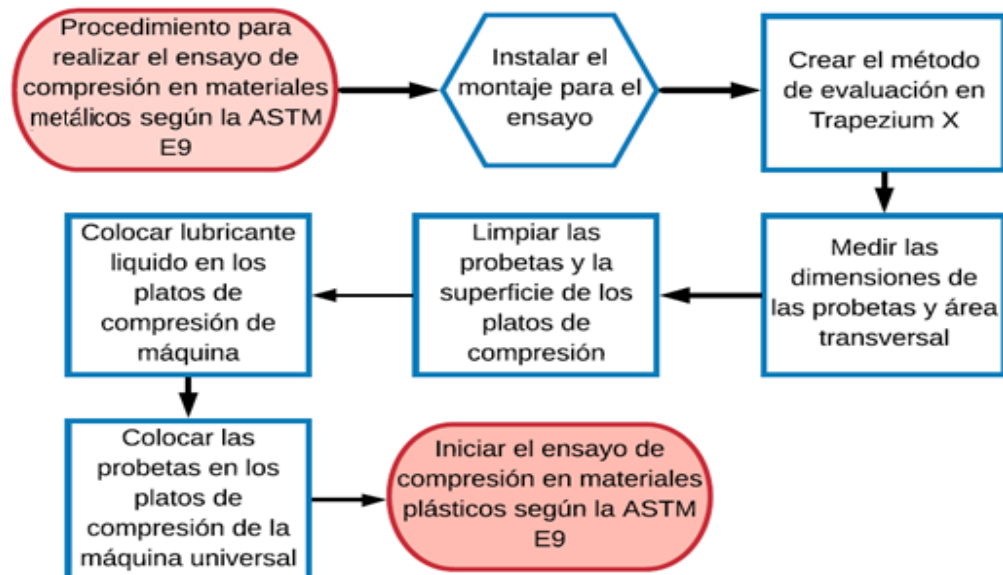
7. Fecha de ejecución del ensayo.

Viernes 12 de abril del 2019, entre la 1:00 p.m. y 5 p.m.

4.3 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Este ensayo se realiza según la norma ASTM E9⁷², en la cual se puede encontrar el procedimiento específico para llevar a cabo el ensayo, ver Diagrama 6, este ensayo se desarrolló en aleaciones férricas debido a que su resistencia a la compresión es menor que los aceros.

Diagrama 6. Procedimiento general para desarrollar el ensayo de compresión en metales



Fuente: elaboración propia

⁷² AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods Of Compression Testing Of Metallic Materials At Room Temperature. E9. 89a ed. United States.: Astm International, 2000. 9 p.

4.3.1 Consideraciones generales para el ensayo.

- **Dimensionamiento de la probeta.** Es necesario realizar la medición del diámetro y del largo de la probeta, se debe utilizar la longitud mínima como el área transversal de la probeta, para calcular el área transversal ver Ecuación 14.
- **Lubricación.** Es necesario limpiar las probetas y la superficie de los platos de compresión con el fin de eliminar cualquier elemento perjudicial para el ensayo, se utilizó aceite nafténico pesado, Luego se coloca una gota de aceite lubricante en los platos de la máquina universal, esto se hace para disminuir la fricción entre las superficies de la probeta y de la máquina.
- **Instalación de las probetas.** Después se colocan las probetas entre los platos de compresión, se ajustan los límites de carrera y por último se verifica la velocidad del ensayo y se puede iniciar el ensayo de compresión.
- **Finalización del ensayo.** Al terminar el ensayo es necesario almacenar los datos y Gráficas de valor, para el estudio del comportamiento de los materiales metálicos a compresión.

Ecuación 15. Área transversal de un cilindro en metales

$$A = \frac{\pi}{4} * D^2$$

Fuente: ASTM, International. E9, 2015, Vol. P.5

- D= Diámetro [mm]
- π = Constante pi
- A= Área transversal [mm²]

$$A = \frac{\pi}{4} * (10 \text{ mm})^2$$

$$A = .78,54 \text{ mm}^2$$

4.3.2 Reporte final del ensayo de compresión de aluminio La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM E9⁷³. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 10 de la presente norma.

1. Informe final ensayo de compresión de aluminio
2. Descripción del material. Ver Cuadro 21.

⁷³ Ibid., P.7.

Cuadro 21. Información general del ensayo de aluminio

Características	Significado
Referencia del ensayo	E9- 13
Material	Aluminio
Fabricante	Aragon aluminios S.A.S
Tipo de muestra	Redonda
Forma de muestra	Cilíndrica

Fuente: elaboración propia

3. Dimensiones iniciales y finales. Ver Tabla 60.

Tabla 60. Comparación dimensiones iniciales y finales

Dimensiones	Parámetros	Valor	unidades
Dimensiones Iniciales de la probeta	diámetro	10	mm
	longitud	20	mm
Dimensiones Finales probeta N°1	diámetro	13,23	mm
	longitud	10,41	mm
Dimensiones Finales probeta N°2	diámetro	12,4	mm
	longitud	11,8	mm
Dimensiones Finales probeta N°3	diámetro	12,5	mm
	longitud	11,9	mm

Fuente: elaboración propia

4. Características específicas del ensayo. Ver Cuadro 22.

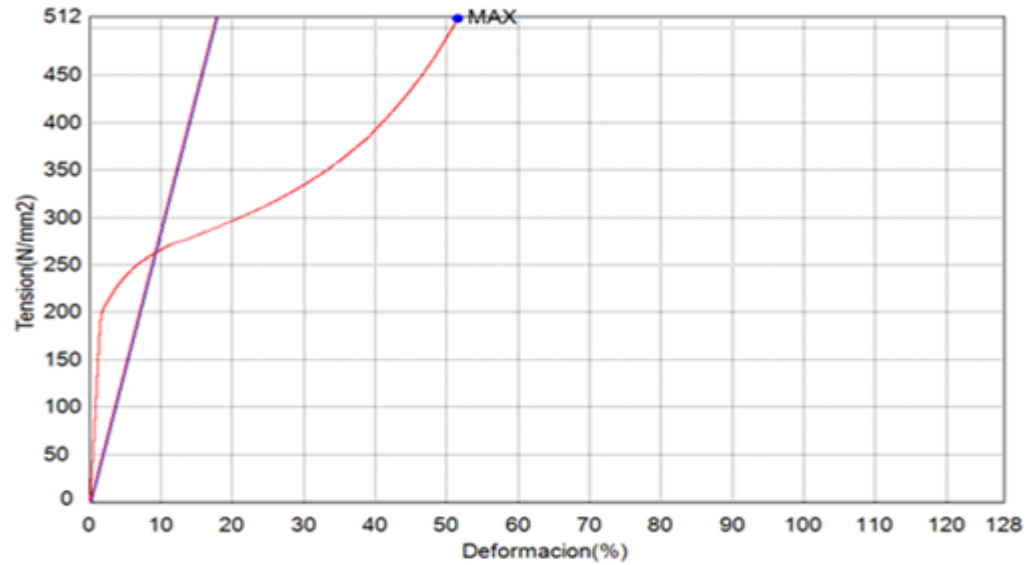
Cuadro 22. Características específicas de ensayo de compresión en aluminio.

<Características	Significado
Máquina de pruebas	Shimadzu AGS-X
Capacidad máquina	500 kN
Lubricante	Aceite nafténico pesado
Velocidad del ensayo	0,254 mm/min

Fuente: elaboración propia

5. Gráficas esfuerzo vs deformación. Ver Gráfica 11. Durante el desarrollo de los ensayos de compresión en materiales metálicos, se pudo observar un comportamiento elástico en la parte inicial de las gráficas, ya después el material se comportó plásticamente y no se observó falla en el material hasta la culminación del ensayo, llegando a un rango entre los 520 y 500 MPa de esfuerzo máximo.

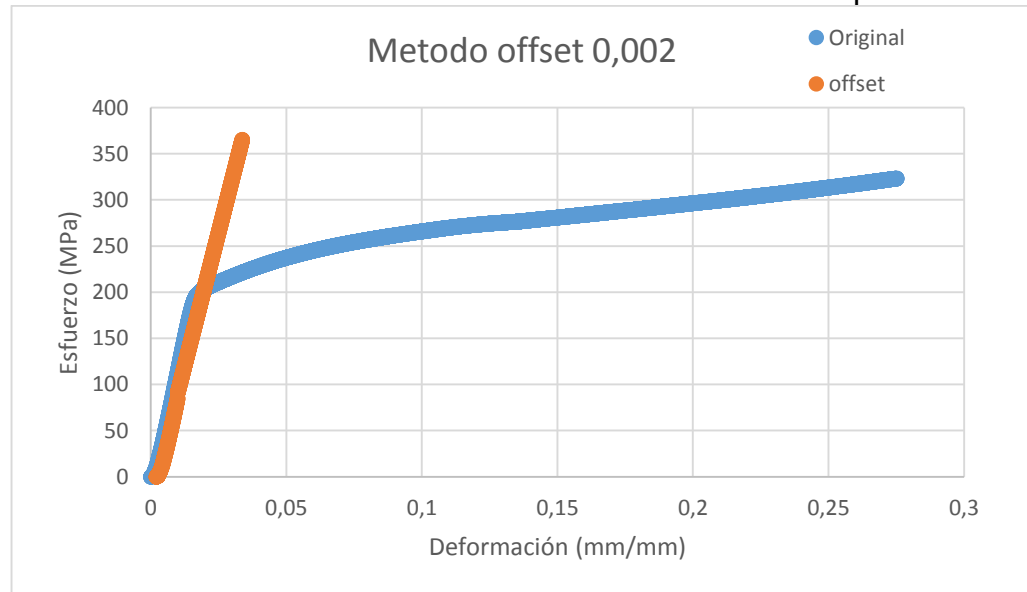
Gráfica 11. Curva esfuerzo vs deformación probeta N°2.



Fuente: elaboración propia

6. Módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia. Para hallar el módulo de elasticidad y el esfuerzo de fluencia con mayor precisión, se utilizó el procedimiento anexo “toe compensation”, ver Gráfica 12, descrito en la norma ASTM E9⁷⁴. Los resultados se pueden observar en la Tabla 61.

Gráfica 12. Curva esfuerzo Vs deformación Offset aluminio probeta N°3



Fuente: elaboración propia

⁷⁴ Ibid., P,8.

Tabla 61. Valores módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia para el aluminio

Muestra Nº	Módulo de elasticidad		Esfuerzo de fluencia	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	12,56	GPa	192,21	MPa
2	13,61	GPa	193,82	MPa
3	11,52	GPa	221,52	MPa
Valor medio	12,56	GPa	202,52	MPa
Desviación estándar	1,05	GPa	16,48	MPa

Fuente: elaboración propia

4.3.3 Reporte final del ensayo de compresión bronce fosforado. La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM E9⁷⁵. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 10 de la presente norma.

1. Informe final ensayo de compresión de aluminio
2. Descripción del material. Ver Cuadro 23.

Cuadro 23. Información general del ensayo bronce fosforado

Características	Significado
Referencia del ensayo	E9- 13
Material	Bronce fosforado
Fabricante	Promecol S.A
Tipo de muestra	Redonda
Forma de muestra	Cilíndrica

Fuente: elaboración propia

3. Dimensiones iniciales y finales de las probetas. Ver Tabla 62.

Tabla 62. Comparación dimensiones iniciales y finales.

Dimensiones	Parámetros	Valor	unidades
Dimensiones Iniciales de la probeta	diámetro	6	mm
	longitud	12	mm
Dimensiones Finales probeta N°1	diámetro	6,3	mm
	longitud	9,2	mm
Dimensiones Finales probeta N°2	diámetro	6,4	mm
	longitud	9,3	mm
Dimensiones Finales probeta N°3	diámetro	6,1	mm
	longitud	9,2	mm

Fuente: elaboración propia

⁷⁵ Ibid., P.7.

4. Características específicas del ensayo. Ver Cuadro 24.

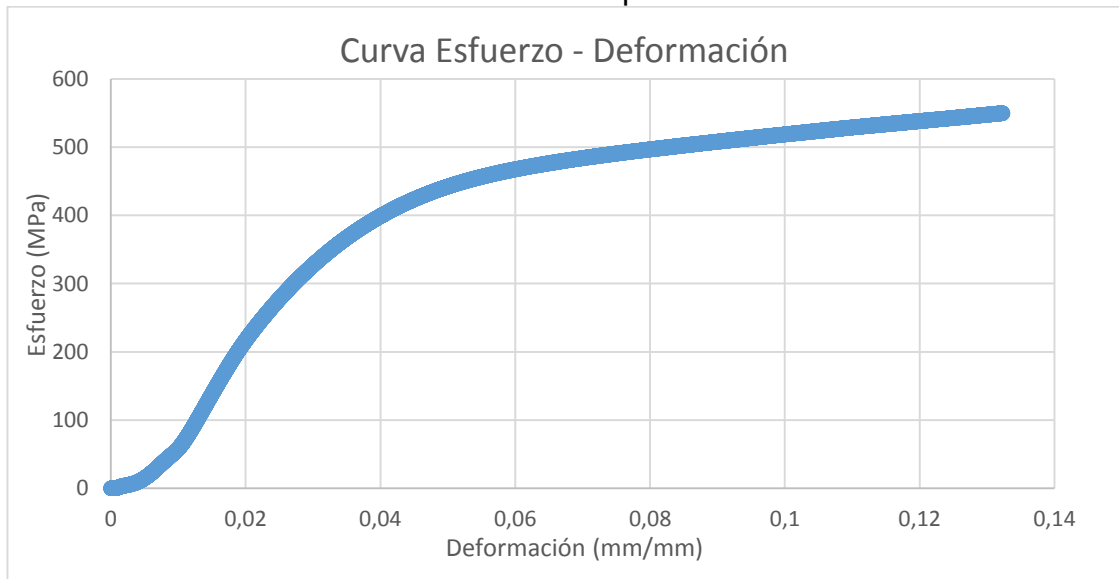
Cuadro 24. Características específicas de ensayo de compresión en bronce.

Características	Significado
Máquina de pruebas	Shimadzu AGS-X
Capacidad máquina	500 kN
Lubricante	Aceite nafténico pesado
Velocidad del ensayo	0,254 mm/min

Fuente: elaboración propia

5. Gráficas esfuerzo vs deformación. Durante el desarrollo de los ensayos a compresión con el material bronce, se obtuvo la gráfica de esfuerzo vs deformación, las cuales permiten observar el comportamiento del material durante el ensayo, identificando como característica principal el comportamiento hookeano de esta aleación no férrea. Ver Gráfica 13, curva correspondiente a los 3 ensayos realizados con este material.

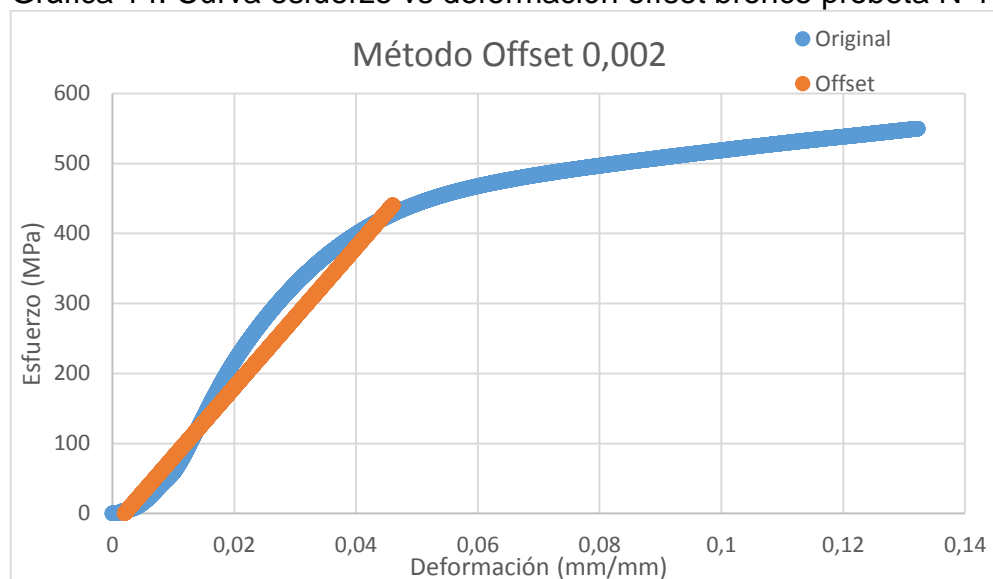
Gráfica 13. Curva esfuerzo vs deformación probeta N°1.



Fuente: elaboración propia

6. Módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia. Para calcular el módulo de elasticidad se utilizó el procedimiento anexo a la norma ASTM E9 “toe compensation”, con el fin de tener mayor precisión al calcular el módulo de estos materiales ya que al no poseer un compresómetro, se generan datos erróneos al comienzo del ensayo. Ver Gráfica 14. Los resultados después de aplicar este procedimiento, se pueden observar en la Tabla 63.

Gráfica 14. Curva esfuerzo vs deformación offset bronce probeta N°1



Fuente: elaboración propia

Tabla 63. Valores módulo de elasticidad y esfuerzo de fluencia para el bronce

Muestra Nº	Módulo de elasticidad		Esfuerzo de fluencia	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	16,77	GPa	443,72	MPa
2	18,27	GPa	424,90	MPa
3	18,33	GPa	437,90	MPa
Valor medio	17,79	GPa	435,51	MPa
Desviación estándar	0,88	GPa	9,64	MPa

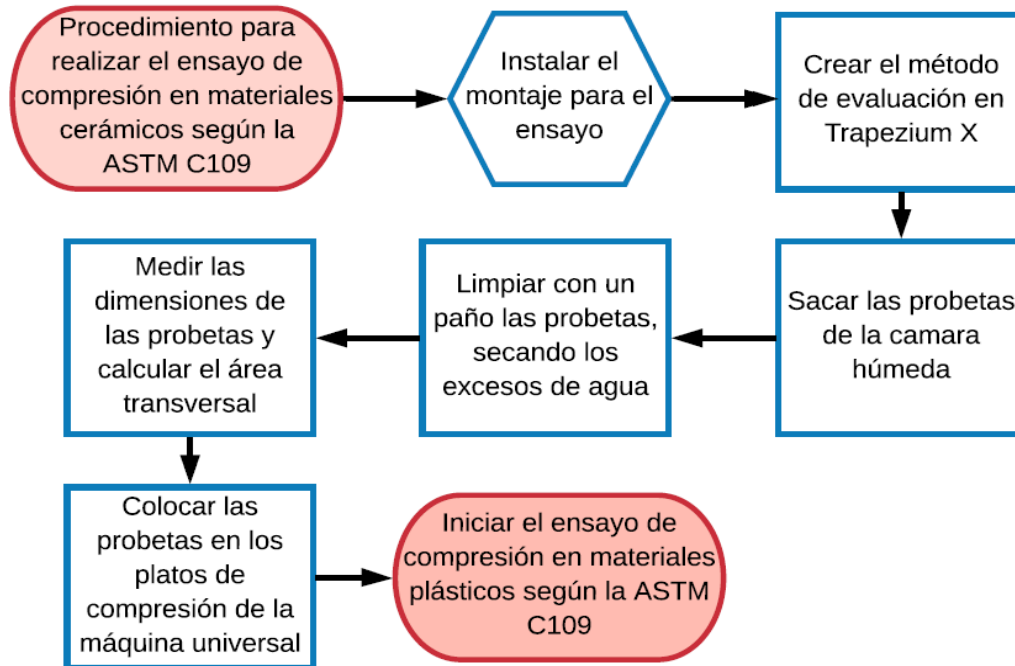
Fuente: elaboración propia

4.4 ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS

Este ensayo se realiza según la norma ASTM C109⁷⁶, en la cual se puede encontrar el procedimiento específico para llevar a cabo el ensayo, ver Diagrama 7, este ensayo se desarrolló en cemento hidráulico tipo portland, debido a su facilidad para la obtención y manipulación. Para este ensayo se tomaron 2 tipos de cemento; cemento tipo I, llamado uso general y el cemento tipo III, llamado ART.

⁷⁶ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). C109. 16a ed. United States.: Astm International, 2019. 10 p.

Diagrama 7. Procedimiento para el inicio del ensayo de compresión en mezclas de cemento portland.



Fuente: elaboración propia

4.4.1 Consideraciones generales para el ensayo. Entre los aspectos más importantes es necesario mencionar que los especímenes deben haber estado en una cámara húmeda con un 95% de humedad relativa, una vez sacadas estas se deben secar, de esta manera retirando el exceso de agua.

Para realizar este ensayo se necesitó colocar un acople cuadrado para utilizar la máquina universal, este acople se colocó intermedio entre el plato de compresión y la probeta, ya que el plato de compresión es de forma circular y la probeta cuadrada, con el fin de distribuir uniformemente la carga de compresión hacia la probeta. Ya aclarado los aspectos más relevantes del ensayo, se puede dar inicio al ensayo.

4.4.2 Resultados del ensayo de compresión en pasta de cemento (ART). La norma ASTM C109⁷⁷, enuncia en su numeral 12, el reporte de los resultados para este ensayo, de esta manera se halló el esfuerzo de compresión máximo, la Ecuación 16 describe el esfuerzo de compresión máximo y la Ecuación 17 el área transversal de la probeta cubica.

⁷⁷ Ibid., p.7.

Ecuación 16. Esfuerzo de compresión máximo.

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Fuente: ASTM, International. C109, 2015, Vol. P.5

- f_m = Esfuerzo de compresión máximo [MPa]
- P = Carga máxima [N]
- A = Área total de la superficie [mm^2]

Ecuación 17. Área transversal de un cubo

$$A = a * l$$

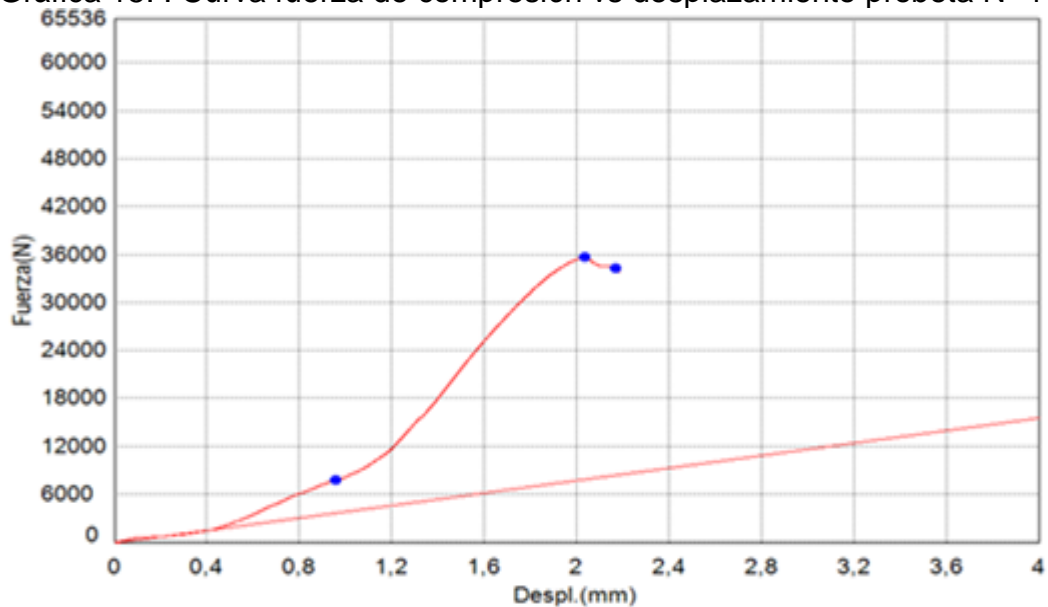
Fuente: ASTM, International. C109, 2015, Vol. P.5

- A = Área [mm^2]
- a = Ancho [mm]
- l = Largo [mm]

$$A = a * l = 50 \text{ mm} * 50 \text{ mm} = 2500 \text{ mm}^2$$

Se obtuvieron las gráficas compresión vs desplazamiento, ver Gráfica 15. De esta manera hallando la carga máxima de las gráficas y con el área anteriormente calculada se puede hallar el esfuerzo máximo de compresión en las probetas para cemento tipo I, con 1 día de envejecimiento. Ver Tabla 64.

Gráfica 15. . Curva fuerza de compresión vs desplazamiento probeta N° 1



Fuente: elaboración propia

Tabla 64. Esfuerzo de compresión máximo para cemento tipo (ART)

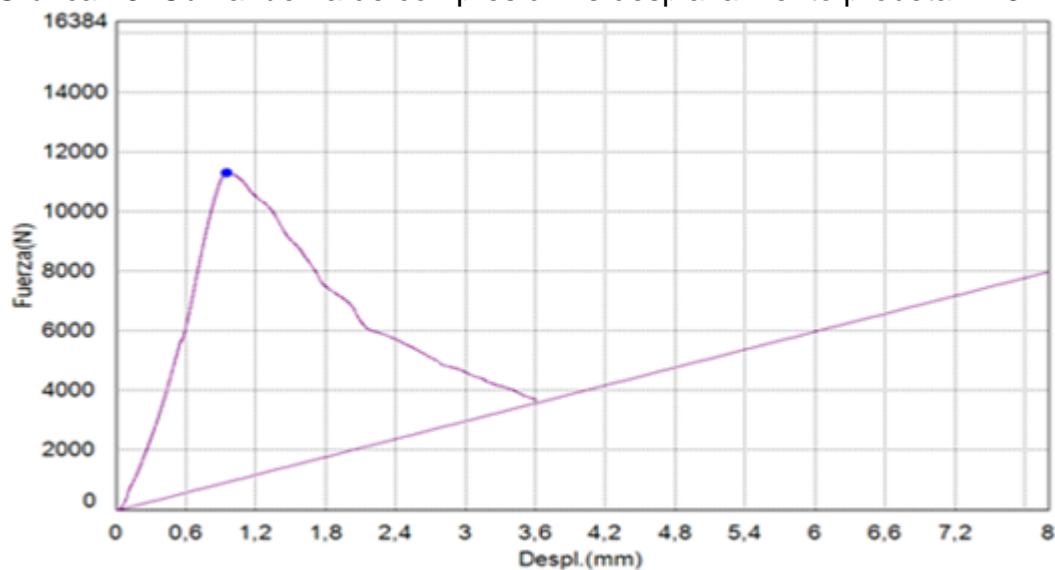
Muestra N°	Área transversal (A _o)		Carga de ruptura (P)		Esfuerzo de compresión (f _m)	
	Valor	Unidades	Valor	Unidades	Valor	Unidades
1	2.500,00	mm ²	35.647,50	N	14,26	MPa
2	2.500,00	mm ²	31.725,80	N	12,69	MPa
3	2.500,00	mm ²	28.845,50	N	11,54	MPa
Valor medio					12,83	MPa
Desviación estándar					0,49	MPa

Fuente: elaboración propia

4.4.3 Resultados del ensayo de compresión en pasta de cemento (UG). La norma ASTM C109⁷⁸, enuncia en su numeral 12, el reporte de los resultados para este ensayo, de esta manera se halló el esfuerzo de compresión máximo de la misma manera que el numeral 4.4.2.

Se obtuvieron las gráficas compresión vs desplazamiento, ver Gráfica 16. De esta manera hallando la carga máxima de las gráficas y el área anteriormente calculada se puede hallar el esfuerzo máximo de compresión en las probetas de compresión para cemento tipo I. Ver Tabla 65.

Gráfica 16. Curva fuerza de compresión vs desplazamiento probeta N° 3.



Fuente: elaboración propia

⁷⁸ Ibid., p.7.

Tabla 65. Esfuerzo de compresión máximo para cemento UG

Muestra	área transversal (A _o)		Carga de ruptura(W)		Esfuerzo de compresión (f _m)		
	N°	Valor	Unidades	Valor	Unidades	Valor	Unidades
1		2.500	mm ²	9.927,31	N	3,97	MPa
2		2.500	mm ²	10.678,40	N	4,27	MPa
3		2.500	mm ²	11.305,20	N	4,52	MPa
Valor medio						4,25	MPa
Desviación estándar						0,97	MPa

Fuente: elaboración propia

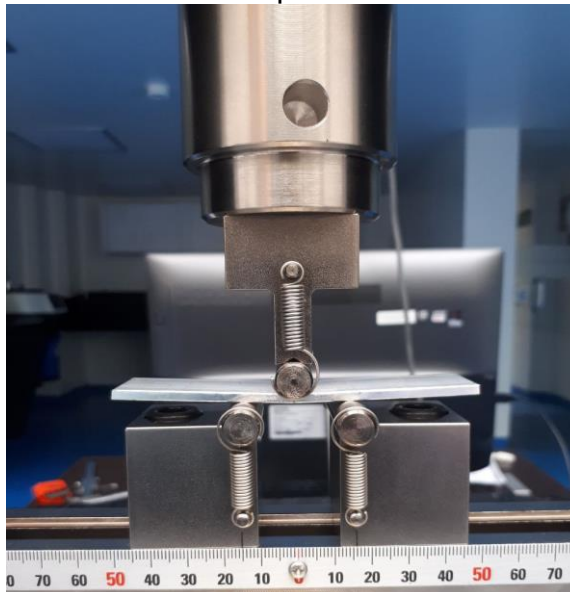
5. REALIZAR EL ENSAYO DE FLEXIÓN EN LA MAQUINA UNIVERSAL SEGÚN LAS NORMAS ASTM

En este proyecto se desarrolló el ensayo de flexión de 3 puntos, el cual permite conocer propiedades mecánicas como lo son: resistencia a la flexión, módulo de elasticidad a flexión deformación y ductilidad de distintos materiales como lo son metales, plásticos y cerámicos, de esta manera se conocerá la capacidad de los materiales para resistir cargas a flexión y su comportamiento.

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

La máquina universal de ensayos cuenta con unos accesorios especiales para realizar este tipo de ensayos en donde el primer paso a realizar para ejecutar el ensayo es organizar e instalar el montaje de los accesorios para el desarrollo del ensayo. Ver Imagen 35. La guía para la correcta instalación se encuentra en el manual del equipo.

Imagen 35. Montaje para ensayo de flexión de 3 puntos.



Fuente: Elaboración propia

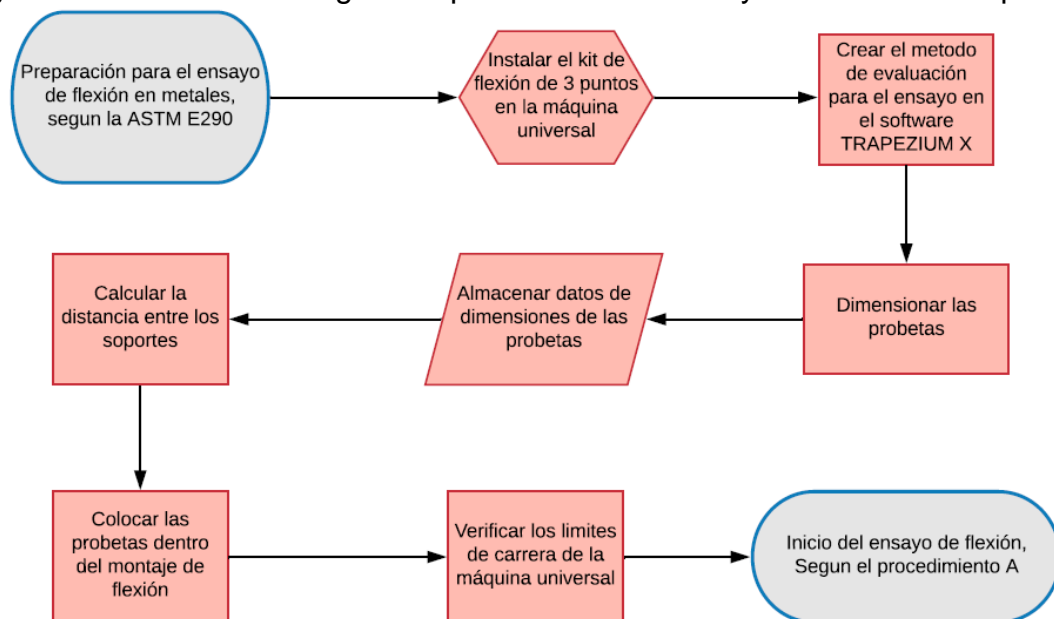
Para la ejecución de los ensayos a compresión en materiales metálicos, plásticos y cerámicos, es necesario seguir una guía paso a paso, para evitar inconvenientes a la hora de utilizar el equipo y el software, de esta manera se debe vez crear el método de evaluación para el ensayo de tensión en el software TRAPEZIUM X, el cual se puede realizar con la guía paso a paso de la sección 1.7 del presente trabajo. A su vez revisar el Anexo M, el cual establece los esfuerzos máximos que se pueden aplicar para los siguientes ensayos.

5.2 ENSAYO DE FLEXIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Este ensayo se realiza de acuerdo a la norma ASTM E290⁷⁹, la cual establece que el ensayo se realiza para determinar la ductilidad de un material metálico, establecer la calidad del mismo y así evaluar si el material es susceptible a la formación de grietas o irregularidades en la superficie de trabajo.

Para dar inicio al ensayo se debe seguir el procedimiento específico en la norma ASTM E290⁸⁰, ver, Diagrama 8. El ensayo que se va a realizar va a ser de 3 puntos guiado. Este ensayo se realizó con tres probetas para cada caso de estudio. La velocidad que se utilizara durante el ensayo será de 2 y 1 mm/min para cada tipo de probeta.

Diagrama 8. Procedimiento general para realizar el ensayo de flexión de 3 puntos.



Fuente: elaboración propia.

Para el desarrollo de este ensayo se debe especificar el tipo de ensayo de flexión, este ensayo se realizara en función de los accesorios con los que cuenta la máquina universal, se escogió el ensayo guiado (procedimiento A), de esta manera se calculó la distancia entre los soportes, ver Ecuación 17. Una vez calculada la distancia entre

⁷⁹ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Properties Of Rigid Plastics. ASTM D695-15. West Conshohocken.: Astm International, 2015. 8p.

⁸⁰ Ibid., p4

los soportes se llevó a cabo el dimensionamiento de las probetas, y posteriormente se colocaron las probetas dentro del montaje de flexión, según el resultado de la Ecuación 17.

Ecuación 18. Relación entre centros para ensayo de flexión en metales.

$$C = 2r + 3t \pm 1 \text{ mm}$$

Fuente: ASTM, International. E290, 2014, Vol. 14. P.8

- C= Distancia entre soportes [mm]
- r= Radio del cilindro macho [mm]
- t= Espesor de la probeta [mm]

$$C = 2(5) + 3(3) \pm 1 = (19 \pm 1) \text{ mm.}$$

Ya posicionada la probeta es necesario verificar nuevamente la velocidad del ensayo y los límites de carrera para proteger la integridad de la máquina. Así ya se puede dar inicio al ensayo de flexión.

5.2.1 Resultados del ensayo de flexión de 3 puntos con duraluminio 7066. La norma ASTM E29081, enuncia en su numeral 10, el reporte de los resultados para este ensayo, conforme a este tipo de informe se llevara a cabo uno similar.

1. Identificación del ensayo. Ver Cuadro 25.

Cuadro 25. Información general del ensayo aluminio 7066.

Características	Significado
Referencia del ensayo	E290
Material	Aluminio 2024
Fabricante	Axxecol S.A
Tipo de muestra	Rectangular

Fuente: elaboración propia

2. Información específica del ensayo. Ver Cuadro 26.

Cuadro 26. Información general del ensayo aluminio 7066.

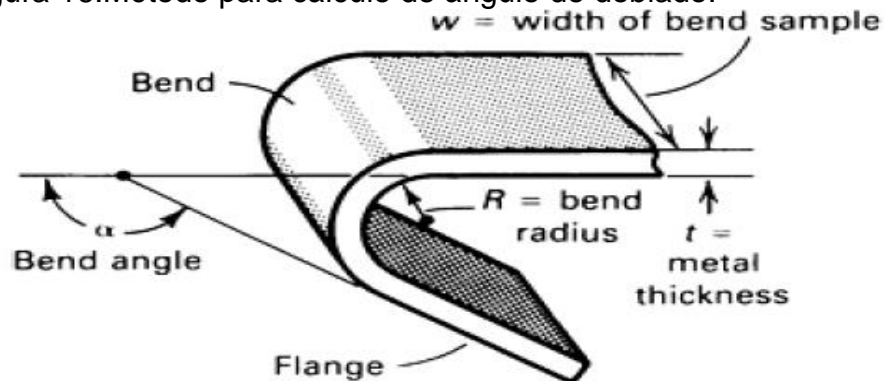
Características	Significado
Tipo de ensayo	Guiado
Lubricante	Aceite nafténico pesado
Velocidad de ensayo	2 mm/min
Radio usado para flexionar	5 mm

Fuente: elaboración propia.

⁸¹ Ibid., p.7.

- El ángulo de doblado. Es el mínimo ángulo, en el que un material puede ser doblado antes de que se formen grietas, estas se pueden observar en la superficie exterior de la probeta. El ángulo de doblado se puede denominar mediante el símbolo α , y la forma para calcularlo se puede ilustrar en la Figura 16.

Figura 16. Método para cálculo de ángulo de doblado.



Fuente: SHAPIRO, Eugene. .Bend Testing. 8 ed. [s.l.]. :Olin Corporation, 2000.

Para calcular el ángulo de doblado de este material se utilizaron dos instrumentos; transportador y el goniómetro, cuyos resultados fueron similares y se pueden encontrar en la Tabla 66.

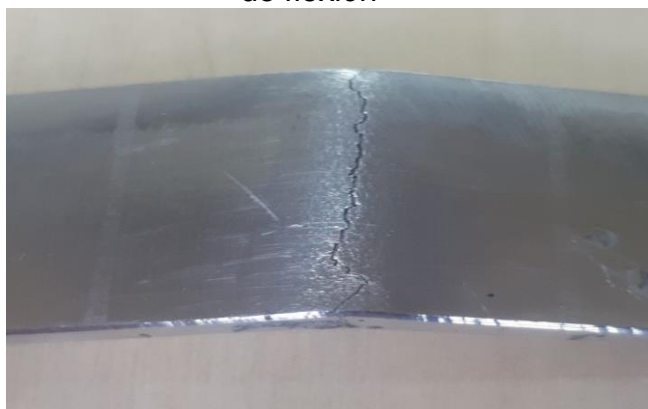
Tabla 66. Resultados ángulo de doblado duraluminio 7066

Muestra	Ángulo de doblado (°)
1	23
2	23
3	38
Valor medio	28
Desviación estándar	7

Fuente: elaboración propia.

- Tamaño y número de grietas visibles. Es posible observar las grietas generadas por el ensayo de tensión en la superficie externa de la probeta, ver Imagen 36, donde se puede observar un comportamiento común en las probetas, al generarse una grieta de 0,2 mm de ancho, y de longitud transversal en toda la superficie de la probeta evidenciando una fractura frágil del material.

Imagen 36. Superficie después del ensayo de flexión



Fuente: elaboración propia

5.2.2 Resultados del ensayo de flexión de 3 puntos aluminio normalizado. La norma ASTM E290⁸², enuncia en su numeral 10, el reporte de los resultados para este ensayo, conforme a este tipo de informe se llevara a cabo uno similar.

1. Identificación del ensayo. Ver Cuadro 27.

Cuadro 27. Información general del ensayo aluminio 2024

Características	Significado
Referencia del ensayo	E290
Material	Duraluminio 7066
Fabricante	Axxecol S.A
Tipo de muestra	Rectangular

Fuente: elaboración propia

2. Información específica del ensayo. Ver Cuadro 28.

Cuadro 28. . Información específica del ensayo aluminio 2024

Características	Significado
Tipo de ensayo	Guiado
Lubricante	Aceite nafténico pesado
Velocidad de ensayo	1 mm/min
Radio usado para flexionar	5 mm

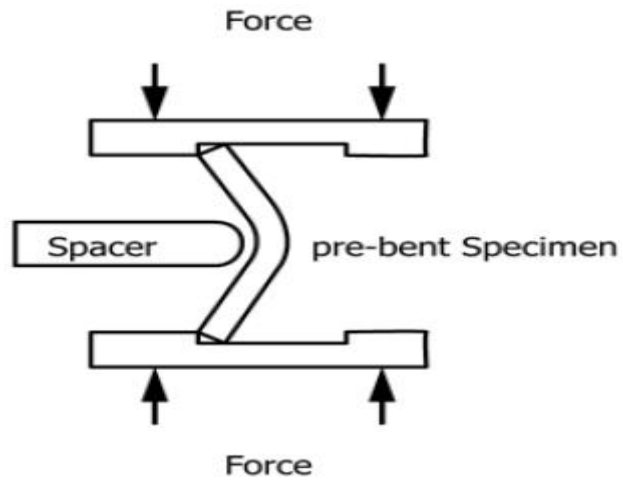
Fuente: elaboración propia.

3. El ángulo de doblado. Para el ensayo de flexión en este tipo de aluminio, fue usado el ensayo guiado, sin embargo al no encontrar grietas en la superficie de la pieza al terminar el ensayo, se llevó a cabo un procedimiento extra para verificar la aparición de grietas, el cual es doblar la probeta con la ayuda de una

⁸² Ibid., p.7.

prensa y un espaciador, ver Figura 17 e Imagen 37, hasta la aparición de grietas en la superficie de la probeta. Al terminar con el procedimiento extra fue posible identificar grietas en las superficies, los resultados se puede ver en la Tabla 67.

Figura 17. Finalización ensayo guiado según ASTM E290



Fuente: ASTM. E290. 13 ed. West Conshohocken.5 p.

Imagen 37. Continuación del ensayo guiado



Fuente: elaboración propia

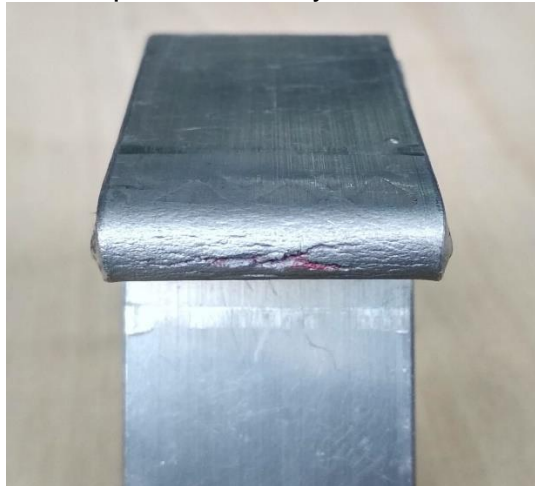
Tabla 67. Resultados ángulo de doblado duraluminio 2024.

Muestra	Ángulo de doblado (°)
1	110
2	176
3	176,3
Valor medio	154,1
Desviación estándar	31,17

Fuente: Elaboración propia.

4. Tamaño y número de grietas visibles. Es posible observar las grietas generadas por el ensayo de flexión en la superficie externa de la probeta, ver Imagen 38, donde se puede observar un comportamiento diferente en cada muestra debido al ángulo de doblado, de esta manera se puede verificar un comportamiento dúctil del material, generando desgarre de material con grietas de tamaño de 0,5 a mm 1 mm de ancho y de largo de 3 a 4 mm con distribución no uniforme.

Imagen 38. Superficie de probeta N° 1 después del ensayo de flexión



Fuente: elaboración propia.

5.3 ENSAYO DE FLEXIÓN EN MATERIALES PLÁSTICOS

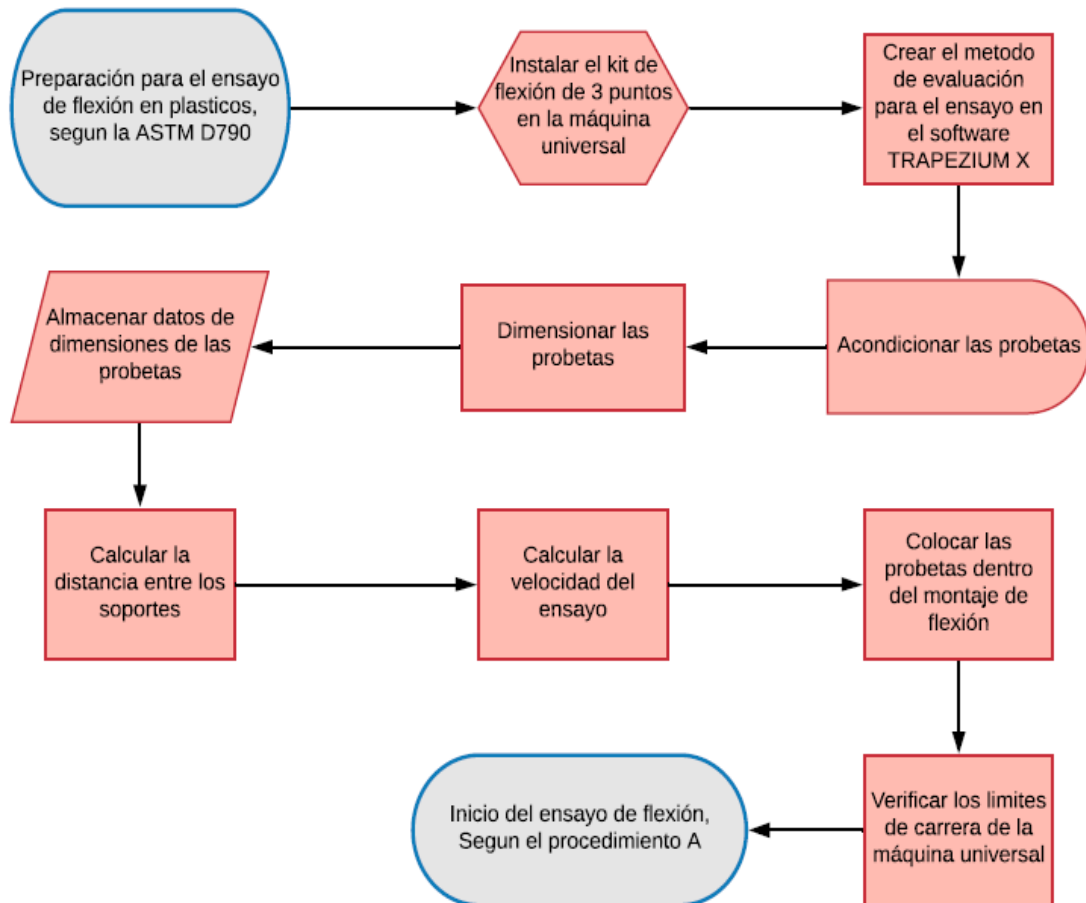
Para dar inicio al ensayo, se debe realizar la preparación general para el ensayo de flexión descrita en el numeral 5.1 del presente trabajo y a su vez seguir el procedimiento específico en la norma ASTM D790⁸³, ver Diagrama 9, en donde los

⁸³ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics

especímenes de prueba se deben someter a un acondicionamiento previo y posterior proceso para la ejecución del ensayo. Para estos ensayos se escogieron materiales como; polipropileno 11H y Acrílico.

Este ensayo se debe realizar al menos con cinco probetas para cada caso de estudio, donde se debe buscar un comportamiento en común. Se debe usar una velocidad de prueba establecida en la norma ASTM D790⁸⁴, la máxima permitida es de 2 mm/min.

Diagrama 9. Preparación del ensayo de flexión en materiales plásticos



Fuente: elaboración propia

5.3.1 Consideraciones generales del ensayo. Se debe tener en cuenta al realizar el ensayo el acondicionamiento, dimensionamiento e instalación de la probeta:

and Electrical Insulating Materials1. D790 – 14. West Conshohocken.: Astm International, 2017. 12 p.

⁸⁴ Ibid., p5

- Acondicionamiento. Para el acondicionamiento de las probetas se debe tener en cuenta la norma ASTM D618⁸⁵, las probetas deben estar 2 días antes en el cuarto del ensayo para que adquieran la temperatura y la humedad relativa del ambiente en donde se va a realizar el ensayo. Se debe realizar un acondicionamiento de la temperatura de la sala para la ejecución de los ensayos, determinado por la norma ASTM D618⁸⁶, esto se realiza con el fin de llevar el material a condiciones normales o promedio para así obtener resultados así para temperaturas de ejecución de la muestra entre -70°C y 180° C, existe una tolerancia de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ y a su vez el porcentaje de incremento o disminución de la humedad relativa no puede sobrepasar más del 10%.
- Dimensionamiento de las probetas. El espécimen de prueba se debe someter a un dimensionamiento, con ayuda de un micrómetro se debe medir tanto el ancho y el espesor, donde debe ir apoyada la probeta a distancias cercanas de 0,05 mm.
- Calculo de la distancia entre soportes y velocidad de ensayo. Según la norma ASTM E790⁸⁷, en el numeral 9, la distancia entre soportes está dada por una relación de distancia entre soportes y espesor de 16 ± 1 , de esta manera, ver Ecuación 18. La velocidad del ensayo se puede calcular mediante la Ecuación 19.

Ecuación 19. Distancia entre soportes

$$C = (16 * e) \pm 1 \text{ mm}$$

Fuente: ASTM. D790. 2017. Vol. West Conshohocken. 8 p.

- C= Distancia entre soporte [mm]
- e= Espesor de la probeta [mm]

$$C = (16 * 3 \text{ mm}) \pm 1 \text{ mm}$$

$$C = (48 \pm 1) \text{ mm.}$$

Ecuación 20. Velocidad del ensayo

$$R = \frac{Z * L^2}{6 * d}$$

Fuente: ASTM. D790. 2017. Vol.17 West Conshohocken.5 p.

- R= Velocidad del ensayo. [mm/min]
- Z= Constante de deformación = 0,01 [mm/mm/min]
- d= espesor de la probeta de la probeta [mm]

⁸⁵ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice For Conditioning Plastics For Testing. D618-13. West Conshohocken.: ASTM International, 2013. 4 p.

⁸⁶ Ibid., p2

⁸⁷ Ibid., P.5.

- -L= Distancia entre soportes [mm]

$$R = \frac{0,01 \text{ mm/mm/min} * 48 \text{ mm}^2}{6 * 3 \text{ mm}} = 1,28 \text{ mm/min}$$

- Instalación de las probetas en la máquina universal. Ajustar y alinear la probeta en el kit de flexión para realizar el ensayo. Una vez sujeta la probeta se debe proceder a verificar los límites de carrera de la máquina universal y la velocidad de la prueba. Así una vez instalada la probeta se puede dar inicio a la prueba.

5.3.2 reporte final Polipropileno 11H (PP). La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM D790⁸⁸. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 12 de la presente norma.

1. Identificación del material. ver Cuadro 29.

Cuadro 29. Identificación del material, ensayo de flexión de 3 puntos PP-11H

Características	Significado
Nombre	Polipropileno 11H
Sigla	(PP)
Fabricante	ESSENTIA S.A
Código	11H01A
Forma original	Pellets
Estado Comercial	Activo
Tipo	Homopolímero

Fuente: elaboración propia

2. Características propias del ensayo. Ver Tabla 68.

Tabla 68. Información específica del ensayo.

Características	Significado
Procedimiento de ensayo	A
Tipo de medición de datos	I
Control de datos	Posición de cabezal
Velocidad de ensayo	1,28 mm/min
Dirección de corte de las muestras	Longitudinal
Espesor de la muestra	3 mm
Ancho de la muestra	12 mm
Identificación final del ensayo	D790-AI
Longitud entre soportes	48 ± 1 mm
Radio de soportes y de nariz de carga	5 mm

Fuente: elaboración propia

⁸⁸ AMERICAN. Op cit., p. 8.

3. Deformación en flexión. Es el cambio nominal en la longitud de un elemento en su superficie exterior, donde la máxima deformación ocurre en la fibra media del elemento. Esta deformación puede ser calculada mediante la Ecuación 20. Los resultados se pueden evidenciar en la Tabla 69.

Ecuación 21. Deformación máxima

$$E_f = \frac{6 * D * d}{L^2}$$

Fuente: ASTM. D790. 2017. Vol.17 West Conshohocken.6 p.

- E_f = Deformación máxima [mm/mm]
- D= Máxima deflexión en el centro de la muestra [mm]
- d= Espesor de la probeta [mm]
- L= Longitud entre soportes [mm]

Tabla 69. Resultados deformación máxima

Muestra Nº	Máxima deflexión		Espesor		Longitud entre soportes		Deformación final	
	valor	unidad	valor	unidad	valor	unidad	valor	unidad
1	8,15	mm	3	mm	48	mm	0,064	mm/mm
2	6,37	mm	3	mm	48	mm	0,050	mm/mm
3	6,53	mm	3	mm	48	mm	0,051	mm/mm
4	6,67	mm	3	mm	48	mm	0,052	mm/mm
5	6,63	mm	3	mm	48	mm	0,052	mm/mm
Valor medio							0,054	mm/mm
Desviación estándar							0,01	mm/mm

Fuente: elaboración propia

4. Modulo tangente. Para calcular este módulo, se utilizó la Ecuación 21 para calcularlo. Ver resultados en Tabla 70.

Ecuación 22. Modulo tangente de elasticidad

$$E_b = \frac{L^3 * m}{4 * b * d^3}$$

Fuente: ASTM. E290. 13 ed. West Conshohocken.5 p.

- E_b = Modulo Tangente [MPa]
- d= Espesor de la probeta [mm]
- L= Longitud entre soportes [mm]
- b= Ancho de la probeta [mm]
- m= Pendiente en la gráfica fuerza vs desplazamiento [N/mm]

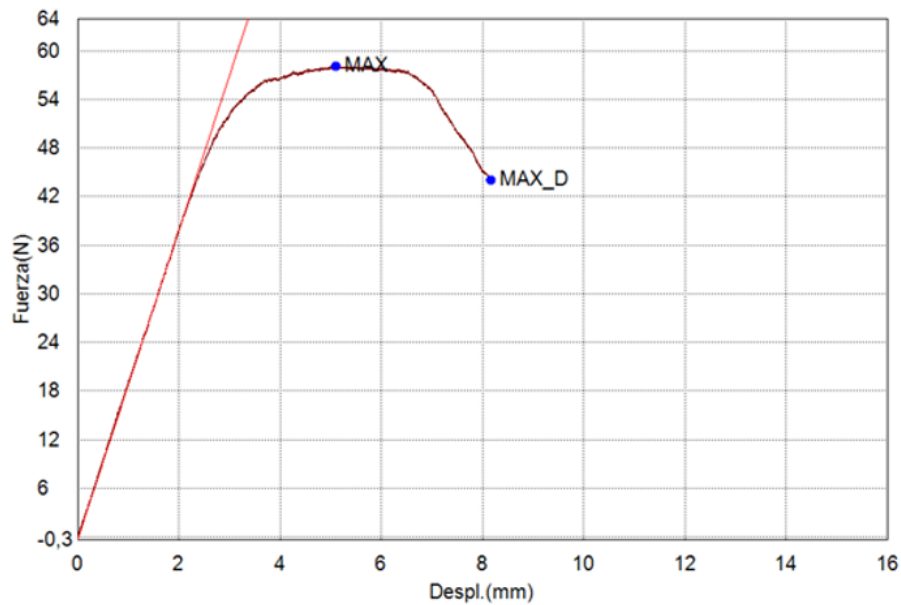
Tabla 70. Resultados modulo tangente Polipropileno 11H

Muestra	Pendiente elástica		Espesor		Ancho		Longitud entre soportes		Deformación final	
	Nº	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	valor
1	25,8	N/mm	3	mm	12	mm	48	mm	2202,94	MPa
2	19,1	N/mm	3	mm	11,9	mm	48	mm	1642,72	MPa
3	25,9	N/mm	3	mm	12,1	mm	48	mm	2193,22	MPa
4	26,1	N/mm	3	mm	12	mm	48	mm	2225,41	MPa
5	26	N/mm	3	mm	12	mm	48	mm	2217,81	MPa
Valor medio									2096,42	MPa
Desviación estándar									253,94	MPa

Fuente: elaboración propia

- Fuerza de flexión máxima. Se tomó el valor máximo de fuerza en el ensayo y el valor de fuerza de rotura, este valor fue calculado gráficamente, ver Gráfica 17. Los resultados para los ensayos se pueden encontrar en la Tabla 71.

Gráfica 17. Curva fuerza-desplazamiento probeta N°1 PP-11H



Fuente: elaboración propia

Tabla 71. Resultados Fuerza de flexión máxima.

Muestra Nº	Fuerza máxima		Fuerza de rotura	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	55,36	N	12,23	N
2	58,13	N	44	N
3	56,11	N	52,64	N
4	55,47	N	52,25	N
5	55,79	N	52,44	N
Valor medio	56,17	N	42,71	N
Desviación estándar	0,16	N	15,56	N

Fuente: elaboración propia

6. Esfuerzo de flexión. Se calculara el esfuerzo máximo de flexión. Mediante la Ecuación 22. Los resultados se encontraran en la Tabla 72.

Ecuación 23. Esfuerzo de flexión

$$\sigma_f = \frac{3 * P * L}{2 * b * d^2}$$

Fuente: ASTM. E290. 13 ed. West Conshohocken.5 p.

- σ_f = Esfuerzo de flexión [MPa]
- d= Espesor de la probeta [mm]
- L= Longitud entre soportes [mm]
- b= Ancho de la probeta [mm]
- P= Carga máxima producida por flexión [N]

Tabla 72. Resultados esfuerzo de flexión máximo

Muestra Nº	Carga máxima		Espesor		Ancho		Longitud entre soportes		Deformación final	
	Valor	UN.	Valor	UN.	Valor	UN.	Valor	UN.	Valor	UN.
1	55,36	N	3 mm		12 mm		48 mm		110,72	MPa
2	58,13	N	3 mm		11,9 mm		48 mm		117,23	MPa
3	56,11	N	3 mm		12,1 mm		48 mm		111,29	MPa
4	55,47	N	3 mm		12 mm		48 mm		110,94	MPa
5	55,79	N	3 mm		12 mm		48 mm		111,58	MPa
Valor medio									112,35	MPa
Desviación estándar									2,75	MPa

Fuente: elaboración propia

7. Esfuerzo de flexión. Se calculara el esfuerzo de flexión en rotura. Mediante la Ecuación 23. Los resultados se encontraran en la Tabla 73.

Ecuación 24. Esfuerzo de flexión en rotura

$$\sigma_f = \frac{3 * p * L}{2 * b * d^2}$$

Fuente: ASTM. E290. 13 ed. West Conshohocken.5 p.

- σ_f = Esfuerzo de flexión [MPa]
- d= Espesor de la probeta [mm]
- L= Longitud entre soportes [mm]
- b= Ancho de la probeta [mm]
- p= Carga de rotura [N]

Tabla 73. Resultados esfuerzo de flexión de rotura

Muestra	Carga máxima		Espesor		Ancho		Longitud entre soportes		Deformación final		
	Nº	Valor	UN	valor	UN	Valor	UN	Valor	UN	Valor	UN
1		12,23	N	3	mm	12	mm	48	mm	24,460	MPa
2		44	N	3	mm	11,9	mm	48	mm	88,739	MPa
3		52,64	N	3	mm	12,1	mm	48	mm	104,410	MPa
4		52,25	N	3	mm	12	mm	48	mm	104,500	MPa
5		52,44	N	3	mm	12	mm	48	mm	104,880	MPa
Valor medio										85,398	MPa
Desviación estándar										34,75	MPa

Fuente: elaboración propia

5.3.3 Reporte Policarbonato. La siguiente información representa lo obtenido mediante el ensayo de tensión ASTM D790⁸⁹. El reporte final se hará mediante los parámetros establecidos en el numeral 12 de la presente norma.

1. Identificación del material. ver Cuadro 30.

Cuadro 30. Identificación del material

Características	Significado
Nombre	Acrílico
Sigla	PMMA
Fabricante	Adell plastics, Inc
Código	Adell PC YS-10
Forma original	Pellets
Tipo	Termoplástico

Fuente: elaboración propia

⁸⁹ AMERICAN. Op cit., p. 8.

2. Características propias del ensayo. Ver Tabla 74.

Tabla 74, Información específica del ensayo

Características	Significado
Procedimiento de ensayo	A
Control de datos	Posición de cabezal
Velocidad de ensayo	1,28 mm/min
Dirección de corte de las muestras	Longitudinal
Espesor y ancho de la muestra	3 mm x 12 mm
Identificación final del ensayo	D790-AI
Longitud entre soportes	48 ± 1 mm

Fuente: elaboración propia

3. Deformación en flexión. Es el cambio nominal en la longitud de un elemento en su superficie exterior, donde la máxima deformación ocurre en la fibra media del elemento. Esta deformación fue calculada mediante la Ecuación 20. Los resultados se pueden observar en la Tabla 75.

Tabla 75. Resultados deformación máxima

Muestra Nº	Máxima deflexión		Espesor		Longitud entre soportes		Deformación final	
	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
1	9,12	mm	3	mm	48	mm	0,071	mm/mm
2	8,11	mm	3	mm	48	mm	0,063	mm/mm
3	6,41	mm	3	mm	48	mm	0,050	mm/mm
4	6,79	mm	3	mm	48	mm	0,053	mm/mm
5	6,4	mm	3	mm	48	mm	0,050	mm/mm
Valor medio							0,058	mm/mm
Desviación estándar							0,01	mm/mm

Fuente: elaboración propia

4. Modulo tangente. Para calcular este módulo, se utilizó la Ecuación 21 para calcularlo. Ver resultados en Tabla 76.

Tabla 76. Resultados módulo tangente

Muestra Nº	Pendiente elástica		Espesor		Ancho		Longitud entre soportes		Módulo Tangente final	
	Valor	UN	Valor	UN	Valor	UN	Valor	UN	Valor	UN
1	11,32	N/mm	3	mm	12	mm	48	mm	966,31	MPa
2	12,12	N/mm	3	mm	11,9	mm	48	mm	1.043,26	MPa
3	11,87	N/mm	3	mm	12,1	mm	48	mm	1.004,92	MPa
4	11,29	N/mm	3	mm	12	mm	48	mm	963,68	MPa
5	11,65	N/mm	3	mm	12	mm	48	mm	994,46	MPa
Valor medio									994,53	MPa
Desviación estándar									32,52	MPa

Fuente: elaboración propia

5. Esfuerzo de flexión máximo. Este valor se calculó mediante la ecuación 22, los resultados se pueden observar en la Tabla 77.

Tabla 77. Resultados esfuerzo de flexión máxima

Muestra Nº	Carga máxima		Espesor		Ancho		Longitud entre soportes		Esfuerzo de flexión máxima	
	Valor	UN	Valor	UN	Valor	UN	Valor	UN	Valor	UN
1	56,11	N	3	mm	12	mm	48	mm	112,23	MPa
2	55,47	N	3	mm	12	mm	48	mm	110,94	MPa
3	56,04	N	3	mm	12	mm	48	mm	112,08	MPa
4	55,19	N	3	mm	12	mm	48	mm	110,38	MPa
5	55,70	N	3	mm	12	mm	48	mm	111,41	MPa
Valor medio									111,41	MPa
Desviación estándar									0,77	MPa

Fuente: elaboración propia

6. Esfuerzo de flexión en rotura. Este esfuerzo fue calculado mediante la Ecuación 23, y los resultados se pueden ver en la Tabla 78.

Tabla 78. Resultados esfuerzo de flexión en rotura

Muestra Nº	Carga máxima		Espesor		Ancho		Longitud entre soportes		Esfuerzo de rotura máximo	
	Valor	UN	valor	UN	Valor	UN	Valor	UN	Valor	UN
1	48,23	N	3	mm	12	mm	48	mm	96,46	MPa
2	43,85	N	3	mm	12	mm	48	mm	87,70	MPa
3	51,68	N	3	mm	12	mm	48	mm	103,36	MPa
4	54,15	N	3	mm	12	mm	48	mm	108,30	MPa
5	53,76	N	3	mm	12	mm	48	mm	107,52	MPa
Valor medio									100,66	MPa
Desviación estándar									8,64	MPa

Fuente: elaboración propia

7. Módulo de flexión. Este valor fue calculado mediante el procedimiento “Toe compensation”, adjunto a la norma ASTM D790⁹⁰, en donde la máquina universal tomo un rango de valores entre 10 y 20 N para sacar el modulo elástico del material, y no tomando toda la pendiente como módulo de elasticidad del material. Los resultados se pueden observar en la Tabla 79.

Tabla 79. Resultados módulo de elasticidad en flexión.

Muestra Nº	Módulo de elasticidad en flexión	
	Valor	Unidad
1	2.089,61	MPa
2	2.102,75	MPa
3	2.042,96	MPa
4	2.027,39	MPa
5	2.065,68	MPa
Valor medio	2.065,67	MPa
Desviación estándar	31,34	MPa

Fuente: elaboración propia

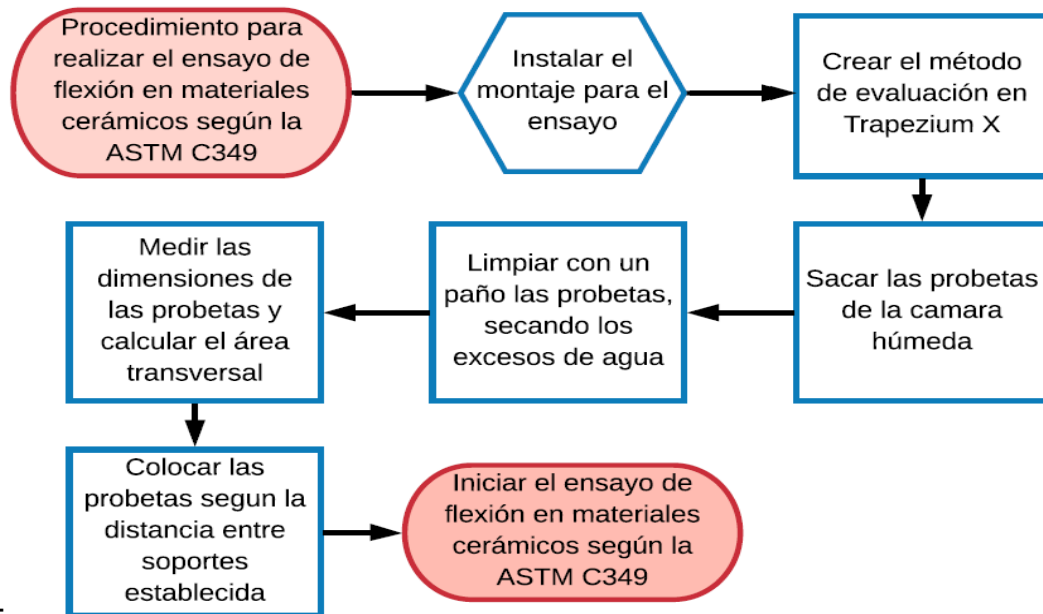
5.4 ENSAYO DE FLEXIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS

Este ensayo se realiza según la norma ASTM C348⁹¹, en la cual se puede encontrar el procedimiento específico para llevar a cabo el ensayo, ver Diagrama 10, este ensayo se desarrolló con cemento hidráulico tipo portland. Para este ensayo se tomaron 2 tipos de cemento; cemento tipo I, llamado uso general y el cemento tipo III, llamado ART.

⁹⁰ Ibíd., P.11.

⁹¹ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens). C109. 16a ed. United States.: Astm International, 2019. 10 p.

Diagrama 10. Procedimiento para el inicio del ensayo de flexión en mezclas de cemento portland.



Fuente: elaboración propia

Como en los casos anteriores de ensayos a flexión, es necesario instalar el kit de flexión para la máquina universal, una vez instalado el montaje es necesario crear un método de evaluación del ensayo en el software Trapezium X, el cual se puede crear mediante la guía que se encuentra en la sección 1.7 del presente trabajo. Entre los aspectos más importantes es necesario mencionar que los especímenes deben haber estado en una cámara húmeda con un 95% de humedad relativa, una vez sacadas estas se deben secar, de esta manera retirando el exceso de agua.

5.4.1 Resultados del ensayo de compresión en pasta de cemento (ART). La norma ASTM C348⁹², enuncia en la Ecuación 24, la cual permite calcular el esfuerzo de flexión máximo en mezclas de cemento portland.

Ecuación 25. Esfuerzo de flexión máximo

$$S_f = 0,0028 * P$$

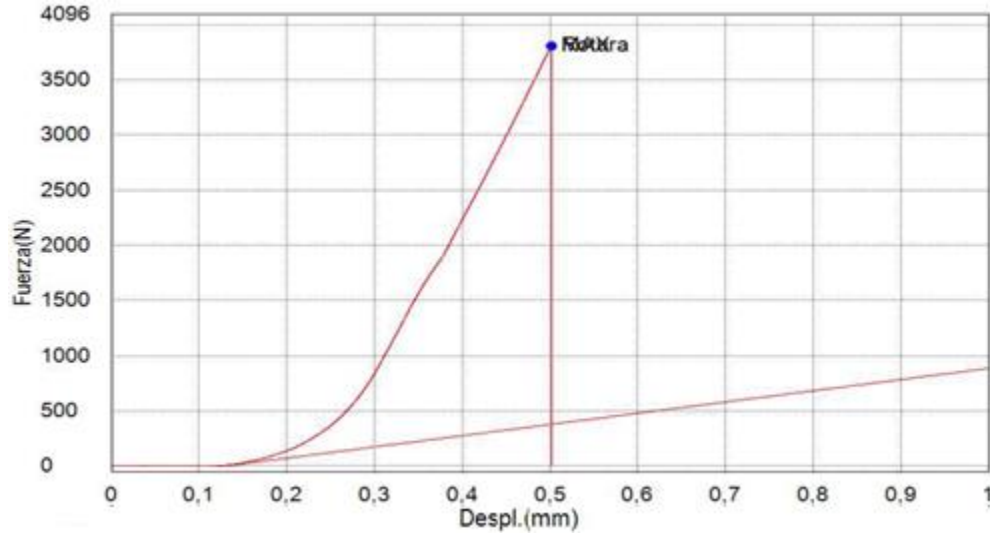
Fuente: ASTM, International. C348, 2018, Vol.18. P.5

- S_f = Esfuerzo de flexión [MPa]
- P = Carga máxima [N]

⁹² Ibid., p.7.-

Se obtuvieron las gráficas de carga de flexión vs desplazamiento, ver Gráfica 18. De esta manera hallando la carga máxima de las gráficas y con la Ecuación 24, se puede hallar el esfuerzo de flexión en las probetas para cemento tipo III, con 1 día de envejecimiento. Ver Tabla 80.

Gráfica 18. Curva Carga de flexión vs desplazamiento probeta N° 1 (ART).



Fuente: elaboración propia

Tabla 80. Esfuerzo de flexión máximo para cemento ART

Muestra		Esfuerzo de flexión	
Nº	Valor	Unidad	
1	10,64	MPa	
2	10,98	MPa	
3	10,16	MPa	
Valor medio	10,59	MPa	
Desviación estándar	0,41	MPa	

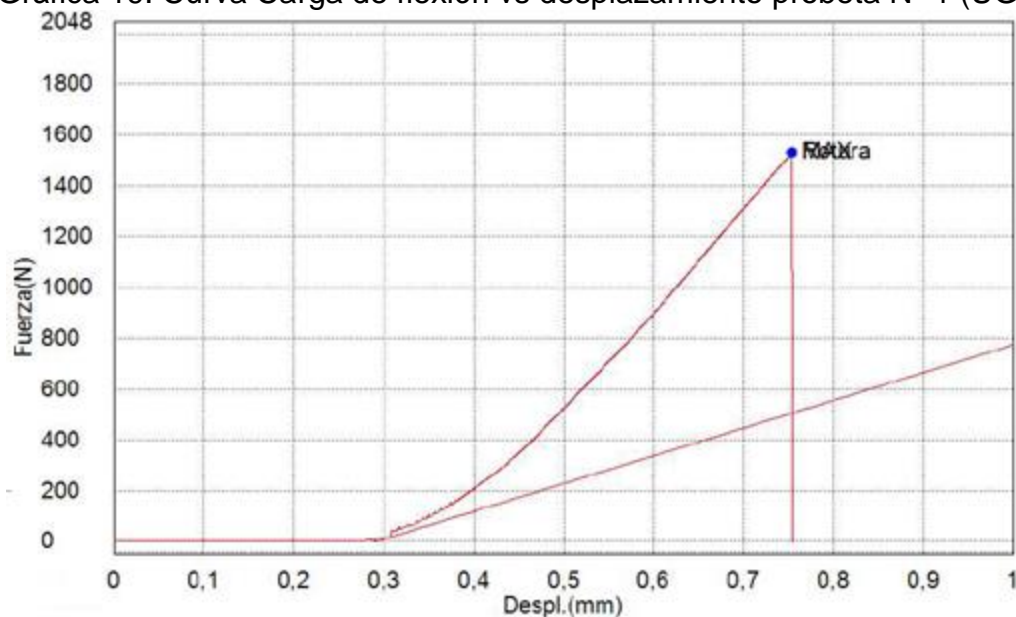
Fuente: elaboración propia

5.4.2 Resultados del ensayo de compresión en pasta de cemento (UG). La norma ASTM C348⁹³, enuncia en la Ecuación 24, la cual permite calcular el esfuerzo de flexión máximo en mezclas de cemento portland. Se realizó el mismo procedimiento como en el ensayo anterior.

Se utilizó la Ecuación 24 para calcular el esfuerzo de flexión máximo, se analizaron las gráficas de carga v desplazamiento, ver Gráfica 19, y de allí se buscó la carga máxima. Los resultados se pueden observar en la Tabla 81.

⁹³ Ibid., p.7.

Gráfica 19. Curva Carga de flexión vs desplazamiento probeta N° 1 (UG)



Fuente: elaboración propia

Tabla 81. Esfuerzo de flexión máximo para cemento UG

Muestra		Esfuerzo de flexión	
Nº	Valor	Unidad	
1	4,29	MPa	
2	4,41	MPa	
3	4,19	MPa	
Valor medio	4,30	MPa	
Desviación estándar	0,11	MPa	

Fuente: elaboración propia

6. ANALIZAR LOS DATOS OBTENIDOS EXPERIMENTALMENTE CON RELACIÓN A LOS REPORTADOS EN LA LITERATURA

Se realizara una comparación entre los datos obtenidos experimentalmente mediante el uso de la máquina universal y el software de trabajo TRAPEZIUM X, con respecto a los datos esperados o fichas técnicas de cada material. Posterior a la comparación se realizara un análisis de resultados.

6.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES-VS ESPERADOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN EN MATERIALES PLÁSTICOS

Teniendo en cuenta los procesos experimentales realizados en el capítulo 3.2 del presente trabajo, en donde se evaluaron las propiedades mecánicas de dos tipos de materiales plásticos, como lo son; LLDPE Y PP11H, mediante la ejecución del ensayo de tensión, según la ASTM D638⁹⁴, se buscó comparar los resultados que se obtuvieron con respecto a las fichas técnicas de cada uno de los materiales, de esta manera se evaluara el porcentaje de error y la varianza para estos 2 tipos de plásticos.

6.1.1 Análisis de resultados para LLDPE. Para el análisis del comportamiento de este tipo de material, se debe aclarar que este material es un polímero termoplástico, caracterizado por poseer una estructura esferulítica, la cual es formada por ramificaciones cortas y largas de átomos, que se entrecruzan mediante enlaces químicos formando redes tridimensionales tipo zig zag de gran cohesión. Ver Figura 18.

Figura 18. Estructura de cadena ramificada de LLDPE



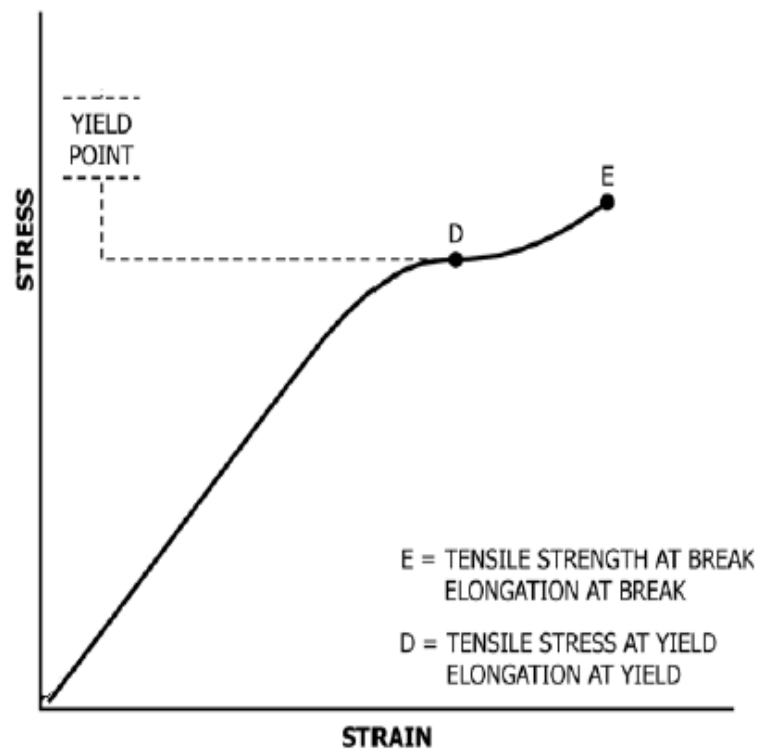
Fuente: ARRIAGADA, Paulo. Polietileno De Alta Y Baja Densidad. Chile.: Universidad De Chile. 2013. 8p.

⁹⁴ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics. D638 – 14. West Conshohocken.: ASTM International, 2014. 17 p.

Conociendo el tipo de estructura de este polímero se puede proceder a realizar el análisis del comportamiento del material. Es necesario mencionar el comportamiento mecánico del LLDPE, en donde las cadenas de polietileno se organizan con respecto al sentido de la fuerza, de esta manera el material tiende a deformarse hasta que se alcance la falla del material, ver Imagen 39, este material debido a su estructura esferulítica y condiciones ambientales presenta deformaciones del orden del 200% al 300%.

En la norma ASTM D638⁹⁵, se especifican los comportamientos generales de las gráficas esfuerzo-deformación para materiales plásticos, ver Figura 19, de esta manera se pudo establecer un comportamiento pre ensayo de la gráfica esfuerzo-deformación, para así determinar la calidad del ensayo del LLDPE. De esta manera al realizar los cinco ensayos se encontró un comportamiento general, el cual se puede considerar óptimo, según la norma ASTM D638⁹⁶. Ver Gráfico 20 y 21.

Figura 19. Comportamiento general de los polímeros semi-cristalinos.

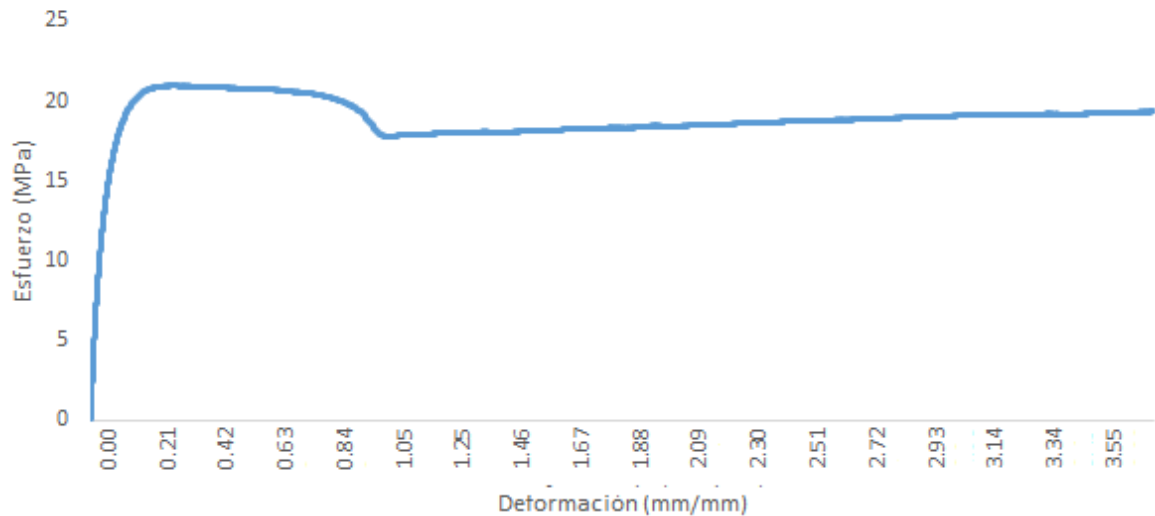


Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14.

⁹⁵ Ibid., P.13.

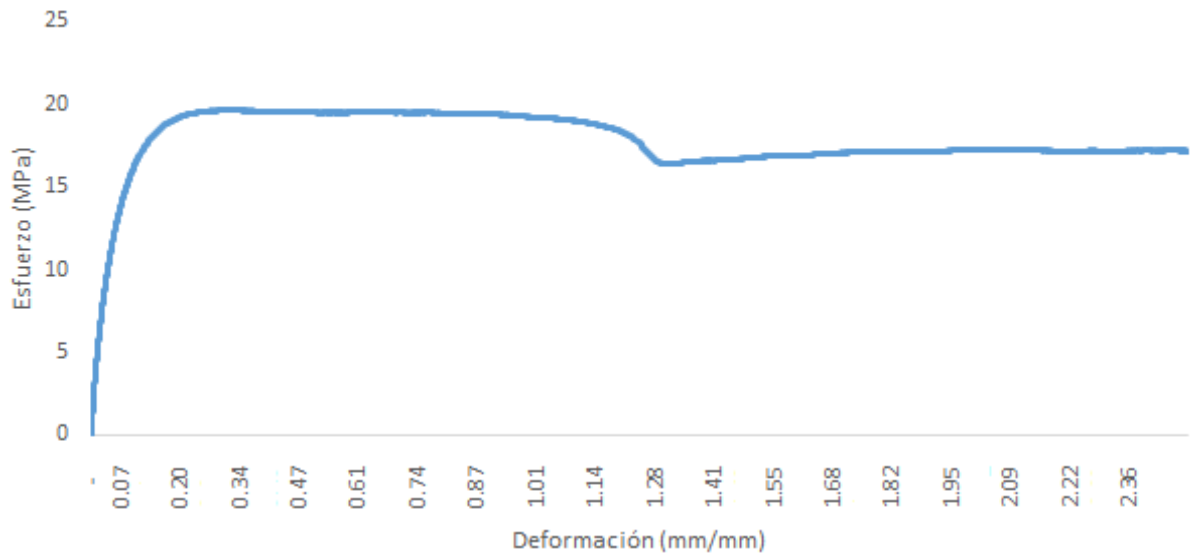
⁹⁶Ibid., P.13.

Gráfica 20. Curva esfuerzo – deformación probeta N°2 LLDPE
Curva Esfuerzo -Deformación



Fuente: elaboración propia

Gráfica 21. Curva esfuerzo – deformación probeta N°3 LLDPE
Curva Esfuerzo-Deformación



Fuente: elaboración propia

Se comparara el valor experimental del esfuerzo de fluencia del material, ver tabla 82 con respecto al valor esperado de la ficha técnica del material, ver anexo H. Es necesario mencionar que los valores medios experimentales fueron hallados en la sección 3.2 del presente trabajo.

Imagen 39. Comportamiento óptimo para el ensayo de tensión



Fuente: elaboración propia

Tabla 82. Comparación resultados de esfuerzo de fluencia.

Esfuerzo de fluencia Experimental		Esfuerzo de fluencia Esperado		Diferencia
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
20,38	MPa	20,7	MPa	1,54

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 82 se puede encontrar similitudes en los resultados de los ensayos, en el orden del 2% lo cual es un buen indicador. Esto se puede atribuir a que las probetas se sometieron a un acondicionamiento previo para mantener una temperatura y humedad relativa ideal sin cambios, esto es importante debido a que este tipo de materiales son de carácter viscoelástico y sus propiedades cambian de acuerdo a la temperatura y tiempo de aplicación de una carga.

También es necesario mencionar que el comportamiento en la zona elástica del material fue muy similar, debido a que el modulo elástico del material en todos los ensayos se mantuvo con una desviación estándar de 9 MPa, según el libro de

“ciencia de materiales para ingenieros”⁹⁷, el LLDPE, se comportó como un material plástico dúctil permaneciendo en el rango de módulo de elasticidad y elongación descrito para este material. Ver tabla 83 y 84.

Tabla 83. Comparación resultados módulo de elasticidad LLDPE

Módulo de elasticidad Experimental		Módulo de elasticidad Esperado		Cumplimiento
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	-
276,53696	MPa	100 - 300	MPa	Si

Fuente: elaboración propia

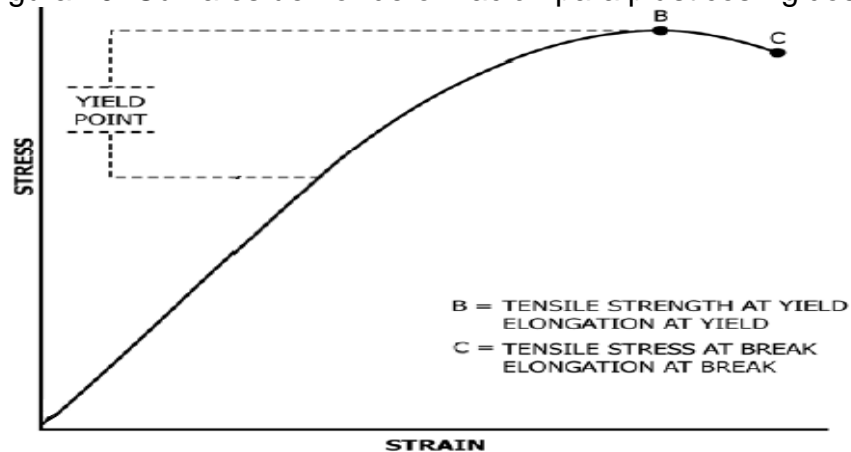
Tabla 84. Comparación resultados porcentaje de elongación LLDPE

Porcentaje de elongación experimental		Porcentaje de elongación esperado		Cumplimiento
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	-
266	%	100 y 300	%	SI

Fuente: elaboración propia

6.1.2 Análisis de resultados para PP-11H. Este tipo de material es polipropileno isotático. Esto hace que su estructura sea altamente cristalina, debido a que todos los grupos metilo se encuentran del mismo lado de la cadena, lo cual, le proporciona muy buena rigidez y alta resistencia al impacto. Teniendo en cuenta el comportamiento de los ensayos de tensión realizados a este tipo de material, se identificó un comportamiento en común para todos los ensayos, ver Gráfica 22, este comportamiento es similar al descrito en la ASTM D638 para materiales con rígidos de estructura cristalina, ver Figura 20.

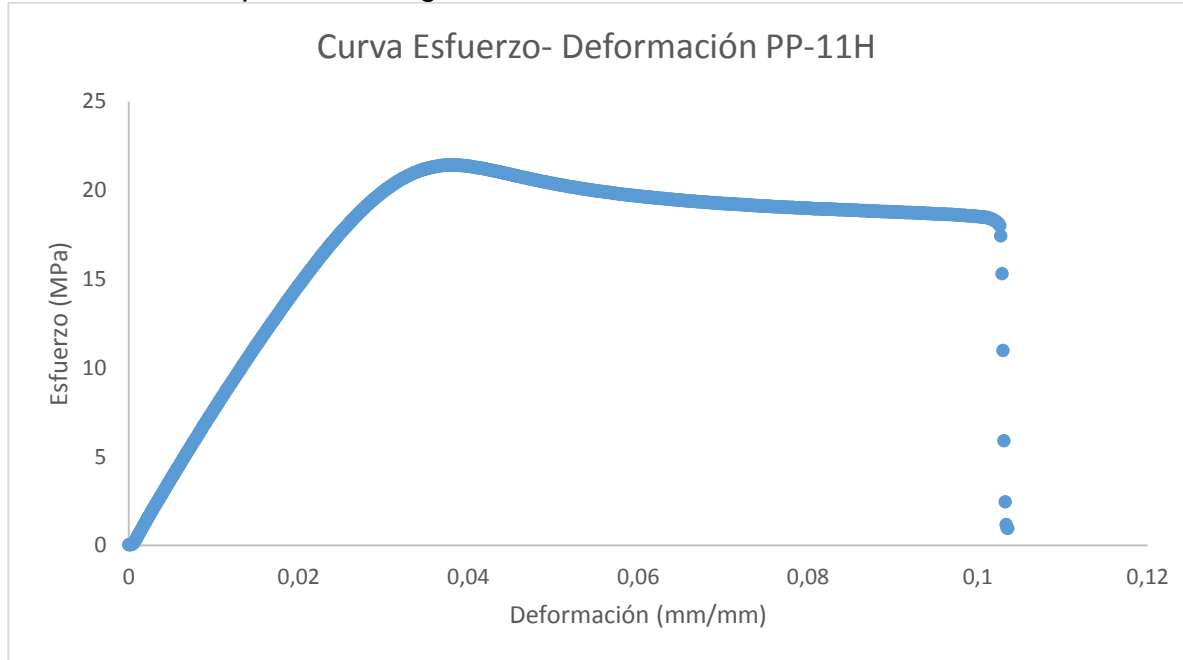
Figura 20. Curva esfuerzo- deformación para plásticos rígidos



Fuente: ASTM, International. D638, 2014, Vol. 14.

⁹⁷ GUERMES, Alfredo. y MARTIN, Nuria. Ciencia De Materiales Para Ingenieros. Materiales Poliméricos. Madrid. Pearson, 2012. 427 p.

Gráfica 22. Comportamiento general de la curva esfuerzo- deformación PP11H



Fuente: elaboración propia

Se realizara la comparación de los resultados esperados vs experimentales con respecto a la ficha técnica del material, ver Anexo F, con relación al valor de esfuerzo de fluencia y porcentaje de elongación. Ver Tabla 85 y 86.

Tabla 85. Resultados esfuerzo de fluencia experimental vs esperado

Esfuerzo de fluencia experimental		Esfuerzo de fluencia esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
21,52	MPa	35	MPa	38,80

Fuente: elaboración propia

Tabla 86. Resultados porcentaje de elongación experimental vs esperado

Porcentaje de elongación experimental		Porcentaje de elongación esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
5,54	%	9,00	%	38,40

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 85 y 86 se encontró que el porcentaje de error fue del 38%. Esto se debe a diversos factores como:

- La presencia de irregularidades en la superficie de la probeta fue manifiesta, ya que se encontraron rebabas, las cuales pudieron causar defectos y discontinuidades dentro del material afectando la resistencia mecánica del plástico.
- Durante la inyección de la probeta, el material fundido no fue homogeneizado correctamente. Al analizar la zona de falla del material es posible observar la presencia de burbujas de aire atrapadas en la probeta, lo cual indica que no se utilizaron los parámetros adecuados de inyección generando un llenado no uniforme de plástico fundido en la probeta, esto se debe a cambios de presión bruscos.
- Este material en su especificación, establece que este Homopolímero debe ser almacenado a temperaturas de 0° C, lo cual no se realizó debido al acondicionamiento para el ensayo.
- Experticia del personal que realizó el ensayo, es posible que la probeta no hubiese estado bien instalada durante el ensayo.

6.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES-VS ESPERADOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Considerando los procesos experimentales realizados en la sección 3.3 del presente trabajo, en donde se evaluaron las propiedades mecánicas de dos tipos de acero, como; AISI 1020 Y 1045, mediante la ejecución del ensayo de tensión, según la ASTM E8⁹⁸, se buscara comparar los resultados que se obtuvieron con respecto a las fichas técnicas de cada uno de los materiales, ver **Anexo A y J**, de esta manera se evaluará el porcentaje de error para estos dos tipos de materiales metálicos.

Es necesario conocer el comportamiento de los materiales metálicos bajo cargas de tensión, donde se asume que estos materiales son homogéneos e isotrópicos, lo cual significa que no presentan vacíos en su microestructura y que sus propiedades mecánicas son idénticas en todas las orientaciones, pero el comportamiento mecánico y rendimiento de los metales depende internamente de la anisotropía del material, por lo tanto de la presencia de defectos puntuales y lineales (dislocaciones y límites de grano), la microestructura del material (ferrita, perlita, cementita, etc), tipo de estructura cristalina (bcc, fcc, hcp, etc) y de la composición elemental, otorgan la resistencia del material. La respuesta del material dependerá del tipo de carga al que se someta al material, velocidad de deformación, temperatura de trabajo, naturaleza de carga y del acabado superficial, siendo estos factores importantes que provocaran la falla en un metal. Ya conocido estos factores tanto

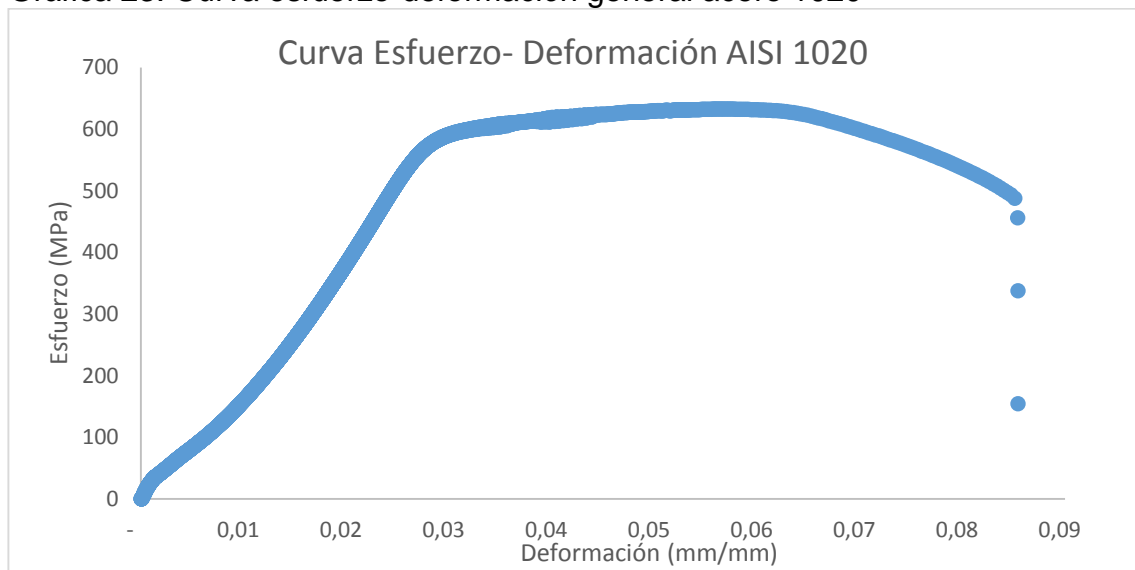
⁹⁸ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. . Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. E8 / E8M. 16 ed. West Conshohocken, Pa.: ASTM International, 2016. 17 p.

internos como externos es posible realizar el análisis de resultados de los ensayos realizados.

6.2.1 Análisis de resultados para acero AISI 1020. Es un acero de bajo contenido de carbono, con propiedades aptas para el desarrollo y fabricación de piezas como engranajes, ejes y levas. Este acero puede ser sometido a varios tratamientos térmicos como lo son; recocido calibrado, templado y revenido.

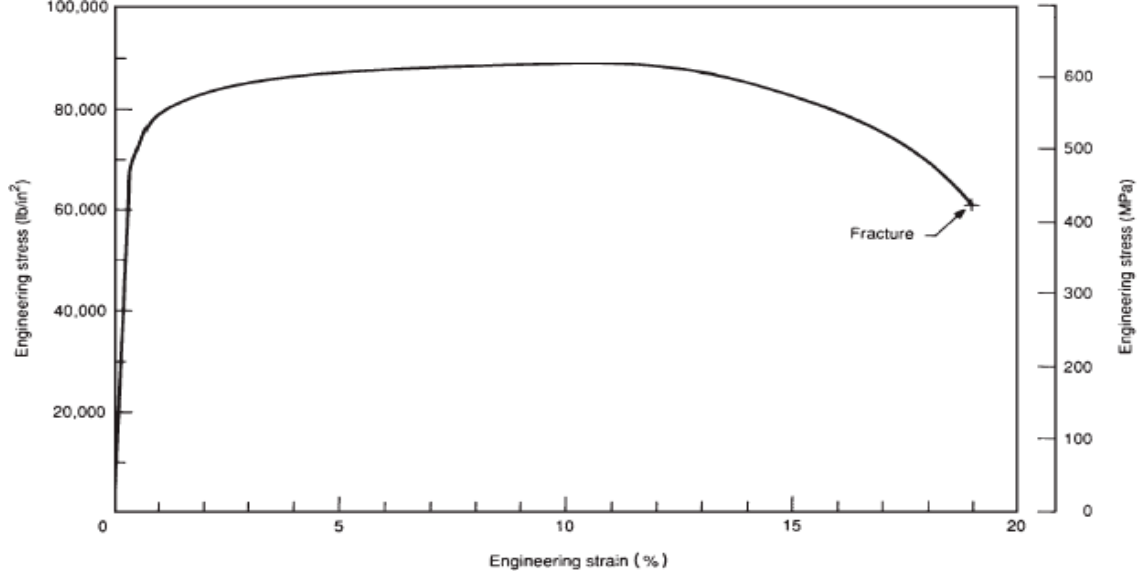
.Durante los 3 ensayos realizados a este acero se evidencio diferencias en los resultados obtenidos experimentalmente, ver Gráfica 23, con respecto a los datos esperados, Figura 21, al realizar el análisis respectivo de esta curva esfuerzo vs deformación, se puede observar dos tipos de zonas, la elástica y la plástica. En la zona elástica del material se evidencia la pendiente de la gráfica experimental con una caída considerable con respecto a la teórica, este comportamiento elástico es relacionado con la ley de Hooke. En la zona plástica del material se observa similitud entre las gráficas, correspondiente al esfuerzo máximo alcanzado por los ensayos experimentales y el esperado.

Gráfica 23. Curva esfuerzo-deformación general acero 1020



Fuente: elaboración propia

Figura 21. Curva esfuerzo ingenieril-deformación ingenieril teórica



Fuente: BROOKS, Charlie y CHOUDHUR, Ashok. Failure Analysis of Engineering Materials. Tensile Test, Chapter (McGraw-Hill Professional, 2002), Access Engineering.

Al analizar el grafico 23 y la figura 21, se encontró una gran divergencia con respecto a la primera parte de la gráfica que corresponde al comportamiento elástico del material, esto es debido a que la máquina universal lee el desplazamiento del cabezal para simular el desplazamiento de la probeta, al hacerse esto y al ser el acero un material rígido, la probeta pudo haberse desplazado dentro de las mordazas, generando un error en la toma de datos de desplazamiento

Se realizara la comparación entre el modulo elástico hallado experimentalmente contra el ideal de la ficha técnica del material, además de esto se comparara, la resistencia a la tensión, porcentaje de alargamiento y de reducción de área. Ver Tabla 87, 88, 89 y 90.

Tabla 87. Resultados módulo de elasticidad experimental vs esperado AISI 1020

Módulo elástico experimental		Módulo elástico esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
42.74	GPa	200	GPa	78,64

Fuente: elaboración propia

Tabla 88. Resultados esfuerzo de tensión experimental vs esperado.

Esfuerzo de tensión experimental		Esfuerzo de tensión esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
629,26	MPa	588	MPa	7,01

Fuente: elaboración propia

Tabla 89. Porcentaje de elongación relativo experimental vs esperado

Porcentaje de elongación experimental		Porcentaje de elongación esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
10,42	%	10	%	4,17

Fuente: elaboración propia

Tabla 90. Porcentaje de reducción de área experimental vs esperado

Porcentaje de reducción de área experimental		Porcentaje de elongación esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
47,33	%	55	%	13,95

Fuente: elaboración propia

Según los resultados obtenidos respecto a los ensayos realizados experimentalmente, se evidencia que el error más grande se encuentra en el momento de comparar el módulo de elasticidad, este error fue del 78%. Esto se debe a que el ensayo se realizó sin extensómetro por esta razón las medidas de deformación no son las que realmente se presentaron durante el ensayo, ya que la máquina universal realiza la lectura del desplazamiento de las mordazas, por lo tanto es susceptible a deslizamientos entre la mordaza y la probeta.

También existen factores descritos en el artículo “Uniaxial Tension Testing”⁹⁹, en el que se explican factores que influyen en el desarrollo del ensayo de tensión, entre algunos de ellos tenemos; Material de ensayo, metodología de ensayo, error humano, equipos y condiciones ambientales,

Considerando el porcentaje de error encontrado en el resultado del esfuerzo de tensión del material, porcentaje de reducción de área y de elongación, evidenciaron un comportamiento regular y poseen un margen de error bajo, esto se debe a que independientemente que la máquina no posea accesorios adicionales, la determinación de la carga es precisa y está bajo los parámetros y rangos que la ficha técnica confiere.

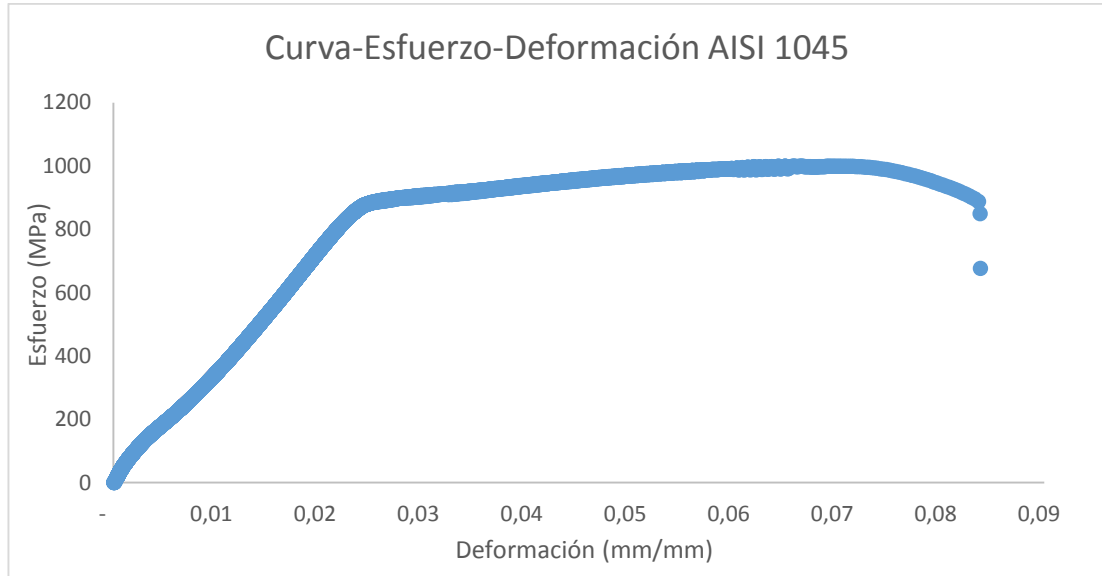
6.2.2 Análisis de resultados para acero AISI 1045. Es un acero de medio contenido de carbono, con buenas propiedades mecánicas, como lo son; dureza, resistencia a la fractura y tenacidad, su característica más importante es que al ser deformado en condiciones de temperatura baja incrementa sus propiedades mecánicas y dureza.

Al igual que el acero 1020 en este ensayo se presentó irregularidades en la toma del módulo de elasticidad del material, debido a desplazamientos irregulares en la zona de sujeción de la probeta, en el momento de realizar el ensayo de tensión, ver Gráfica 24. Se realizara la comparación entre el modulo elástico hallado

⁹⁹ HOLT, John. .Uniaxial Tension Testing. [s.l.]. :Alpha Consultants And Engineering, 2002. 15 p.

experimentalmente contra el ideal, y además se comparan los valores de la ficha técnica del material con respecto a los valores experimentales obtenidos, se comparara la resistencia a la tensión, porcentaje de alargamiento y de reducción de área. Ver Tabla 91, 92, y 93.

Gráfica 24. Curva esfuerzo-deformación acero 1045



Fuente: elaboración propia

Tabla 91. Resultados módulo de elasticidad experimental vs esperado AISI 1045

Módulo elástico experimental		Módulo elástico esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
51.21	GPa	200.000	GPa	74,39

Fuente: elaboración propia

Tabla 92. Resultados esfuerzo de tensión experimental vs esperado

Esfuerzo de tensión experimental		Esfuerzo de tensión		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
1.007,27	MPa	1.034	MPa	2,59

Fuente: elaboración propia

Tabla 93. Porcentaje de elongación experimental vs esperado

Porcentaje de elongación experimental		Porcentaje de elongación esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
7,92	%	8	%	1,04

Fuente: elaboración propia

Es importante destacar el porcentaje de error del módulo de elasticidad, cercano al 74%, el cual fue generado por el deslizamiento de la probeta en la mordaza, al momento de realizar el ensayo, donde la máquina recopiló valores erróneos de deformación, de esta manera generando más deformación de la que en verdad se produjo, generando un decrecimiento en la pendiente de la curva esfuerzo-deformación. Teniendo en cuenta el resultado del esfuerzo de tensión y de porcentaje de elongación es necesario aclarar que estos errores son menores al 3% por lo tanto, la exactitud del ensayo fue del 97%.

6.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTALES VS ESPERADOS DEL ENSAYO DE TENSIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS

Considerando los procesos experimentales realizados en la sección 3.4 del presente trabajo, en donde se evaluaron la resistencia a la tensión, de materiales cerámicos, mediante la ejecución del ensayo de tensión, según la ASTM C307¹⁰⁰, se buscara comparar los resultados que se obtuvieron con respecto a estudios experimentales que se hayan realizado y bajos la norma ASTM.

6.3.1 Análisis de resultados para cemento portland tipo I y III en tensión. Es necesario identificar la estructura de la pasta de cemento, para así conocer su comportamiento mecánico. La pasta de cemento se compone de 2 estructuras principales las cuales son el gel de cemento y los capilares, el gel de cemento es la estructura que le proporciona rigidez a la pasta de cemento esta llamada gel de tobermorita y los capilares son los espacios ocupados por agua que se encuentran en el gel de cemento. La resistencia de la pasta de cemento está determinada por la relación de agua/cemento por lo tanto para mezclas con relaciones de agua/cemento con elevadas concentraciones de agua se tendrá una estructura pastosa con estructura molecular llena de capilares y con poca formación de gel de cemento, por esta razón se escogió para este ensayo una relación de agua/cemento de 0,4, la cual permite la formación de una gel de cemento continua lo cual indica que el agua que se utilizó para la mezcla se consumió toda en la hidratación de la pasta de cemento.

Al realizarse el ensayo de tensión en pasta de cemento con edad de 3 días, según el artículo “Evolución mineralógica del cemento portland durante el proceso de hidratación”¹⁰¹ donde se estudió la composición y evolución de mezclas de cemento

¹⁰⁰ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. . Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. E8 / E8M. 16 ed. West Conshohocken, Pa.: Astm International, 2016. 17 p.

¹⁰¹ GIRALDO, Manuel Alejandro. Evolución Mineralógica Del Cemento Portland Durante El Proceso De Hidratación. [EN LÍNEA]. 2006. [Citado en 05 de Junio de 2019]. Disponible en internet: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532006000100007>

portland a 3 días, 7 y 28 días, se encontró que para estas mezclas de 3 días obtuvieron formaciones de gel de tobermorita sobresalientes con respecto a las demás formaciones en la estructura de la pasta, donde se pueden encontrar minerales que no han reaccionado permitiendo que el material sea frágil a esta edad y no tenga muy buena resistencia mecánica.

En este tipo de ensayos es necesario aclarar que en la ficha técnica del material no se encuentra ningún valor correspondiente a ensayos de tensión. Por lo tanto se realizara una comparación entre los resultados encontrados en la tesis “Mechanical Properties of Neat Cement Paste: Investigation of Correlation to Degree of Hydration and Water to Cement Ratios”¹⁰², en esta tesis se realizaron ensayos mecánicos de tensión, compresión y flexión de 3 puntos con pastas de cemento utilizando cementos tipo I y III con diferentes relaciones de agua/cemento,

Se tomaron los valores medios de esfuerzo de tensión encontrados en la literatura y se compararon con respecto a los hallados experimentalmente, ver Tabla 94 y 95. Los valores encontrados en la literatura utilizan la relación de agua/cemento de 0,4 y la velocidad de ensayo de 600 lbf/min, esto permite similitud con relación al tipo de ensayo que se desarrolló.

Tabla 94. Resultados esfuerzo de tensión experimental vs esperado cemento tipo I

Esfuerzo de tensión experimental		Esfuerzo de tensión esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
0,86	MPa	1,09	MPa	21,10

Fuente: elaboración propia

Tabla 95. Resultados esfuerzo de tensión experimental vs esperado cemento tipo III

Esfuerzo de tensión experimental		Esfuerzo de tensión esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
1,37	MPa	1,63	MPa	15,95

Fuente: elaboración propia

¹⁰²WALKER, Sam. Mechanical Properties Of Neat Cement Paste: Investigation Of Correlation To Degree Of Hydration And Water-to-cement Ratios. Master Of Science. Greensboro, North Carolina.: North Carolina A&t State University. 2014. 254p.

El error fue del 21,10% para el ensayo de tensión en cemento tipo I y para el ensayo de tensión en cemento tipo III fue del 15%, este porcentaje de error pudo haberse presentado por diversos factores:

- La temperatura y la humedad relativa del ambiente al realizar el ensayo pudieron afectar el resultado debido a que este material es sensible a la humedad, ya que es de carácter viscoelástico.
- La presencia de minerales que no se hayan activado mediante la hidratación de la muestra, produciría concentradores de esfuerzos estructuralmente en la probeta.
- Se pudo haber llevado a cabo una regular mezcla de los componentes de la mezcla de la pasta de cemento, ya que se encontraron burbujas de aire atrapadas en la sección transversal de la probeta, las cuales precipitaron una falla temprana. Ver imagen 39.
- Es posible que la probeta no hubiese sido instalada correctamente en el dispositivo de sujeción de la probeta.

Imagen 40. Burbujas en probetas a tensión en cerámico



Fuente: WALKER, Sean. Mechanical Properties Of Neat Cement Paste. Master Of Science. Greensboro, North Carolina.: North Carolina A&t State University. 2014. 254p.

6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTAL VS ESPERADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES PLÁSTICOS

Teniendo en cuenta los procesos experimentales realizados en el capítulo 4.2 del presente trabajo, en donde se evaluaron las propiedades mecánicas de 2 tipos de materiales plásticos, como lo son; NYLON Y TEFLÓN, mediante la ejecución del

ensayo de compresión, según la ASTM D695¹⁰³, se buscara comparar los resultados que se obtuvieron con respecto a las fichas técnicas de cada uno de los materiales, ver anexos B y C, de esta manera se evaluara el porcentaje de error para cada ensayo.

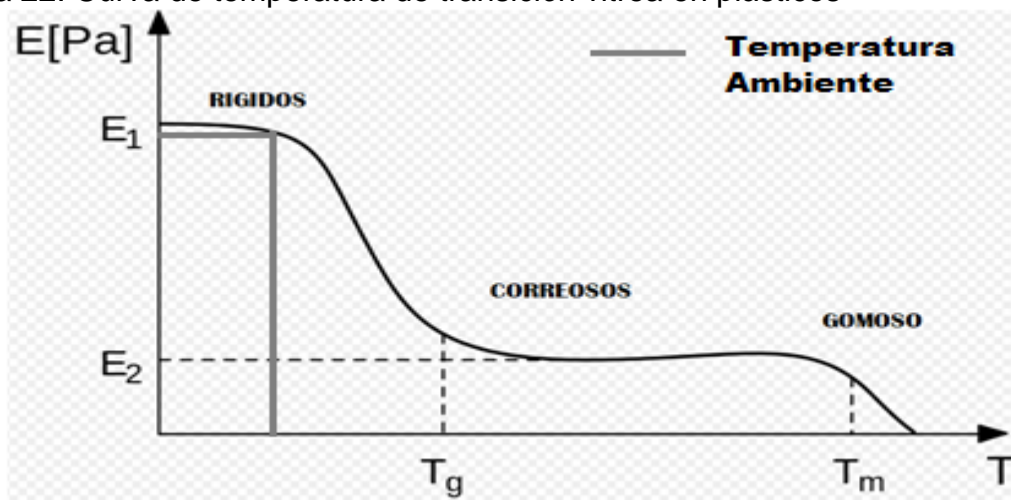
Un factor muy importante de mencionar para el análisis de los plásticos rígidos es la temperatura de transición vítrea, ver cuadro 31, donde al analizar la temperatura de transición vítrea y la Figura 22, podemos evidenciar que la rigidez de estos materiales, se da porque la temperatura de trabajo del material esta por debajo de la temperatura de transición vítrea otorgándole a estos materiales un aumento en sus propiedades mecánicas.

Cuadro 31. Temperaturas de transición vítrea (T_g)

Material	Valor	Unidad
Nylon 66	50	°C
Teflón	115	°C

Fuente: Mathot, Calorimetry and Thermal Analysis of Polymers, Hanser Publishers, Múnich Vienna New York, 1994

Figura 22. Curva de temperatura de transición vitrea en plásticos



Fuente: elaboración propia, con base en. MEXPOLIMEROS S.A, Temperatura de transición vítrea.

6.4.1 Análisis de resultados para el Nylon 66. Es necesario conocer la estructura de este plástico rígido el cual pertenece a la familia de las poliamidas con una cadena principal de grupos amida, enlazados con un grupo carbonilo por medio de un puente de hidrogeno distribuidos a lo largo de la cadena ramificada otorgando

¹⁰³ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Properties Of Rigid Plastics. ASTM D695-15. West Conshohocken.: Astm International, 2015. 8p.

buenas propiedades mecánicas al material, aumentando su cristalinidad y por ende su resistencia a deformarse. Es muy utilizado para la fabricación de piezas plásticas y utensilios gracias a la durabilidad y rigidez que presenta en su estructura.

Para evaluar los resultados obtenidos experimentalmente como esfuerzo de compresión y módulo de elasticidad se tendrá en cuenta la ficha técnica del material, ver Anexo B. Con respecto a la ficha técnica del material se pueden comparar 2 propiedades muy importantes como lo es el esfuerzo de compresión y el módulo de elasticidad del material. Para evaluar el esfuerzo de compresión siendo este un material que no fallo en el ensayo, si no que se puede deformar totalmente se tomaron unos valores de deformación iniciales del 1 y 2% de deformación, ver Tabla 96 y 97, y se obtendrá el porcentaje de error con respecto a los valores encontrados experimentalmente, ver Tabla 98.

Tabla 96. Esfuerzo de compresión según porcentaje de deformación experimental 1% Nylon 66.

	Porcentaje de deformación	Muestra	Esfuerzo de compresión
	%	Nº	MPa
1		1	20,02
		2	12,48
		3	14,97
Valor medio			15,82
Desviación estándar			2,97

Fuente: elaboración propia

Tabla 97. Esfuerzo de compresión según porcentaje de deformación experimental 2% Nylon 66.

	Porcentaje de deformación	Muestra	Esfuerzo de compresión
	%	Nº	MPa
2		1	38,10
		2	31,88
		3	34,39
Valor medio			34,79
Desviación estándar			2,35

Fuente: elaboración propia

Tabla 98. Porcentaje de error en esfuerzo de compresión Nylon 66

	Porcentaje de deformación	Esfuerzo de compresión experimental		Esfuerzo de compresión esperado		Error
	%	Valor	Unidad	Valor	Unidad	%
1		15,82	MPa	20,00	MPa	20,88
2		34,79	MPa	35	MPa	0,60

Fuente: elaboración propia

Después de hallada el esfuerzo de compresión con relación al porcentaje de deformación, se compara el valor del módulo elástico hallado en el material ver Tabla 99. Porcentaje de error del módulo elástico experimental vs esperado

Tabla 99. Porcentaje de error módulo elástico experimental vs esperado

Módulo elástico experimental		Módulo elástico esperado		Error
Valor	Unidad	Valor	Unidad	%
1.956,85	MPa	2.700,00	MPa	27,52

Fuente: elaboración propia

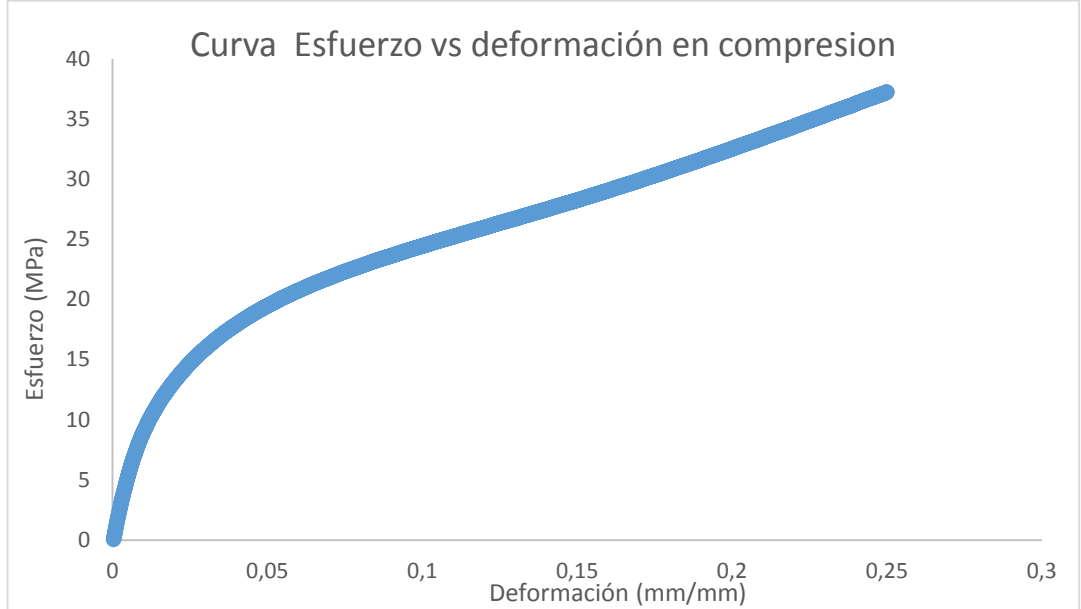
Una vez hallados los valores podemos identificar que el porcentaje de error para el esfuerzo de compresión en el 1% fue del 20,88% y del esfuerzo de compresión en el 2% fue de 0,6%, y el porcentaje de error del módulo de elasticidad fue del 27%. Podemos analizar según los valores de error encontrados:

- Los valores son cercanos a los valores esperados, pero al ser un plástico estos materiales son susceptibles de cambios a su comportamiento mecánico según la temperatura y humedad relativa de la sala de pruebas.
- La falta de accesorios complementarios como el compresómetro afecta significativamente el resultado del ensayo.
- La construcción de la probeta por mecanizado pudiese haber influido en el cambio de propiedades mecánicas del material
- Al analizar el comportamiento final del plástico se evidencio que este plástico, cambió su volumen inicial incrementando área y disminuyendo su altura, debido a la aplicación de la carga a compresión y a la dirección de las cadenas ramificadas de su estructura

6.4.1 Análisis de resultados para el Teflón. Este es un termoplástico formado por una cadena de átomos de carbono unidos a átomos de flúor, lo cual le provee buenas propiedades mecánicas, eléctricas y químicas. Es clasificado como un plástico inerte el cual rechaza cualquier otra sustancia y por lo tanto no puede fusionarse con otro material fácilmente, es utilizado como recubrimiento. Es necesario aclarar que en la ficha técnica obtenida solo se encuentre el valor de modulo elástico a compresión del material, ver Anexo C, por lo tanto se utilizara el artículo "Teflón PTFE"¹⁰⁴ elaborado por la compañía Du Pont, dueña de la patente de este material, en el cual se da información acerca del comportamiento de este material cuando es sometido a ensayos compresión. Se analizarán las gráficas experimentales vs teórica acerca del comportamiento de este material, ver Gráfica 25 y figura 23.

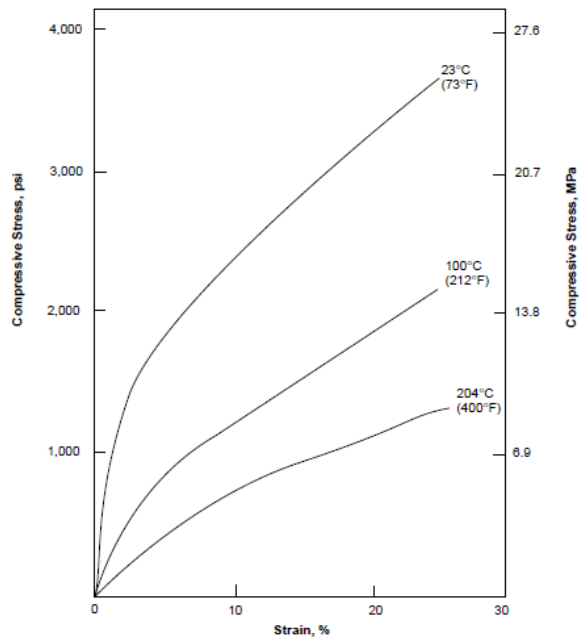
¹⁰⁴ DU Pont, Handbook PTFE. Vol.1. 2014

Gráfica 25. Curva Esfuerzo vs deformación en compresión experimental Teflón



Fuente: elaboración propia

Figura 23. Curva Esfuerzo vs deformación en compresión experimental Teflón



Fuente: DU Pont, Handbook PTFE. Vol.1. 2014

Al analizar la Gráficas 25 y figura 23, es posible observar similitud en la pendiente de las gráficas de esta manera se puede corroborar el comportamiento elástico del material en su deformación del 0 al 25%, también es necesario mencionar que la

figura 23 posee más líneas de pendiente esto es porque el comportamiento de este plástico es viscoelástico y todas sus propiedades dependen de la temperatura, humedad relativa la carga de aplicación al material. Por esta razón la gráfica 1 es más empinada ya que la humedad relativa para el ensayo normalizado fue de 44% mientras que la experimental fue del 66%.

Con respecto a la ficha técnica del material que menciona el módulo de elasticidad del material en compresión, se comparará con respecto al hallado experimentalmente, ver Tabla 100.

Tabla 100. Porcentaje de error del módulo elástico experimental vs esperado

Módulo elástico experimental		Módulo elástico esperado		Error
Valor	Unidad	Valor	Unidad	%
630,00	MPa	758,42	MPa	16,93

Fuente: elaboración propia

El porcentaje de error del módulo de elasticidad fue del 16%. Podemos analizar:

- Los valores son cercanos a los valores esperados, pero al ser un plástico estos materiales son susceptibles de cambios a su comportamiento mecánico según la temperatura y humedad relativa de la sala de pruebas.
- La falta de accesorios complementarios como el compresómetro afecta significativamente el resultado del ensayo.
- La construcción de la probeta por mecanizado pudiese haber influido en el cambio de propiedades mecánicas del material.
- Al analizar el comportamiento final del plástico se evidencio que este plástico, cambió su volumen inicial incrementando área y disminuyendo su altura, debido a la aplicación de la carga a compresión y a la dirección de las cadenas ramificadas de su estructura.

6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTAL VS ESPERADOS DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

De acuerdo a los resultados hallados en la sección 4.3 del presente trabajo, en donde se evaluaron las propiedades mecánicas de dos tipos de aleaciones no férreas, mediante la ejecución del ensayo de compresión, según la ASTM E9¹⁰⁵, se buscara comparar los resultados que se obtuvieron con respecto a las fichas técnicas de cada uno de los materiales, ver Anexo D y G, de esta manera se evaluara el porcentaje de error para estos dos tipos de materiales metálicos.

¹⁰⁵ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods Of Compression Testing Of Metallic Materials At Room Temperature. E9. 89a ed. United States.: Astm International, 2000. 9 p.

6.2.1 Análisis de resultados para aluminio 6063 y el bronce fosforado. El aluminio es una aleación no férrea de aluminio con alto contenido de magnesio y de silicio, ideal para la fabricación de perfiles, accesorios y decoraciones. El bronce es una aleación no férrea de bronce, la cual posee buenas propiedades mecánicas, bajo coeficiente de fricción y tenacidad. Se utiliza en ambientes corrosivos, instalaciones eléctricas y resistencia a la fatiga. Se realizara la comparación entre los datos recopilados durante los ensayos vs los datos esperados de la ficha técnica. Para el análisis de resultados del comportamiento del aluminio 6063 y del bronce durante el ensayo de compresión es necesario realizar un supuesto, este se encontró en el artículo “Fundamentos experimentales de la resistencia de materiales”¹⁰⁶. El cual menciona que el módulo de elasticidad del material en tensión va a ser igual que el de compresión, ya que este tipo de metales se comportan como materiales hookeanos. Por lo tanto los resultados entre los módulos de elasticidad se pueden encontrar en la **Tabla 103 y 104**, tomando como referencia el modulo elasticidad en tensión como compresión iguales.

Tabla 101. Porcentaje de error del módulo elástico experimental vs esperado aluminio 6063

Módulo de elasticidad experimental		Módulo de elasticidad esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
12,56	GPa	67,65	GPa	81,43

Fuente. elaboración propia

Tabla 102. Porcentaje de error del módulo elástico experimental vs esperado bronce fosforado

Módulo de elasticidad experimental		Módulo de elasticidad esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
17,79	GPa	111,00	GPa	83,97

Fuente: elaboración propia

El porcentaje de error entre el modulo hallado experimentalmente y el esperado fue del 81% y del 83%, esto se generó por la falta de un compresómetro para realizar la medida adecuada de deformación del material en el transcurso de la prueba, ya que la máquina lee el desplazamiento del cabezal, más no la deformación real de la probeta. Al analizar la forma final de la probeta y comparar los resultados con el articulo “Uniaxial Compression Testing”¹⁰⁷, ver Imagen 41 y figura 24, se puede evidenciar que pueden ocurrir varias clases de fallos A) Pandeo, B) Cizalladura, o C) abarrilamiento, en donde se puede apreciar con respecto a la geometría final que

¹⁰⁶ IMAZ, Roberto. Fundamentos Experimentales De La Resistencia De Materiales. Santander, España.: Universidad De Cantabria. 2016. 10p.

¹⁰⁷ KUHN, Howard, Uniaxial Compression Testing. Concurrent Technologies Corporation. United States. 2000. 2p..

ocurrió una falla por cizalladura producto de la fricción entre superficies de los platos de compresión y la probeta, lo cual ocasiono el margen de error del orden del 85%. Otros factores también han influido en el porcentaje de error de este material como:

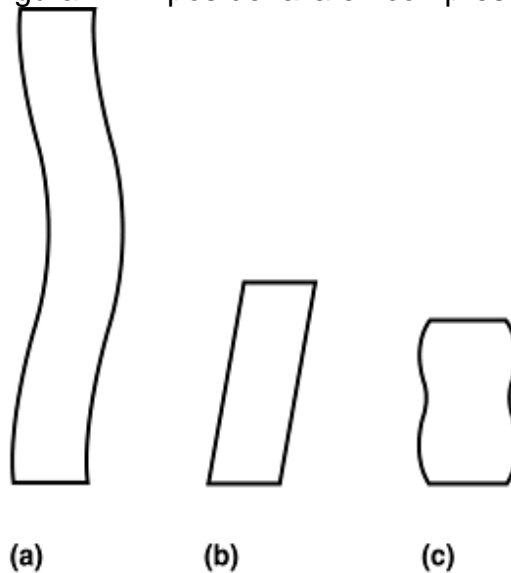
- Fallas en la fabricación de la probeta.
- Cambio de propiedades mecánicas al exponer el material a mecanizado.
- Falta de experticia del operador de la máquina.
- Temperatura y humedad relativa durante el ensayo.
- Precisión y sensibilidad de la máquina.

Imagen 41. Probetas finales aluminio y bronce



Fuente: elaboración propia

Figura 24. Tipos de falla en compresión



Fuente: ASM, Handbook, Uniaxial Compression Testing pag, 338

6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTAL VS ESPERADO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS

Considerando los ensayos experimentales realizados en la sección 4.4 del presente trabajo, en donde se evaluaron la resistencia a la tensión, de materiales cerámicos, mediante la ejecución del ensayo de compresión, según la ASTM C109¹⁰⁸, se buscara comparar los resultados que se obtuvieron con respecto a los datos proporcionados por la norma ASTM C150¹⁰⁹

6.6.1 Análisis de resultados para cemento portland tipo I y III en compresión.

Al igual que en el anterior análisis realizado en la sección 6.3.1. La pasta de cemento se compone de 2 estructuras principales las cuales son el gel de cemento y los capilares, el gel de cemento es la estructura que le proporciona rigidez a la pasta de cemento esta llamada gel de tobermorita y los capilares son los espacios ocupados por agua que se encuentran en el gel de cemento. Para este ensayo se utilizó una relación de agua/cemento de 0,4, la cual permite la formación de un gel de cemento continua lo cual indica que el agua que se utilizó para la mezcla se consumió toda en la hidratación de la pasta de cemento.

Para este ensayo se utilizó una edad de 1 día de envejecimiento para las probetas de cemento tipo I y III, no se utilizó otra edad de envejecimiento mayor debido a que se realizaron cálculos previos con los valores esperados y se llegó a la conclusión que en función de la capacidad de la máquina solo era posible utilizar esta edad para el cemento tipo III, sin poner en peligro la integridad de la máquina. En este tipo de ensayos es necesario aclarar que en la ficha técnica del material no se encuentra ningún valor correspondiente a ensayos de tensión. Por lo tanto se realizara una comparación entre los resultados encontrados en la norma ASTM C150¹¹⁰, en donde se enuncia y explica las especificaciones, composiciones y propiedades mecánicas para cementos portland, entre los cuales se encuentra los tratados en este proyecto. Ver Tabla 103.

Tabla 103. Comparación de esfuerzo de compresión experimental vs esperado.

Tipo de cemento	Módulo de elasticidad experimental		Módulo de elasticidad esperado		Error
-	Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
Cemento tipo III	12,82	MPa	12,00	MPa	6,83
Cemento tipo I	4,25	MPa	4,00	MPa	6,25

Fuente: elaboración propia

¹⁰⁸ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Strength Of Hydraulic Cement Mortars (using 2-in. Or [50-mm] Cube Specimens). C109. 16 ed. West Conshohocken.: Astm International, 2016. 10 p.

¹⁰⁹ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Specification For Portland Cement. C150/C150M. 19 ed. West Conshohocken.: Astm International, 2019. 10 p.

¹¹⁰ *Ibid.*, P.3.

Una vez obtenido el porcentaje de error el cual fue del 6% para los 2 casos, esto es muy bueno y confirma que el procedimiento que se utilizó para el desarrollo del ensayo fue el adecuado. Este resultado confirma que las variables que se utilizaron como rapidez del ensayo, relación de agua/cemento, temperatura y humedad relativa fueron las adecuadas para el desarrollo del proyecto.

6.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTAL VS ESPERADO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN EN MATERIALES METÁLICOS

Teniendo en cuenta los ensayos experimentales realizados en la sección 5.2 del presente trabajo, en donde se realizó el ensayo de flexión de 3 puntos en materiales metálicos, se buscara evaluar cualitativamente la superficie de las probetas, ya que este ensayo busca evaluar el ángulo al que el material falla al doblarse, según la ASTM E290¹¹¹.

6.7.1 Análisis de resultados para aluminio 7066 y 2024. Para tener una referencia con respecto a los resultados esperados para este ensayo se utilizó el artículo “Bending of reinforcing bars testing method and influence on structures”¹¹². En este artículo se utiliza la norma ASTM E290¹¹³, donde se usa para conocer el ángulo de doblado, radio de flexión y número y tamaño de grietas visibles en la superficie.

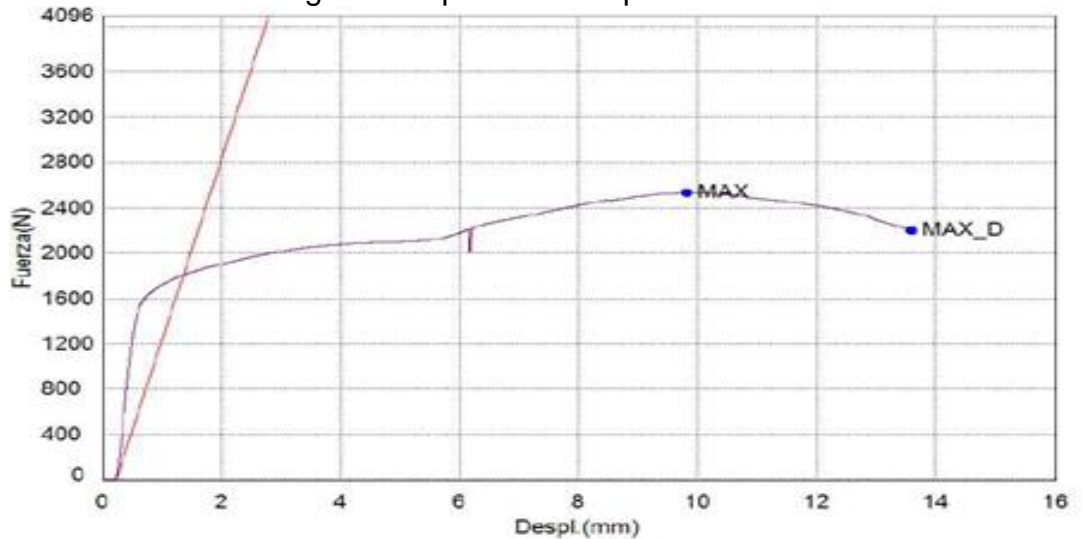
Para analizar el comportamiento del aluminio 2024 es necesario comparar la carga y deformación aplicada, ver Gráfica 26, con respecto a la aparición de grietas en la superficie de la probeta sabiendo que en la superficie la probeta se encuentra esfuerzos de tensión y en la matriz central se encuentra esfuerzos de compresión.

¹¹¹ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics. D638-14. 2014 ed. United States.: Astm International, 2014. 17 p.

¹¹² WARSIANTO, Hari. y NARAYUDHA, Moga. Bending Of Reinforcing Bars Testing Method And Influence On Structures. Tahum.: TekNik . 2008. 4p.

¹¹³ *Ibid.*,. P.1.

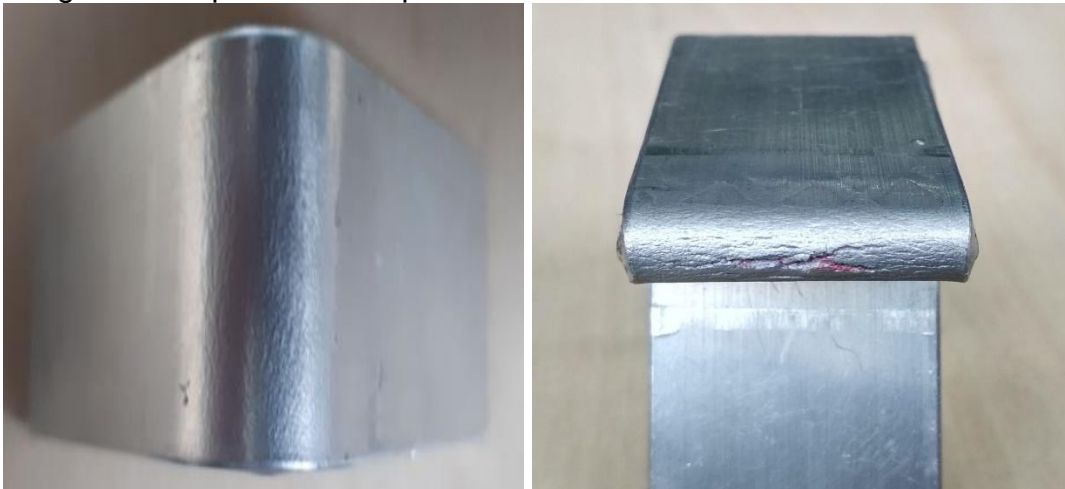
Gráfica 26. Curva carga vs desplazamiento probeta N° 1 aluminio 2024.



Fuente: elaboración propia

Al realizar el análisis con respecto a la superficie de la probeta y la carga aplicada no se identificaron grietas visibles en la superficie exterior de la muestra, esto obedece al comportamiento dúctil del material y de la presencia en su estructura de átomos de cobre que además de proporcionar ductilidad genera una buena resistencia a la fatiga. Ver Imagen 42. Se llegó a un ángulo de doblado de 110° .

Imagen 42. Superficie de la probeta N°1 Aluminio 2024



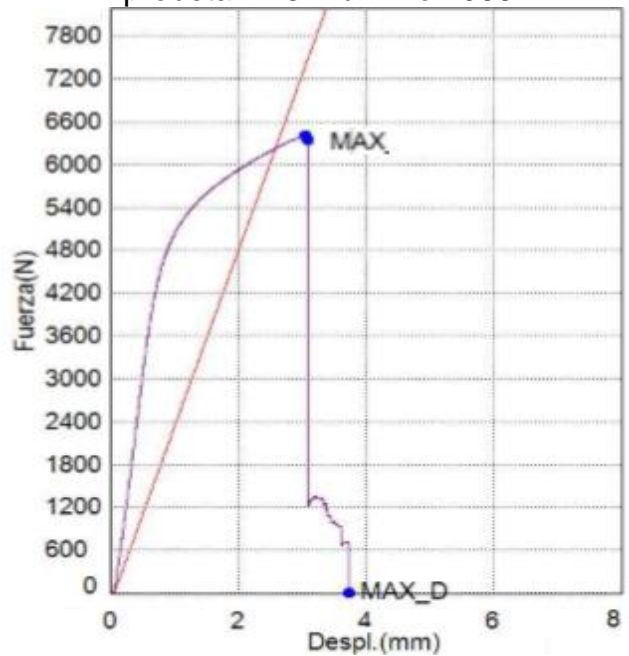
Fuente: elaboración propia

Debido a que el material no presentó irregularidades en su superficie se llevó a cabo la continuación del ensayo guiado mediante la ayuda de una prensa de banco y un punzón para guiar la probeta, al realizar el procedimiento adicional se evidenciaron

la presencia de una grieta a lo largo de la sección de doblado, cabe aclarar que el ángulo de doblado para alcanzar una grieta fue de 170° .

En el comportamiento del aluminio 7066, se evidencio una fractura dúctil del material, donde se puede observar una grieta en la sección transversal de la probeta, cuya forma es escalonada y lo cual evidencia la rigidez de este material y su cristalinidad. Con respecto a las propiedades del material se evidencia que es un aluminio que es susceptible a la fatiga, ver Grafica 27 e Imagen 43.

Gráfica 27. Curva carga vs desplazamiento probeta N° 3 Aluminio 7066



Fuente: elaboración propia

Imagen 43. Superficie de la probeta N°1 duraluminio



Fuente: elaboración propia

6.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTAL VS ESPERADO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN DE 3 PUNTOS EN MATERIALES PLÁSTICOS

Teniendo en cuenta los procesos experimentales realizados en el capítulo 5.3 del presente trabajo, en donde se evaluaron las propiedades mecánicas de 2 tipos de materiales plásticos, como lo son; PP11H y POLICARBONATO, mediante la ejecución del ensayo de flexión de 3 puntos, según la ASTM D790¹¹⁴, se buscara comparar los resultados que se obtuvieron con respecto a las fichas técnicas de cada uno de los materiales, ver Anexos E y F, de esta manera se evaluara el porcentaje de error y la varianza para estos 2 tipos de plásticos.

6.8.1 Análisis de resultados para el polipropileno 11H y el acrílico. La comparación de los resultados se hará cotejando el modulo secante del material experimental con respecto al esperado. Se utilizó el artículo "Estimación de parámetros elásticos para el cálculo de asentamientos inmediatos en suelos friccionantes y cohesivos"¹¹⁵, de guía para calcular el valor del módulo secante del material. Se utilizará la ecuación 25, para calcular el esfuerzo de flexión. Los resultados se encontraran en la Tabla 104.

Ecuación 26. Modulo secante

$$E_s = \frac{\Delta(\sigma)}{\Delta(\varepsilon_E)}$$

- E_s = Modulo secante [MPa]
- $\Delta \sigma$ = Delta de esfuerzo de flexión [MPa]
- $\Delta \varepsilon$ = Delta de deformación [mm/mm]

Fuente: CIVIL ENGINEERING, Software. Módulo Secante. [EN LÍNEA]. 2015. [Citado en 05 de Junio de 2019]. Disponible en internet: <https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/modulo-secante-del-suelo-es-01/>

¹¹⁵ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials1. D790 – 14. West Conshohocken.: ASTM International, 2017. 12 p.

Tabla 104. Resultados modulo secante

Muestra		Módulo secante	
Nº		Valor	Unidad
1		1.446,51	MPa
2		730,63	MPa
3		866,28	MPa
4		2.461,79	MPa
5		1.726,83	MPa
Valor medio		1446,41	MPa
Desviación estándar		744,87	MPa

Fuente: Elaboración propia

Una vez hallado los valores experimentales se realizara la comparación entre el modulo secante experimental con respecto al esperado. Ver Tabla 105.

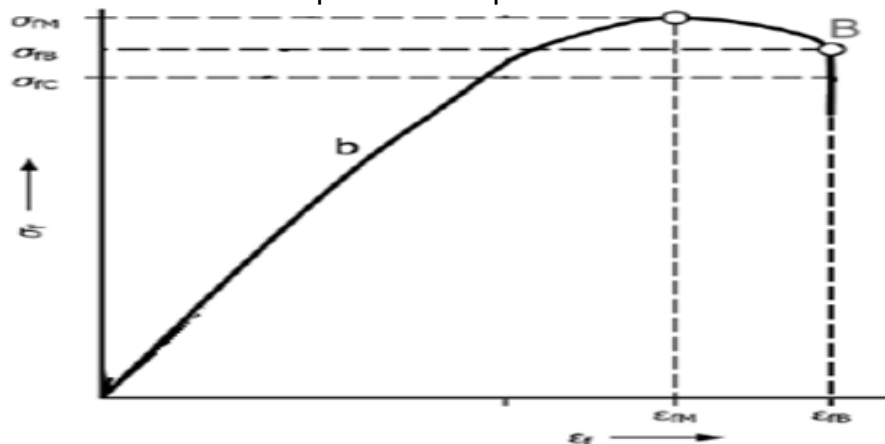
Tabla 105. Resultados módulo secante experimental vs esperado.

Módulo de elasticidad experimental		Módulo de elasticidad esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
1.446,41	MPa	1.500	MPa	3,57

Fuente: Elaboración propia.

Al comparar los módulos de elasticidad se encuentra un error del 3,57% y del 4,81% el cual indica que el ensayo fue satisfactorio. También podemos comparar el comportamiento de los ensayos con respecto a la norma ASTM D 790¹¹⁶, ver figura 1 y grafica 1. En donde la norma enuncia que la rotura del material debe ocurrir al 5% de la deformación. Al comparar los resultados encontrados podemos ver que estos se cumplieron a cabalidad y el comportamiento de la gráfica 28 y 29 con respecto a la figura 25 es similar y la rotura ocurre al 5% de la deformación.

Figura 25. Curva teórica de especímenes que fallan al 5% de la deformación.



Fuente: Elaboración propia

¹¹⁶ Ibid.,. P.5.

Para evaluar los resultados del policarbonato se tendrá en cuenta los valores experimentales hallados ver Tabla 106 y 107.

Tabla 106. Modulo secante experimental vs esperado.

Módulo de flexión experimental		Módulo de flexión esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
2.065,68	MPa	2.170,00	MPa	4,81

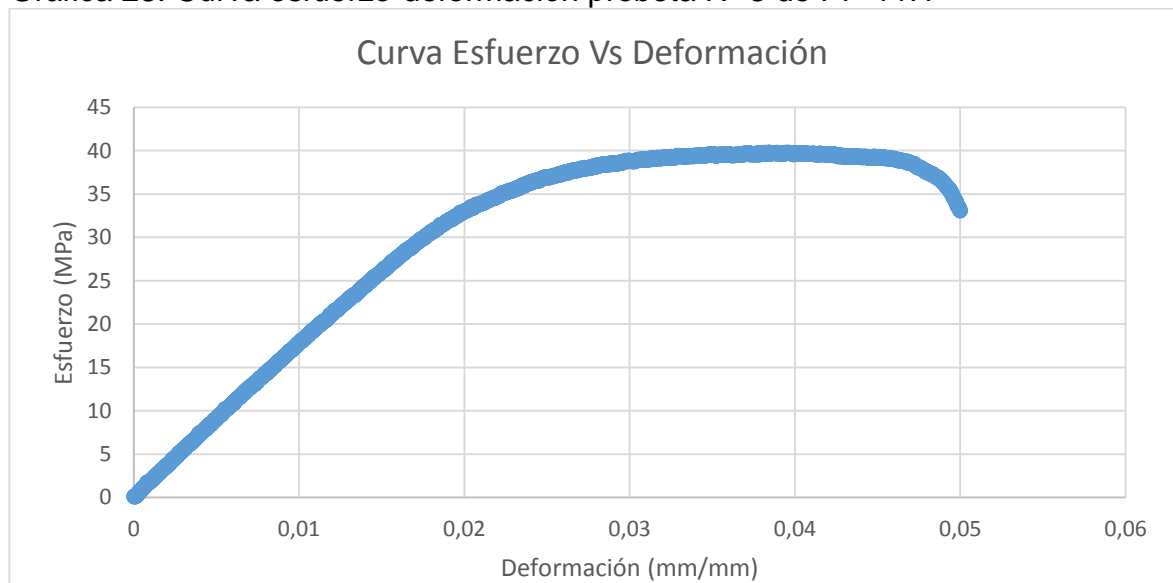
Fuente: elaboración propia

Tabla 107. Porcentaje de error esfuerzo de fluencia

Esfuerzo de flexión experimental		Esfuerzo de flexión esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
85,39	MPa	77,90	MPa	9,61

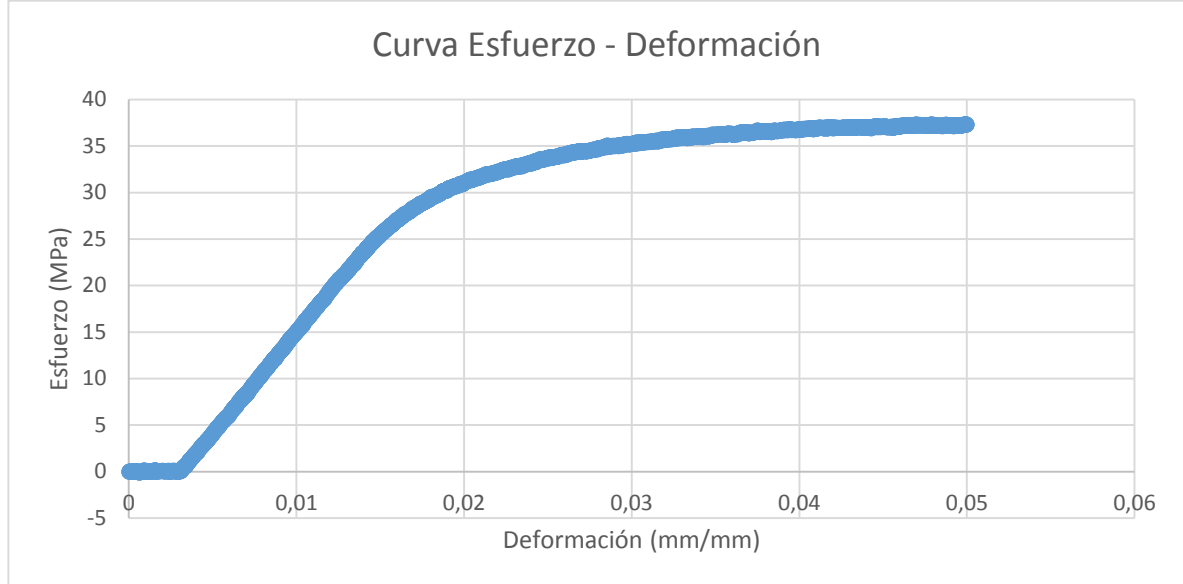
Fuente: elaboración propia

Gráfica 28. Curva esfuerzo-deformación probeta N° 3 de PP-11H



Fuente: elaboración propia

Gráfica 29. Curva esfuerzo- deformación N° 1 de Policarbonato



Fuente: elaboración propia

6.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS EXPERIMENTAL VS ESPERADO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN EN MATERIALES CERÁMICOS

Considerando los ensayos realizados en la sección 5.4 del presente trabajo en donde se evaluó la resistencia a la flexión, de materiales cerámicos donde se utilizó cemento tipo I y tipo III. Estos resultados se analizarán según la ASTM C349¹¹⁷

6.9.1 Análisis de resultados para el cemento tipo I y III. Para el análisis de este ensayo se tomara en cuenta que se utilizó una razón de agua/cemento de 0,3 y 0,4 y que la edad de envejecimiento para estos ensayos es de 1 día y 7 días. Es necesario mencionar que en la ficha técnica del material no se encuentran propiedades de flexión, por lo tanto se analizarán mediante el estudio “Mechanical Properties of Neat Cement Paste: Investigation of Correlation to Degree of Hydration and Water to Cement Ratios”¹¹⁸ en el cual se realizó el ensayo de flexión en pastas de cemento tipo I, los resultados se pueden observar en la Tabla 108.

¹¹⁷ AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Strength Of Hydraulic-cement Mortars (using Portions Of Prisms Broken In Flexure). ASTM C349 . 18 ed. West Conshohocken.: Astm International, 2018. 4 p.

¹¹⁸ Op.Cit., Walker. P.84.

Tabla 108. Porcentaje de error de esfuerzo de flexión de cemento tipo I

Esfuerzo de flexión experimental		Esfuerzo de flexión esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
4,3	MPa	3,28	MPa	31,10

Fuente: elaboración propia

Este porcentaje de error pudo haber sido causado, por una diversos factores como lo son; temperatura y humedad relativa a la hora de la prueba del ensayo, mezcla no homogénea del material, para el ensayo de tensión esperado se enuncio que se utilizó un punzón de 10mm de diámetro, mientras que el llevado a cabo experimentalmente es de 5 mm.

Para evaluar las propiedades del cemento tipo III se utilizara el artículo “The mechanical properties of Portland cement mortars blended with carbon nanotubes and nanosilica: A study by experimental design”¹¹⁹ aunque se utilizó una relación de agua cemento mayor de 0,5, se utilizó cemento portland tipo III. Los resultados se pueden observar en la Tabla 109.

Tabla 109. Porcentaje de error de esfuerzo de flexión de cemento tipo III.

Esfuerzo de flexión experimental		Esfuerzo de flexión esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
10,59	MPa	6,10	MPa	73,61

Fuente: elaboración propia

El porcentaje de error en el ensayo de flexión en pasta de cementos tipos III fue del 73%, cabe aclarar que el valor esperado encontrado para este ensayo fue hallado mediante una relación de agua/cemento de 0,5 mientras que la relación que se trabajó para experimentalmente fue de 0,4. Aunque el error fuera bastante alto es destacable mencionar que el factor de incremento de resistencia de la pasta de cemento con relación de 0,4 a 0,5 es de 1,4¹²⁰, por lo tanto sí se aplicara este factor de corrección al valor hallado teóricamente el error bajaría considerablemente ver Tabla 110.

¹¹⁹ MENDOZA, Oscar. y SIERRA, Gérman. The Mechanical Properties Of Portland Cement Mortars Blended With Carbon Nanotubes And Nanosilica: A Study By Experimental Design. Medellín.: Universidad Nacional De Colombia. 2016. 7p.

¹²⁰ ¹²⁰ GUTIERREZ, L. Diseño de Morteros. [EN LÍNEA]. 2009. [Citado en 27 de Mayo de 2019]. Disponible en internet: <www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf>

Tabla 110. Porcentaje de error corregido de esfuerzo de flexión en cemento tipo III.

Esfuerzo de flexión experimental		Esfuerzo de flexión esperado		Error
Valor medio	Unidad	Valor	Unidad	%
10,59	MPa	8,54	MPa	24,00

Fuente: elaboración propia

Ya obtenido el porcentaje de error corregido es importante mencionar que la calidad del ensayo, pudo haber sido afectada por condiciones ambientales y por problemas de mezclado al momento de fraguar la probeta.

7. REALIZAR EL ANÁLISIS FINANCIERO PARA CADA UNO DE LOS ENSAYOS

En este capítulo se determinara el valor de cada uno de los ensayos desarrollados durante el proyecto, teniendo en cuenta todos los costos unitarios de materiales, talento humano, instrumentos, fungibles y costos de producción que se necesitan para ejecutar cada ensayo. Para este proyecto se tienen unos costos fijos como lo son el talento humano, ver Tabla 111, y los costos de instrumentos ver Tabla 112. Los demás costos como lo son costos de materiales y costos de producción son independientes de cada ensayo.

Para este estudio de costos se tendrá en cuenta los siguientes supuestos:

- Impuesto de valor agregado (I.V.A), el cual para este año tiene un valor de 19%, cuyo valor ya se encuentra incluido.
- Costo de energía \$/kWh=528,21.¹²¹

Para los costos de talento humano se calculó el costo de la hora del profesor y del laboratorista encargado para desarrollar el ensayo.

Tabla 111. Costos de talento humano.

Ítems	Unidad	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Profesor encargado	H-H	\$20.000	2	\$40.000	Universidad
Laboratorista	H-H	\$ 7.000	2	\$14.000	Universidad
Total				\$	54.000

Fuente: elaboración propia

El costo de la energía que consume el equipo, se puede describir por la ecuación 26¹²². Una vez obtenido el resultado es necesario conocer los kWh que consume el equipo, se utiliza la ecuación 27¹²³.

Ecuación 27. Potencia de un motor trifásico.

$$W = I * V * \sqrt{3}$$

- W= Potencia [w]
- I= Corriente del equipo [A]

¹²¹ ENEL, Codensa. Tarifas De Energía Eléctrica (\$/kwh). [EN LÍNEA]. 2019. [Citado en 04 de Junio de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-codensa.html>>

¹²² ADKINS, William. Consumo De Energía De Un Motor Trifásico.. [EN LÍNEA]. 2019. [Citado en 04 de Junio de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.puomotores.com/13074290/como-calcularel-consumo-de-energia-de-un-motor-trifasico>>

¹²³ Ibid., P.2.

- V= Voltaje que consume el equipo [v]

$$W = 20A * 230v * \sqrt{3} = 7.967,43 w$$

Ecuación 28. Conversión de w a kWh

$$7.967,43 w * \frac{1kWh}{1.000w} = 7,967 kWh$$

Ya hallado el consumo energético del equipo, ya se puede obtener el costo de la energía que consume la máquina universal, la máquina debe estar encendida 2 horas por ensayo, ver Ecuación 28¹²⁴.

Ecuación 29. Conversión de kWh a \$/kWh

$$7,967 kWh * \frac{528,21\$}{kWh} = 4.208,25 \$ x 2horas = 8.416,50 \$$$

El costo de la energía se tendrá en cuenta la Tabla 112.

Tabla 112. Costos de instrumentos y energía.

Ítems	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Calibrador digital	\$ 21.199	1	\$ 21.199	Universidad
Prensa de banco	\$ 125.000	1	\$125.000	Universidad
Llaves Bristol	\$ 46.000	1	\$ 46.000	Universidad
Segueta	\$ 70.000	1	\$ 70.000	Universidad
Pesa electrónica	\$ 30.000	1	\$ 30.000	Universidad
Aceite 3 en 1	\$ 26.700	1	\$ 26.700	Universidad
Cronometro digital	\$ 24.900	1	\$ 24.900	Universidad
Paño limpiador	\$ 10.000	1	\$ 10.000	Universidad
Costo energía	\$ 8.416,50	1	\$ 8.417	Universidad
Total			\$	362.216

Fuente: elaboración propia

7.1 COSTO DEL ENSAYO DE TENSIÓN

Se realizaron 3 tipos de ensayos de tensión, por lo tanto es necesario conocer el costo del material para fabricar las probetas a ensayar y a su vez conocer el costo de producir cada probeta, se realizaron ensayos de tensión en materiales metálicos, plásticos y cerámicos.

¹²⁴ Ibid. P.4.

7.1.1 Costo del ensayo de tensión en materiales metálicos. Se tiene, en cuenta el valor del perfil cuadrado de acero 1020 y 1045, ver Tabla 113, y a su vez costo del proceso de mecanizado, ver Tabla 114, el costo final del ensayo se puede apreciar en la Tabla 115.

Tabla 113. Costo de materiales para el ensayo de tensión.

Ítems	Forma	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Acero 1020	Perfil cuadrado	\$ 30.000,00	1	\$30.000	Estudiante
Acero 1045	Perfil cuadrado	\$ 25.000,00	1	\$25.000	Estudiante
Total				\$	55.000

Fuente: elaboración propia

Tabla 114. Costo de producción de las probetas.

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Mecanizado por probeta	CNC	\$ 50.000,00	3	150.000,00	Estudiante
Total				\$	150.000

Fuente: elaboración propia

En el costo final del ensayo se tienen que tener en cuenta el costo de talento humano, instrumentos materiales y producción.

Tabla 115. Costo final del ensayo de tensión.

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material ensayo de tensión en materiales metálicos	\$ 55.000
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 150.000
Total	\$ 621.216

Fuente: elaboración propia

7.1.2 Costo del ensayo de tensión en materiales plásticos. El valor de los costos de los materiales corresponde al valor de las bolsas de peletizado de polietileno y polipropileno, ver Tabla 116, y a su vez costo del proceso de fabricación, ver Tabla 117, el costo final del ensayo se puede apreciar en la Tabla 118.

Tabla 116. Costo de materiales para el ensayo de tensión en plásticos

Ítems	Forma	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
LLD-300-2	Bolsa de 25 kg	\$ 52.500,00	1	\$ 52.500	Estudiante
PP-11H01A	Bolsa de 25 kg	\$ 50.600,00	1	\$ 50.600	Estudiante
Total				\$	103.100

Fuente: elaboración propia

Tabla 117. Costo de producción de las probetas.

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Inyección	Inyectora	\$ 1.000	10	\$ 10.000	Estudiante
Total				\$	10.000

Fuente: elaboración propia

Tabla 118. Costo total del ensayo de tensión en materiales plásticos

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material ensayo de tensión en plásticos	\$ 55.000
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 10.000
Total	\$ 481.216

Fuente: elaboración propia

7.1.3 Costo del ensayo de tensión en materiales cerámicos. Para este ensayo es necesario conocer el valor de la materia prima para elaborar las probetas, ver Tabla 119, a su vez los costos de material para fabricar el molde, ver Tabla 120, el costo de elaboración del molde que fue utilizado para fraguar las probetas, ver Tabla 121, y el costo del proceso para fundir la probeta, ver tabla 122. En la Tabla 123, se puede apreciar el costo total del ensayo.

Tabla 119. Costo de materiales para el ensayo de tensión en cerámicos

Ítems	Forma	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Cemento portland gris UG	Bulto 50 kg	\$ 20.700	1	\$ 20.700	Estudiante
Cemento portland gris ART	Bulto de 50 kg	\$ 25.900	1	\$ 25.900	Estudiante
Total				\$	46.600

Fuente: elaboración propia

Tabla 120. Costo de material de moldes ensayo de tensión en cerámicos

Ítems	Forma	Dimensión	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Madera de cedro	Listón	7x3x250cm	\$30.900	1	\$30.900	Estudiante
Tornillo para madera	Redondo	6mm x 1"	\$ 2.200	1	\$ 2.200	Estudiante
Total						\$ 33.100

Fuente: elaboración propia

Tabla 121. Costo de elaboración de molde de tensión en cerámico

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Corte	Caladora	\$ 20.000	1	\$ 20.000	Estudiante
Total					\$ 20.000

Fuente: elaboración propia

Tabla 122. Costo de producción de probeta tensión en cerámico

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Mezclado	N/A	\$ 6.000	9	\$ 54.000,00	Estudiante
Total					\$ 54.000

Fuente: elaboración propia

Tabla 123. Costo total del ensayo de tensión en cerámicos

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material de probetas	\$ 103.100
Costos de material de moldes	\$ 33.100
Costos de elaboración de moldes	\$ 20.000
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 54.000
Total	\$ 573.316

Fuente: elaboración propia

7.2 COSTO DEL ENSAYO DE COMPRESIÓN

Se realizaron 3 tipos de ensayos de compresión, donde la diferencia principal es el material que se trató en cada ensayo, se utilizó materiales metálicos, plásticos y cerámicos. Es necesario conocer el costo de cada uno de estos ensayos, donde se tendrá en cuenta el material para fabricar las probetas a ensayar y a su vez conocer el costo de producir cada probeta.

7.2.1 Costo del ensayo de compresión en materiales metálicos. Se tiene, en cuenta el valor de la barra de aluminio 2024 y del bronce fosforado, ver Tabla 124, y a su vez costo de producción, ver Tabla 125, el costo final del ensayo se puede apreciar en la Tabla 126.

Tabla 124. Costo de materiales para el ensayo de compresión en metales

Ítems	Forma	Dimensión	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Bronce fosforado	Barra	1/2" x 1m	\$53.200	1	\$ 53.200	Estudiante
Aluminio 2024	Barra	1/2" x 1m	\$10.000	1	\$ 10.000	Estudiante
Total						\$ 63.200

Fuente: elaboración propia

Tabla 125. Costo de producción de las probetas de compresión metálicas

Ítems	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Mecanizado por probeta	Torno	\$ 20.000	3	\$ 60.000	Estudiante
Total				\$ 60.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 126. Costo final del ensayo de compresión en metales.

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material ensayo de compresión en metales	\$ 63.200
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 60.000
Total	\$ 539.416

Fuente: elaboración propia

7.2.2 Costo del ensayo de tensión en materiales plásticos. El valor de los costos de los materiales corresponde al valor de las barras de plástico, ver Tabla 127, y a su vez costo del proceso de fabricación, ver Tabla 128, el costo final del ensayo se puede apreciar en la Tabla 129.

Tabla 127. Costo de materiales para el ensayo de compresión en plásticos

Ítems	Forma	Dimensión	\$/unidad	Cantidad	Total	F. Financiada
Nylon	Barra	1/2" x 1m	\$15.000	1	\$ 15.000	Estudiante
Teflón	Barra	1/2" x 1m	\$10.000	1	\$ 10.000	Estudiante
Total						\$ 25.000

Fuente: elaboración propia

Tabla 128. Costo de producción de las probetas de compresión metálicas

Ítems	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Mecanizado por probeta	Torno	\$ 10.000	6	\$ 60.000	Estudiante
Total					\$ 60.000

Fuente: elaboración propia

Tabla 129. Costo final del ensayo de compresión en plásticos.

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material ensayo de compresión en plásticos	\$ 25.000
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 60.000
Total	\$ 501.216

Fuente: elaboración propia

7.2.3 Costo del ensayo de compresión en materiales cerámicos. Es necesario conocer el valor de la materia prima para elaborar las probetas, ver Tabla 130, a su vez los costos de material para fabricar el molde, ver Tabla 131, el costo de elaboración del molde, que fue utilizado para fraguar las probetas, ver Tabla 132, y el costo del proceso para fundir la probeta, ver tabla 133. En la Tabla 134, se puede apreciar el costo total del ensayo.

Tabla 130. Costo de materiales para el ensayo de compresión en cerámicos

Ítems	Forma	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Cemento portland gris UG	Bulto 50 kg	\$ 20.700	1	\$ 20.700	Estudiante
Cemento portland gris ART	Bulto 50 kg	\$ 25.900	1	\$ 25.900	Estudiante
Total					\$ 46.600

Fuente: elaboración propia

Tabla 131. Costo de material de moldes ensayo de compresión en cerámicos

Ítems	Forma	Dimensión	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Lamina Cold roll	N/A	2"x1/4"x30"	\$ 5.000	2	\$ 10.000	Estudiante
Total					\$ 10.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 132. Costo de elaboración de molde de compresión en cerámico

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Corte	Pulidora	\$ 15.000	1	\$ 15.000	Estudiante
Total				\$ 15.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 133. Costo de producción de probeta compresión en cerámico

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Fraguado	N/A	\$ 6.000	3	\$ 18.000	Estudiante
Total				\$ 18.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 134. Costo final del ensayo de compresión en cerámicos

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material de probetas	\$ 103.100
Costos de material de moldes	\$ 10.000
Costos de elaboración de moldes	\$ 15.000
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 18.000
Total	\$ 537.316

Fuente: elaboración propia

7.3 COSTO DEL ENSAYO DE FLEXIÓN

Se realizaron 3 tipos de ensayos de flexión, por lo tanto, es necesario conocer el costo del material para fabricar las probetas a ensayar y a su vez conocer el costo de producir cada probeta, se realizaron ensayos de flexión en materiales metálicos, plásticos y cerámicos.

7.3.1 Costo del ensayo de flexión en materiales metálicos. Se tiene, en cuenta el valor del aluminio 2024 y 6063, ver Tabla 135, y a su vez costo de producción, ver Tabla 136, el costo final del ensayo se puede apreciar en la Tabla 137.

Tabla 135. Costo de materiales para el ensayo de flexión en metales

Ítems	Forma	Dimensión	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Aluminio 2024	Lamina	1m x 1m x 1/4"	\$35.000	1	\$ 35.000	Estudiante
Aluminio 6063	Lamina	1m x 1m x 1/4"	\$60.000	1	\$ 60.000	Estudiante
Total					\$ 95.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 136. Costo de producción de las probetas de flexión metálicas

Ítems	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Mecanizado por probeta	Fresa	\$ 15.000	6	\$ 90.000	Estudiante
Corte	sierra	\$ 5.000	6	\$ 30.000	Estudiante
Total				\$ 120.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 137. Costo total del ensayo de flexión en materiales metálicos

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material ensayo de flexión en metales	\$ 95.000
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 120.000
Total	\$ 631.216

Fuente: elaboración propia

7.3.2 Costo del ensayo de flexión en materiales plásticos. El valor de los costos de los materiales corresponde al valor de las láminas de plástico y de la bolsa de peletizado, ver Tabla 138, y a su vez costo del proceso de fabricación, ver Tabla 139, el costo final del ensayo se puede apreciar en la Tabla 140.

Tabla 138. Costo de materiales para el ensayo de flexión en plásticos.

Ítems	Forma	Dimensión	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Acrílico	Lamina	50x50x3mm	\$52.000	1	\$ 52.000	Estudiante
PP-11H01A	Bolsa de 25 kg	N/A	\$50.600	1	\$ 50.600	Estudiante
Total					\$ 102.600	

Fuente: elaboración propia

Tabla 139. Costo de producción de las probetas de flexión plásticas

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Inyección	Inyectora	\$ 1.000	5	\$ 5.000,00	Estudiante
Mecanizado por pieza	Fresa	\$ 5.000	5	\$ 25.000,00	Estudiante
Corte	Sierra	\$ 5.000	N/A	\$ 5.000,00	Estudiante
Total				\$ 35.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 140. Costo total del ensayo de flexión en materiales plásticos

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material ensayo de flexión en plásticos	\$ 55.000
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 35.000
Total	\$ 506.216

Fuente: elaboración propia

7.3.3 Costo del ensayo de flexión en materiales cerámicos. Es necesario conocer el valor de la materia prima para elaborar las probetas, ver Tabla 141, a su vez los costos de material para fabricar el molde, ver Tabla 142, el costo de elaboración del molde, que fue utilizado para fraguar las probetas, ver Tabla 143, y el costo del proceso para fundir la probeta, ver tabla 144. En la Tabla 145 se puede apreciar el costo total del ensayo.

Tabla 141. Costo de materiales para el ensayo de flexión en cerámicos

Ítems	Forma	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Cemento portland gris UG	Bulto 50 kg	\$ 20.700	1	\$ 20.700	Estudiante
Cemento portland gris ART	Bulto de 50 kg	\$ 25.900	1	\$ 25.900	Estudiante
Total				\$ 46.600	

Fuente: elaboración propia

Tabla 142. Costo de material de moldes ensayo de flexión en cerámicos

Ítems	Forma	Dimensión	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Lamina Cold roll	N/A	2"x1/4"x30"	\$ 5.000	2	\$ 10.000	Estudiante
Total					\$ 10.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 143. Costo de elaboración de molde de flexión en cerámico

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Corte	Pulidora	\$ 15.000	1	\$ 15.000	Estudiante
Total				\$ 15.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 144. Costo de producción de probeta flexión en cerámico

Proceso	Máquina	\$/unidad	Cantidad	Total	Fuente Financiada
Fraguado	N/A	\$ 6.000	9	\$ 54.000	Estudiante
Total				\$ 54.000	

Fuente: elaboración propia

Tabla 145. Costo total del ensayo de flexión en materiales cerámicos

Ítem	Valor
Costos de instrumentos	\$ 362.216
Costos de talento humano	\$ 54.000
Costos de material de probetas	\$ 46.600
Costos de material de moldes	\$ 10.000
Costos de elaboración de moldes	\$ 15.000
Costos de producción de probetas para tensión	\$ 54.000
Total	\$ 516.816

Fuente: elaboración propia

7.4 TARIFAS PARA CADA ENSAYO

En función de los accesorios que cuenta la máquina se realizó una estimación del costo de cada ensaya, sí en algún momento se quiere prestar el servicio para realizar alguno de los ensayos presentes en este documento sea a particulares o a estudiantes, se puede utilizar los precios sugeridos en la tabla 146, estos precios se concluyeron después de analizar, los precios actuales del mercado, como referencia se utilizaron los documentos “Lista de precios laboratorios 2019” de la universidad Javeriana, “Lista de precios unitarios de ensayos 2017” de la Universidad Eafit y “Tarifas de servicios de laboratorio 2018” de la compañía Echeverry Ingeniería y Ensayos S.A.S. Al comparar las condiciones en las que se presta en las instituciones anteriormente descritas a la situación actual en la que se encuentra la maquina universal de ensayos Shimadzu AGS-X de 50 kN de la Universidad de América, la cual no posee extensómetros, deflectómetros y compresómetros se realizó un ajuste con relación del 20% inferior para así, obtener un precio competitivo frente a otras instituciones que prestan el servicio.

Tabla 146. Tabla de tarifa sugerida para ensayos mecánicos en máquina universal Shimadzu AGS-X.

Ensayo	Norma de referencia	Muestras por ensayo	Valor (COP)
Ensayo de tensión en metálicos	ASTM E8-16	3	\$105,880
Ensayo de tensión en cerámicos	ASTM C307-18	1	\$32,320
Ensayo de tensión en plásticos	ASTM D638-14	5	\$80,246
Ensayo de compresión en polímeros	ASTM D695-15	5	\$258,847
Ensayo de compresión en metales	ASTM E9-89	1	\$339,200
Ensayo de compresión en cementos	ASTM C109-16	1	\$9,985
Ensayo de flexión en polímeros	ASTM D790-14	1	\$82,103
Ensayo de flexión en Metálicos	ASTM E290-14	1	\$98,543
Ensayo de flexión en cementos	ASTM C348-18	1	\$54,259

Fuente: elaboración propia

Para esta estimación de costos también es necesario mencionar que el valor del ensayo no incluye el costo día del operario o laboratorista.

8. CONCLUSIONES

- ✓ La caracterización de la máquina universal Shimadzu AGS-X permitió conocer los tipos de probetas que se pueden usar en esta máquina, materiales que se pueden probar de acuerdo a cada ensayo y tipos de ensayos que se pueden realizar en función de los accesorios que cuenta la máquina.
- ✓ Por medio de esta investigación se corroboró los comportamientos de los materiales metálicos que obedecen a la ley de Hook, tanto para materiales férreos y aleaciones no férreas.
- ✓ En consecuencia, de los análisis realizados a los materiales plásticos durante esta investigación se llegó a concluir que el carácter viscoelástico de estos materiales influye en las propiedades mecánicas de los polímeros ya que estas propiedades cambian de acuerdo a la temperatura, humedad y ciclos de carga a los que se someta una muestra.
- ✓ Al estudiar la pasta de cemento y realizar los 3 ensayos fundamentales con este material, se evidenció que su resistencia está influenciada por la cantidad de agua con la que se fragüe. Por lo tanto, a mayor cantidad de agua en su estructura, menor resistencia va a poseer. Asimismo, se puede concluir que la mejor forma de trabajar un material cerámico es sometiéndolo a esfuerzos de compresión.
- ✓ Fue satisfactorio utilizar las normas ASTM para fabricar, desarrollar y evaluar los diferentes materiales que se usaron para caracterizar la máquina, esto se evidencio en los resultados obtenidos para cada uno de los materiales.
- ✓ La precisión y calidad de los ensayos desarrollados se vio afectada por la falta de accesorios complementarios para leer las deformaciones tanto longitudinales y transversales de los especímenes de prueba, ya que la máquina al no poseer estos complementos es susceptible a que los datos recopilados durante una prueba sean de poca precisión y se alejen de los valores esperados de las muestras.
- ✓ Los procedimientos anexos como “Toe Compensation” utilizados a lo largo de esta investigación ayudaron a mejorar la calidad de datos experimentales recopilados, ya que omiten esfuerzos y deformaciones que no ocurren y son tomados como datos verdaderos por la máquina universal.
- ✓ Los porcentajes de error más bajos encontrados en los análisis de datos realizados fueron con respecto a los materiales plásticos, esto se debe a que son materiales blandos que pudieron ser evaluados sin necesitar de un accesorio adicional.

9. RECOMENDACIONES

- ✓ En función de la capacidad de la máquina universal la cual es de 50kN, se recomienda al realizar el ensayo de tensión en materiales metálicos, utilizar aceros con bajo contenido de carbono y con secciones transversales delgadas.
- ✓ Al realizar el ensayo de compresión en materiales metálicos se recomienda el uso de aleaciones no férreas ya que los aceros debido a su gran resistencia a la compresión, rigidez y esbeltez no podrán ser evaluados.
- ✓ Se sugiere la compra de los accesorios complementarios para la máquina universal como lo son; extensómetros, compresómetros y deflectómetros para registrar las deformaciones verdaderas en el momento de realizar cualquier ensayo, para así mejorar la calidad de los datos recopilados y que se asemejen a los datos esperados, especialmente al evaluar materiales metálicos.
- ✓ Para complementar la formación de los estudiantes de Ingeniería de la Universidad de América se sugiere la compra de una máquina inyectora de plástico, complementando el área de materiales y procesos. De esta manera se pudiesen fabricar probetas de diferentes formas y materiales.
- ✓ Se recomienda para futuros proyectos realizar una caracterización de materiales compuestos, aleaciones no férreas, elastómeros entre otros. Para complementar lo hallado en este proyecto.

BIBLIOGRAFIA

ADKINS, William. Consumo De Energía De Un Motor Trifásico.. [EN LÍNEA]. 2019. [Citado en 04 de Junio de 2019]. Disponible en internet: <https://www.puromotores.com/13074290/como-calculiar-el-consumo-de-energia-de-un-motor-trifasico>

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods And Definitions For Mechanical Testing Of Steel Products. A370 – 12A. United States.: Astm International, 2012. 48 p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS.. Standard Practice For Mechanical Mixing Of Hydraulic Cement Pastes And Mortars Of Plastic Consistency. C305. 14 ed. West Conshohocken Pa.: Astm International, 2014. 3 p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Tensile Strength Of Chemical-resistant Mortar, Grouts, And Monolithic Surfacing. C307. 18 ed. West Conshohocken Pa.: Astm International, 2018. 10 p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Flexural Strength Of Hydraulic-cement Mortars. C348. 18 ed. West Conshohocken.: Astm International,

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Practice For Conditioning Plastics For Testing. D618-13. West Conshohocken.: Astm International, 2013. 4 p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Tensile Properties Of Plastics. D638-14. 2014 ed. United States.: Astm International, 2014. 17 p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods For Flexural Properties Of Unreinforced And Reinforced Plastics And Electrical Insulating Materials. D790 . 17 ed. United States.: Astm International, 2017. 12 p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Method For Compressive Properties Of Rigid Plastics. ASTM D695-15. West Conshohocken.: Astm International, 2015. 8p.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS.. Standard Practices For Force Verification Of Testing Machines. ASTM E4 -16. United States.2016.

AMERICAN SOCIETY OF TESTING MATERIALS. Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials. E8/E8M. 13 ed. United States.: ASTM International, 2013. 28 p.

ASTM. Standard Test Methods Of Compression Testing Of Metallic Materials At Room Temperature. E9-89A. 2000 ed. : American National Standard, 7 p.

BEER, Ferdinand. y JOHNSTON, Rusell. Mecánica De Materiales. 3 ed. [s.l.] : Mc Graw Hill, 2001. 50 p.

BEJARANO, Edwin. Ensayo De Flexion. [EN LINEA]. Universidad Distrital. [Citado en 19 de Octubre de 2018]. Disponible en internet: <<http://udistrital.edu.co:8080/documents/19625/239908/ENSAYO+DE+FLEXION.pdf?version=1.0.>>

BROOKS, Charlie. y CHOUDHURY, Ashok. Failure Analysis of Engineering Materials. Tensile Test, Chapter. McGraw-Hill Professional, 2002, Access Engineering.

ELAPLAS Polipropileno (PP). [EN LÍNEA]. 1. 2016. [Citado en 09 de mayo de 2019]. Disponible en internet: <http://www.elaplas.es/materiales/plasticos-tecnicos/polipropileno-pp/>

ENEL, Codensa. Tarifas De Energía Eléctrica (\$/kwh). [EN LÍNEA]. 2019. [Citado en 04 de Junio de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.enel.com.co/es/personas/tarifas-energia-enel-codensa.html>>

GUERMES, Alfredo. y MARTIN, Nuria. Ciencia De Materiales Para Ingenieros. Materiales Poliméricos. Madrid. Pearson, 2012. 427 p.

GUTIERREZ, L. Diseño de Morteros. [EN LÍNEA]. 2009. [Citado en 27 de Mayo de 2019]. Disponible en internet: www.bdigital.unal.edu.co/6167/17/9589322824_Parte5.pdf

IMAZ, Roberto. Fundamentos Experimentales De La Resistencia De Materiales. Santander, España.: Universidad De Cantabria. 2016. 10p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C.: El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

MAK, Thai. Universal Testing Machine Working Principle. [EN LÍNEA]. 2018-12-01. [Citado en 2 de Febrero de 2019]. Disponible en internet: <http://www.qc-test.com/news/universal-testing-machine-working-principle-43664.html>

MENDOZA, Oscar. y SIERRA, Gérman. The Mechanical Properties Of Portland Cement Mortars Blended With Carbon Nanotubes And Nanosilica: A Study By Experimental Design. Medellín.: Universidad Nacional De Colombia. 2016. 7p.

QUIMINET, Características Y Aplicaciones Del Polietileno De Baja Densidad (LLDPE). [EN LÍNEA]. 1. 2012. [Citado en 09 de 04 de 2019]. Disponible en internet: <<https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-del-polietileno-de-baja-densidad-LLDPE-2663472.htm>>

RAGHAVENDRA, N.V. Krishnamurthy, L. (2013). Engineering Metrology and Measurements - 14.3.3 Proving Rings. (pp. 346). Oxford University Press.

RUTH, Earl. Tinius Olsen, The History Of Mechanical Testing. [EN LINEA]. 2012. [Citado en 1 de Febrero de 2019]. Disponible en internet: <https://www.tiniusolsen.com/our-coMPany/history>

SHIMADZU CORPORATION, AGS-X Series. [EN LINEA]. 2015. [Citado en 2 de Febrero de 2019]. Disponible en internet: <https://www.Shimadzu.com/an/test/universal/AGS-X/AGS-X.html>

WARSIANTO, Hari. y NARAYUDHA, Moga. Bending Of Reinforcing Bars Testing Method And Influence On Structures. Tahum.: TekNik . 2008. 4p.

ANEXOS

ANEXO A. FICHA TÉCNICA ACERO 1020

ACERO SAE 1020

DIN	CK - 20
UNI	C - 20
AFNOR	XC - 20
SAE	1020

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

Acero al carbono que puede utilizarse en estado cementado, templado y revenido o simplemente en estado calibrado. Por su contenido de carbono estos aceros se utilizan para la fabricación de piezas estructurales o de maquinaria de mediana resistencia con una gran tenacidad. Es fácilmente soldable con soplete ó al arco.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.18 0.23	0.3 0.6	0.04	0.05	0.15 0.3

Estado de suministro: Recocido
Dureza de suministro: 150 - 190 HB

PROPIEDADES MECÁNICAS

Estado de suministro	Resistencia a la tracción MPa	Límite elástico MPa	Alargamiento %	Reducción de área %	Dureza Brinell aprox.
Laminado en caliente	441	196	25	45	140 / 180
Normalizado	490 - 588	343	30	55	150
Recocido	441 - 539	294	35	60	130 / 150
Calibrado	539 - 686	441	10	35	180 / 220
Cementado, templado y rev.	686 - 833	441	15	45	-----

ANEXO B. FICHA TÉCNICA NYLON

Technical Data Sheet for Nylon 66 Rod, Sheet & Tube

ERTALON[®] 66 SA



theplasticshop.co.uk[®]

PRODUCT DATA SHEET

Material with a higher mechanical strength, stiffness, heat and wear resistance than Ertalon 6 SA. It also has a better creep resistance but its impact strength and mechanical damping ability is reduced. Well suited for machining on automatic lathes.

Please note that the Ertalon 66 SA natural rods over dia. 150 mm are made from a modified polyamide 66 resin (Ertalon 66 SA-C).

Physical properties (indicative values *)

PROPERTIES	Test methods	Units	VALUES
Colour	-	-	natural (cream) black
Density	ISO 1183-1	g/cm ³	1.14
Water absorption:			
- after 24/96 h immersion in water of 23 °C (1)	ISO 62	mg	40 / 76
	ISO 62	%	0.60 / 1.13
- at saturation in air of 23 °C / 50 % RH	-	%	2.4
- at saturation in water of 23 °C	-	%	8
Thermal Properties (2)			
Melting temperature (DSC, 10 °C/min)	ISO 11357-1-3	°C	260
Glass transition temperature (DSC, 20 °C/min) - (3)	ISO 11357-1-2	°C	-
Thermal conductivity at 23 °C	-	W/(K.m)	0.28
Coefficient of linear thermal expansion:			
- average value between 23 and 60 °C	-	m/(m.K)	80 x 10 ⁻⁶
- average value between 23 and 100 °C	-	m/(m.K)	95 x 10 ⁻⁶
Temperature of deflection under load:			
- method A: 1.8 MPa	+ ISO 75-11-2	°C	85
Max. allowable service temperature in air:			
- for short periods (4)	-	°C	180
- continuously - for 5,000 / 20,000 h (5)	-	°C	95 / 80
Min. service temperature (6)	-	°C	-30
Flammability (7):			
- "Oxygen Index"	ISO 4589-1-2	%	26
- according to UL 94 (3 / 6 mm thickness)	-	-	HB / HB
Mechanical Properties at 23 °C (8)			
Tension test (9):			
- tensile stress at yield / tensile stress at break (10)	+ ISO 527-11-2	MPa	90 / -
	++ ISO 527-11-2	MPa	55 / -
- tensile strength (10)	+ ISO 527-11-2	MPa	93
- tensile strain at yield (10)	+ ISO 527-11-2	%	5
- tensile strain at break (10)	+ ISO 527-11-2	%	50
	++ ISO 527-11-2	%	> 100
- tensile modulus of elasticity (11)	+ ISO 527-11-2	MPa	3550
	++ ISO 527-11-2	MPa	1700
Compression test (12):			
- compressive stress at 1 / 2 / 5 % nominal strain (11)	+ ISO 604	MPa	32 / 62 / 100
Charpy impact strength - Unnotched (13)	+ ISO 179-1/1eU	kJ/m ²	no break
Charpy impact strength - Notched	+ ISO 179-1/1eA	kJ/m ²	4.5
Ball indentation hardness (14)	+ ISO 2039-1	N/mm ²	160
Rockwell hardness (14)	+ ISO 2039-2	-	M 88

Legend:

- + : values referring to dry material
- ++ : values referring to material in equilibrium with the standard atmosphere 23 °C / 50 % RH (mostly derived from literature)

- (1) According to method 1 of ISO 62 and done on discs Ø 50 mm x 3 mm.
- (2) The figures given for these properties are for the most part derived from raw material supplier data and other publications.
- (3) Values for this property are only given here for amorphous materials and not for semi-crystalline ones.
- (4) Only for short time exposure (a few hours) in applications where no or only a very low load is applied to the material.
- (5) Temperature resistance over a period of 5,000/20,000 hours. After these periods of time, there is a decrease in tensile strength - measured at 23 °C - of about 50 % as compared with the original value. The temperature values given here are thus based on the thermo-oxidative degradation which takes place and causes a reduction in properties. Note, however, that the maximum allowable service temperature depends in many cases essentially on the duration and the magnitude of the mechanical stresses to which the material is subjected.
- (6) Impact strength decreasing with decreasing temperature, the minimum allowable service temperature is practically mainly determined by the extent to which the material is subjected to impact. The value given here is based on unfavourable impact conditions and may consequently not be considered as being the absolute practical limit.
- (7) These estimated ratings, derived from raw material supplier data and other publications, are not intended to reflect hazards presented by the material under actual fire conditions. There is no 'UL File Number' available for Ertalon 66 SA stock shapes.
- (8) The figures given for the properties of dry material (+) are for the most part average values of tests run on test specimens machined out of rods Ø 40 - 60 mm. Except for the hardness tests, the test specimens were then taken from an area mid between centre and outside diameter, with their length in longitudinal direction of the rod (parallel to the extrusion direction).
- (9) Test specimens: Type 1B
- (10) Test speed: 50 mm/min [chosen acc. to ISO 10350-1 as a function of the ductile behaviour of the material (tough or brittle)]
- (11) Test speed: 1 mm/min
- (12) Test specimens: cylinders Ø 8 mm x 16 mm
- (13) Pendulum used: 4 J
- (14) Measured on 10 mm thick test specimens (discs) mid between

version: January 20, 2011

ANEXO C. FICHA TÉCNICA TEFLÓN



TEFLON

PolyTetraFluoroEthylene is a fluorocarbon-based polymer and is commonly abbreviated PTFE. The Teflon® brand of PTFE is manufactured only by DuPont. Several other manufacturers make their own brands of PTFE which can often be used as substitute materials. This fluoroplastic family offers high chemical resistance, low and high temperature capability, resistance to weathering, low friction, electrical and thermal insulation, and "slipperiness". (see also Teflon® PTFE and Teflon® FEP & PFA Specifications) PTFE's mechanical properties are low compared to other plastics, but its properties remain at a useful level over a wide temperature range of of -100°F to +400°F (-73°C to 204°C). Mechanical properties are often enhanced by adding fillers (see paragraph below). It has excellent thermal and electrical insulation properties and a low coefficient of friction. PTFE is very dense and cannot be melt processed – it must be compressed and sintered to form useful shapes.

FILLED GRADES

PTFE's mechanical properties can be enhanced by adding fillers such as glass fibers, carbon, graphite, molybdenum disulphide, and bronze. Generally, filled PTFE's maintain their excellent chemical and high temperature characteristics, while fillers improve mechanical strength, stability, and wear resistance. The properties of 25% glass-filled and 25% carbon-filled PTFE grades are shown below for comparison purposes. There are literally dozens of different filled PTFE products and grades – too many to be listed here. Please contact Boedeker Plastics for more information about other filled PTFE products for your application.

TYPICAL PROPERTIES of PTFE

ASTM or UL test	Property	PTFE (unfilled)	PTFE (25% glass filled)	PTFE (25% carbon filled)
PHYSICAL				
D792	Density (lb/in ³)	0.078	0.081	0.075
	(g/cm ³)	2.16	2.25	2.08
D570	Water Absorption, 24 hrs (%)	< 0.01	0.02	0.05
MECHANICAL				
D638	Tensile Strength (psi)	3,900	2,100	1,900
D638	Tensile Modulus (psi)	80,000	-	-
D638	Tensile Elongation at Break (%)	300	270	75
D790	Flexural Strength (psi)	No break	1,950	2,300
D790	Flexural Modulus (psi)	72,000	190,000	160,000
D695	Compressive Strength (psi)	3,500	1,000	1,700
D695	Compressive Modulus (psi)	70,000	110,000	87,000
D785	Hardness, Shore D	D50	D60	D62
D256	IZOD Notched Impact (ft-lb/in)	3.5	-	-
THERMAL				
D696	Coefficient of Linear Thermal Expansion (x 10 ⁴ in./in./°F)	7.5	6.4	6
D648	Heat Deflection Temp (°F / °C) at 264 psi	132 / 55	150 / 65	150 / 65
D3418	Melting Temp (°F / °C)	635 / 335	635 / 335	635 / 335
-	Max Operating Temp (°F / °C)	500 / 260	500 / 260	500 / 260
C177	Thermal Conductivity (BTU-in/ft ² -hr-°F) (x 10 ⁴ cal/cm-sec-°C)	1.7	3.1	4.5
UL94	Flammability Rating	V-O	V-O	V-O
ELECTRICAL				
D149	Dielectric Strength (V/ml) short time, 1/8" thick	285	-	-
D150	Dielectric Constant at 1 MHz	2.1	2.4	-
D150	Dissipation Factor at 1 MHz	< 0.0002	0.05	-
D257	Volume Resistivity (ohm-cm)at 50% RH	> 10 ¹⁸	> 10 ¹⁸	104

ANEXO D.
FICHA TÉCNICA ALUMINIO

PROMECOL LTDA.		ALUMINIO									
COMPOSICIÓN QUÍMICA:										ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO PRODUCTO: PERFILES DE EXTRUSIÓN	
ALEACIÓN	% Si	% Fe	% Cu	% Mn	% Mg	% Cr	% Ti	% Zn	otros	% Al	
6061	0.4 - 0.8	0.70	0.150.40	0.15	0.8 - 1.2	0.040 0.35	0.15	0.25	0.05	remanen	
6063	0.20 - 0.6	0.35	0.10	0.10	0.45 - 0.9	0.10	0.10	0.10	0.05	remanen	
6261	0.40 - 0.7	0.4	0.150.40	0.2 - 0.35	0.7 - 1.0	0.10	0.10	0.20	0.05	remanen	
PROPIEDADES MECÁNICAS											
ALEACION Y TEMPLE	DIAMETRO O ESPE. mm	AREA Mm2	RESIS. A LA TRAC. (psi) MIN	LIM ELAST. MIN (psi)	% ELONG. EN 50mm. MIN						
6061 O	todos	todos	Max. 22000	16000	16						
6061 T6	Hasta 6.32	todos	38000	35000	8						
	>6.33	todos	38000	35000	10						
6063 O	todos	todos	Max 19000	-----	18						
6063 T4	Hasta 12.7	todos	19000	10000	14						
	12.7 a 25.4	todos	18000	9000	14						
6063 T5	Hasta 12.7	todos	22000	16000	8						
	12.7 a 25.4	todos	21000	15000	8						
6063 T6	Hasta 3.15	todos	30000	25000	8						
	3.15 a 15.4	todos	30000	25000	10						
6261 T6	todos	todos	38000	35000	10						

Colabora con el cliente en el desarrollo de sus necesidades recomendado el perfil adecuado para cada uso específico. Cualquier diseño nuevo solicitado por el cliente es estudiado y puesto en consideración por la empresa para dar su aprobación de su fabricación.

El espesor mínimo de pared que produce la empresa es 1 mm, no obstante se debe consultar con las plantas los casos especiales.

El valor de dureza superficial para los productos fabricados con la aleación 6061 T6 es 13 a 16 Webster B; aleación 6063 T5 es 7 a 12 Webster B; aleación 6063 T6 es 13 a 14 Webster B y aleación 6261 T6 es 13 a 16 Webster B.

La aleación 6061 y 6261 se utiliza generalmente para perfiles de uso estructural y la aleación 6063 se utiliza para perfiles de uso arquitectónico y uso general. Teniendo en cuenta consideraciones de funcionalidad la empresa clasifica los temple T5 (envejecimiento artificial) para la aleación 6063 así:

T5D – Temple de doblaz (dureza Webster B 7 a 9) y – T5R – Temple rígido (dureza Webster B 9 – 12).

El diámetro circunscrito máximo fabricado es de 127 mm. En todo caso los que excedan 102 mm deben consultarse con la planta.

La razón mínima de extrusión es 10 y la razón máxima recomendada es 85.

La razón de extrusión está definida como la relación entre el área seccional del tocho y el área de perfil a extruir.

En los alambres el diámetro mínimo extrusionado es de 6.35 mm y el diámetro máximo es 10.16mm.

La longitud estándar de los perfiles es de 6000 mm. Sin embargo se puede fabricar perfilera hasta 9000 mm, previa consulta a la planta indicando el número del troquel y el temple solicitado.



ALUMINIO

CARACTERISTICAS MECÁNICAS:

Coefficiente de Poisson: 0.34
Módulo de Elasticidad: 6.900 Kg/mm²
Módulo de Torsión: 2.700 Kg/mm²

PROPIEDADES	ALUMINIO	ACERO	ACERO INOX.	COBRE	PLOMO	ZINC	NIQUEL
Densidad a 20 °C	2.7	7.8	7.9	8.9	11.3	7.1	8.8
Temperatura de fusión °C	658	1.450	1.425	1.083	327	419	1.455
Coefficiente de dilatación lineal entre 20 y 100 °C	23 X 10 ⁻⁶	12 X 10 ⁻⁶	12 X 10 ⁻⁶	16 X 10 ⁻⁶	29 X 10 ⁻⁶	39 X 10 ⁻⁶	13 X 10 ⁻⁶
Color específico Cal/g °C a 20°C	0.28	0.10	0.12	0.09	0.03	0.09	0.11
Conductividad térmica Cal cm/cm ² Seg °C a 20°C	0.52	0.11	0.04	0.92	0.08	0.27	0.23
Resistividad eléctrica ohm. Mm ² /m a 20°C	0.03	0.11	0.70	0.02	0.21	0.06	0.07
Módulo de elasticidad Kg/mm ²	6.900	20.400	19.600	11.200	1.600	8.400	21.000

ANEXO E.
FICHA TÉCNICA POLICARBONATO



Physical Property Data
PC Alloy
Polycarbonate

PROPERTIES	ASTM TEST METHOD	UNITS	PC ALLOY
			YS-10
MECHANICAL			
Tensile Strength	D-638	Psi MPa	9,000 62.0
Ultimate Elongation	D-638	%	150
Flexural Modulus of Elasticity	D-790	Psi MPa	315,000 2170
Flexural Strength	D-790	Psi MPa	11,300 77.9
Izod Impact Strength 1/8" Thickness Notched @ 73F(23C)	D-256	ftlb/in J/m	14 747
Rockwell Hardness	D-785	M Scale	70
THERMAL			
Heat Deflection Temperature @264 Psi @1.82 MPa	D-648	F C	253 123
@66 Psi @0.45 MPa	D-648	F C	280 138
MISCELLANEOUS			
Moisture Absorption 24 Hour Immersion	D-570	%	0.020
Specific Gravity	D-792	-	1.22
Mold Shrinkage	D-955	%	0.6
Melt Index @300C/1200g	D-1238	g/10 min	-

*Available in lubricated and release grades

**Other Melt Flow grades available

ANEXO F. FICHA TÉCNICA POLIPROPILENO



July, 2014

TECHNICAL DATA SHEET

Type:	Homopolymer
Product Name:	ESENTTIA 11H01A

Characteristics: Medium melt flow rate Homopolymer polypropylene with good impact/stiffness balance, with antistatic additive.


Recommended for: Injection molding of rigid articles, closures, general purpose injection molding applications.

Property	English Units	SI Units	ASTM Test
Melt Flow Index (230 °C - 2.16 Kg.)	13.2 g/10min.	13.2 g/10min.	D-1238 B
Tensile yield strength (50 mm/min.)	5100.0 psi	35.16 MPa	D-638
Tensile yield elongation (50 mm/min.)	9.0 %	9.0 %	D-638
Flexural modulus 1% secant (1.3 mm/min.)	220000.0 psi	1516.8 MPa	D-790-1A
Notched Izod Impact strength (23 °C/73 °F)	0.75 ft-lb/in	40.03 J/M	D-256-A

@ Type I specimen, 3.2 mm thick injected according with ASTM D 4101 09 method. Values shown are averages and should be taken as a guide and not to be interpreted as product specifications. Only the properties and values mentioned on the Certificate of Quality are considered as guarantee of the product. These values may shift as additional data are accumulated; ESENTTIA shall not be under a duty to notify you any changes to the specifications, therefore we advise the receiver to ask for a new declaration periodically.

Polietileno & Masterbatch.

ANEXO G.
FICHA TÉCNICA BRONCE FOSFORADO

		BRONCE FOSFORADO COMÚN		
COMPOSICIÓN QUÍMICA	Cu	Pb	Sn	Zn
	84%	7%	2%	7%
PROPIEDADES MECÁNICAS				
PARA FUNDICIÓN EN GENERAL				
Resistencia a la tracción	(TYP): 35 KSI			
Resistencia a la deformación permanente	(TYP): 16 KSI			
Elongación	(TYP): 25 KSI			
Dureza Brinell	(TYP): 50 -60			
Maquinabilidad	(YB-100): 90			
Densidad	8.8			
USOS TÍPICOS: Bronce de uso general de muy facil mecanizado; para piezas que requieren una resisitencia mecanica media y buena maquinabilidad tales Como componentes de bombas, accesorios para aire, gas y agua, accesorios para plomeria, valvulas de baja presion y sus partes, herrajes en general.				

ANEXO H. FICHA TÉCNICA POLIETILENO

ACCUCOMP™ LD0109L

Polietileno de baja densidad

A. Schulman Inc.

PROSPECTOR®

www.ulprospector.com

Technical Data

Product Description

ACCUCOMP™ LD0109L es un producto Polietileno de baja densidad. Puede está disponible en Norteamérica.

General

Material Status	• Comercial: Activo
Documentación ¹	• Technical Datasheet
Búsqueda por Tarjeta amarilla UL	• A. Schulman Inc.
Availability	• Norteamérica
Features	• Densidad baja
Forms	• Pellets

Physical	Valor Típico Unidad	Método de Ensayo
Density / Specific Gravity	0,920 g/cm ³	ASTM D792
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (190°C/2,16 kg)	50 g/10 min	ASTM D1238
Molding Shrinkage - Flujo	1,6 %	ASTM D955
Mechanical	Valor Típico Unidad	Método de Ensayo
Tensile Modulus	320 MPa	ASTM D638
Tensile Strength		ASTM D638
Punto de Fluencia	10,0 MPa	
Rotura	8,00 MPa	
Tensile Elongation		ASTM D638
Punto de Fluencia	27 %	
Rotura	110 %	
Flexural Modulus	300 MPa	ASTM D790
Flexural Strength	9,00 MPa	ASTM D790
Impact	Valor Típico Unidad	Método de Ensayo
Notched Izod Impact	Sin rotura	ASTM D256
Hardness	Valor Típico Unidad	Método de Ensayo
Rockwell Hardness (Escala R)	40	ASTM D785
Thermal	Valor Típico Unidad	Método de Ensayo
Deflection Temperature Under Load		ASTM D648
0,45 MPa, No recocido	45,0 °C	

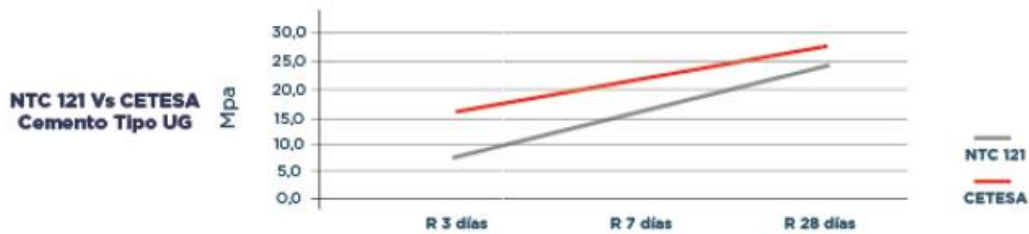
ANEXO I. FICHA TÉCNICA CEMENTO TIPO I

Especificaciones Técnicas

1 Información de reporte de Calidad de Producto “Diagramada” Aclarando que la información es el resultado del último año de muestreo.

REQUISITOS FÍSICOS-MÉCANICOS	MÉTODO DE ENSAYO	NTC 121	CEMENTOS TEQUENDAMA S.A.S
Finura Blaine, m ² /kg	NTC 33	-	-
Finura Retenido Sobre Tamiz. %	NTC 294	-	-
Cambio de longitud por autoclave. %	NTC 107	Máximo 0,80	0,80
Tiempo de fraguado inicial. Minutos	NTC 118	No menos de 45 No más de 420	45 450
Expansión de barra de mortero 14 días. %	NTC 4927	Máximo 0,020	0,020
Contenido de aire en volumen de mortero. %	NTC 224	Máximo 12	12
Resistencia a la compresión, a 1 día, MPa	NTC 220	-	-
Resistencia a la compresión, a 3 días, MPa		Mínimo 8,0	16,0
Resistencia a la compresión, a 7 días, MPa		Mínimo 15,0	21,0
Resistencia a la compresión, a 28 días, MPa		Mínimo 24,0	28,0

2 Datos técnicos. “generales de todos los Cementos”



ANEXO J. FICHA TÉCNICA ACERO 104

ACERO SAE 1045

DIN CK - 45
UNI C - 45
AFNOR XC - 45
SAE 1045

CARACTERÍSTICAS DE EMPLEO

SAE 1045 es un acero grado ingeniería de aplicación universal que proporciona un nivel medio de resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo con respecto a los aceros de baja aleación. Frecuentemente se utiliza para elementos endurecidos a la llama ó por inducción. Este acero puede ser usado en condiciones de suministro: laminado en caliente o con tratamiento térmico (templado en aceite y revenido; ó templado en agua y revenido).

SAE 1045 es un acero de baja templabilidad que puede ser endurecido totalmente en espesores delgados por temple en agua. En secciones más gruesas se puede obtener un endurecimiento parcial de la sección de la pieza y el incremento de la resistencia será proporcional a la capa o espesor endurecido, al ser deformado en frío se presenta un incremento en la dureza y la resistencia mecánica.

COMPOSICION QUÍMICA	C %	Mn %	P máx. %	S máx. %	Si máx. %
Análisis típico en %	0.43	0.6	0.04	0.05	0.2
	0.50	0.9			0.4

Estado de suministro: Recocido

Dureza de suministro: 160 - 200 Brinell

PROPIEDADES FÍSICAS

Estos valores son obtenidos a partir de probetas bajo condiciones específicas de laboratorio y deben ser usados como referencia.

- Densidad → 7.85 gr/cm³.
- Módulo de elasticidad → 2 x 10¹¹ Pa (24 x 10⁶ PSI).
- Conductividad térmica → 52 W/(m·°C).
- Calor específico J/(Kg·K) → 460
- Coeficiente de Poisson → 0,3
- Resistividad eléctrica (microhm-cm):
a 32°F = 16.2
a 212°F = 22.3
- Coeficiente de dilatación térmica / °C
(20 - 100°C) 12.3 x 10⁻⁶
(20 - 200°C) 12.7 x 10⁻⁶
(20 - 400°C) 13.7 x 10⁻⁶

PROPIEDADES TÍPICAS A TEMPERATURA AMBIENTE SIN ENDURECIMIENTO

Diámetro de la barra: 12 a 38 mm

Propiedad	Laminado en caliente	Normalizado	Recocido
Resistencia a la tracción MPa	655	655	620
Punto de fluencia MPa	413	413	379
% de elongación	23	23	26
% de reducción de área	44	45	53
Dureza brinell (3000 kg.)	190	190	180

ANEXO K. FICHA TÉCNICA CEMENTO TIPO III



CEMENTO HIDRAULICO TIPO ART ALTA RESISTENCIA TEMPRANA

1. Condiciones de almacenamiento adecuado:

- Se debe almacenar el cemento en Silos.
- Los Silos deben ser herméticos y sin ningún tipo de perforaciones o filtraciones.
- Deben estar separados del piso por lo menos 1,00 metros de la válvula para evitar contacto con la humedad del suelo.
- El tiempo de almacenamiento máximo es de 2 meses, pero es aconsejable que no supere el mes y medio.
- Se debe hacer un mantenimiento preventivo a los silos, así, desocuparlos cada 12 semanas por completo para limpiarlo internamente, y cada 24 semanas un mantenimiento general.
- Al momento de la recepción del Camión granelero (Pipas, Cisternas), verificar la Remisión que lo acompaña y los sellos de seguridad ubicados en válvulas y compuertas.
- La ubicación de los Silos debe ser estratégica. Debe cumplir con: Fácil acceso por parte de los camiones graneleros; cimentación calculada evitando la alteración de ésta por el peso de los camiones.
- Controlar la presurización del cemento en el Momento del descargue teniendo despejados los dispositivos de ventilación y los ductos de desfogue.
- Los filtros del silo que se usan para captar el polvo en el momento de descargue deben ser inspeccionados periódicamente.

2. Manipulación:

- Para el traslado del cemento a granel se debe tener en cuenta que éste siempre se transporta en vehículos debidamente adaptados para tal fin, los cuales se conocen como Camión granelero (Pipas, Cisternas).
- Cuando se descargue el cemento se realiza por medio de un equipo neumático y se debe almacenar en Silos con un estricto cuidado, según recomendaciones de almacenamiento.

3. Manual de uso:

- Este producto, debe usarse bajo la supervisión de un profesional en la construcción y ser aplicado por una persona Experta, debidamente certificada en la elaboración de mezclas con base en cemento.
- Para su correcto funcionamiento en mezclas de concreto, se deben atender todas las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana NTC 3318 "Producción de concreto" del ICONTEC.
- Para su correcto funcionamiento, en mezclas de mortero se deben atender todas las recomendaciones de la Norma Técnica Colombiana 3329 "Especificaciones del mortero en unidades de mampostería" del ICONTEC.
- Las Normas Técnicas Colombianas, están disponibles para consulta en el Instituto Colombiano de Normas Técnicas. ICONTEC.
- Para su uso en la construcción de estructuras, se debe cumplir con los requerimientos del código Colombiano de Construcciones Sismo resistentes, (Decreto 925 del 19 de marzo de 2010, NRS de 2010 y supervisado por un profesional de la construcción.
- Deben utilizarse agregados de alta calidad, libres de arcilla e impurezas en los tamaños adecuados (bien gradados) y que cumplan con las normas Según su uso.
- Debe utilizarse una superficie limpia y no absorbente para realizar la mezcla.

- Mezclar los agregados y el cemento en seco, en las proporciones adecuadas hasta conseguir una mezcla homogénea.
- Mezclar con la mínima cantidad necesaria de agua limpia para obtener el asentamiento o la fluidez requerida.
- Una vez sacado del silo, se debe utilizar inmediatamente.
- Este producto debe ser utilizado dentro del periodo de 60 días.
- Los cementos alterados por envejecimiento, humedad, contaminación, etc. producen concreto y maneras con problemas en su aplicación y desempeño.
- Este producto no se debe usar si presenta grumos.

4. Precauciones:

- Se debe evitar el contacto prolongado con la piel, evite el contacto con los ojos, en caso de contacto con los ojos lave con agua abundante y solicite asistencia médica inmediata.
- No se debe aspirar, no es un producto comestible. En caso de ingerir solicite asistencia médica inmediata.
- Es indispensable el uso de guantes, botas de látex, gafas de protección para los ojos y mascarilla protectora para su manipulación.
- El uso de este producto sin las debidas medidas protección (como las indicadas), puede producir efectos nocivos para la salud.
- Mantener fuera del alcance de los niños.



5. Composición:

Este producto contiene: Clinker Portland, adiciones calcáreas y sulfato de calcio. Puede contener cemento reprocesado.

COMPOSICIÓN / INFORMACIÓN DE LOS INGREDIENTES

COMPONENTES	PORCENTAJE EN PESO	NÚMERO CAS	ACGIH TLV-TWA (mg/m3)	EFFECTOS CRÍTICOS A LA SALUD
Clinker	50 - 95	65997-15-1	1	Puede causar irritación de los ojos, nariz, garganta y tracto respiratorio, quemaduras, dermatitis y resecaedad en la piel.
Caliza (Adiciones Calcáreas)	0 - 20	471-34-1	10	
Sulfato de Calcio	10	13397-24-5	10	
Puzolanas Naturales y Artificiales	0 - 30	N.A.	N.A.	

Fuente: Hoja de datos de seguridad de cemento OD.CC.05

6. Garantía de Producto:

Este es un producto perecedero. De conformidad con lo establecido por la ley 1430 de 2011, el término de la garantía legal se extenderá, como máximo, 2 meses, correspondiente a la fecha de vencimiento o expiración. La garantía legal no aplica y queda sin efectos, si se realiza un uso indebido del cemento. Se entiende por uso indebido el no seguir las condiciones y recomendaciones descritas en este documento, que el producto se utilice después de la fecha de vencimiento y/o que el cemento sea re-empacado. En todo caso, la garantía legal descrita, expirará en el momento en que el cemento se mezcle con cualquier otra sustancia.

Para cualquier reclamación, se requiere que el consumidor acredite de forma satisfactoria y suficiente, un comprobante y las condiciones de adquisición del producto y presente copia de este documento y una muestra que contenga parte del producto objeto de reclamación. En caso de no contar con lo anterior, el consumidor deberá presentar pruebas adecuadas y suficientes de que el producto es de Cementos Tequendama S.A.S., así como de la fecha y condiciones de adquisición del mismo.

La fecha de vencimiento es de 60 días a partir de la fecha de despacho.

ANEXO L.
FICHA TÉCNICA ALUMINIO 7066



PRODAX

Características.

Es una aleación de Aluminio de alta Resistencia, laminado en caliente, que se entrega en placas tratadas térmicamente. Las mismas son sometidas a una operación especial de estiramiento en frío para el máximo alivio de tensiones. Dado su alta resistencia y buena estabilidad se ha convertido en un material ampliamente utilizado en la industria de moldes y matrices.

Posee las siguientes características, que lo hacen apropiado para distintos tipos de herramientas, especialmente moldes para plásticos:

- **Excelente Mecanizado**

Altas velocidades de corte, tiempos de mecanizados reducidos, menos costo de herramental, entregas más rápidas.

- **Bajo peso**

Aproximadamente la tercera parte del peso del acero, hace el manejo del herramental más fácil y sencillo. Su baja inercia hace posible acelerar el tiempo de cierre y apertura de los moldes.

- **Alta conductividad térmica**

Se reduce el tiempo de los ciclos y se pueden utilizar sistemas de enfriamiento menos complicados.

- **Buena Estabilidad**

La operación especial de alivio de tensiones garantiza una deformación mínima durante y luego del mecanizado.


- **Buena resistencia a la corrosión**

Buena resistencia contra todos los plásticos utilizados habitualmente. Apropiado para tratamientos superficiales. Es adecuado para realizar anodizado duro, cromado duro o níquelado, para incrementar su dureza, resistencia al desgaste y resistencia a la corrosión.

Aplicaciones.

Las propiedades y características que ofrece PRODAX lo hace un material ideal para prototipos y para el moldeo de series cortas o medianas. La considerable reducción en los tiempos de preparación de un molde, el menor costo del herramental y los ciclos más cortos, significan valiosos ahorros tanto para el fabricante del molde, como para el usuario final.

Categoría del herramental	Prototipos	Series cortas	Series mediana	Series largas
Moldes de Soplado	X	X	X	X
Formado al vacío	X	X	X	X
Moldeado de espuma	X	X	X	
Moldes de inyección de termoplástico	X	X		
Molde de Goma	X	X		
Placas contenedores y apoyo, guías y sujetadores				

 **Propiedades.**

MECANICAS	
Limite Elástico Rp0,2	390-490 Mpa
Carga de Rotura Rm	480-540 Mpa
Elongación	2-6
Dureza HBW	130-160

FISICAS	
Densidad g/cm ³	2.8

**ANEXO M.
PARAMETRIZACION DE MATERIALES PARA SHIMADZU AGS-X**

En función de los accesorios y de la capacidad de la máquina, asegúrese que el material a ensayar no tenga un esfuerzo superior al que se indica en el cuadro 1, dependiendo del ensayo. Tenga en cuenta que la carga máxima de la máquina es de 50 kN y que si el área transversal es mayor a la descrita en la tabla inferior calcule el nuevo esfuerzo máximo.

Cuadro 1. Tabla de esfuerzos permisibles para cada ensayo.

Norma	Ensayo	Material	Tipo de probeta	Área transversal		Carga		Esfuerzo máximo de material a ensayar	
				Valor	Unidad	Valor	Unidad	Valor	Unidad
ASTM E8	Tensión	Metal	Plana	12.50	mm ²	50000	N	4000	MPa
	Tensión	Metal	Cilindrica	12.57	mm ²	50000	N	4000	MPa
ASTM E9	Compresión	Metal	Cilindrica	122.72	mm ²	50000	N	407.4	MPa
ASTM E290	Flexión	Metal	Plana	76.20	mm ²	50000	N	656.1	MPa
ASTM C307	Tensión	Cerámico	Briqueta	645.16	mm ²	50000	N	77.50	MPa
ASTM C109	Compresión	Cerámico	Cubo	2500	mm ²	50000	N	20	MPa
ASTM C348	Flexión	Cerámico	Vigueta	1600	mm ²	50000	N	31.25	MPa

Fuente: elaboración propia

Es necesario aclarar que en función de la capacidad de la máquina y de las propiedades de los plásticos, se puede utilizar la gran mayoría de plásticos, ya que su rango de esfuerzos se encuentra entre los 5-190 MPa, para ensayos de tensión, compresión y flexión.