

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA



MAESTRÍA EN MECÁNICA
(COHORTE 2017)

TEMA:

**“ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN MECÁNICA DE ALUMINIO 1060 CON
PORCENTAJES CONTROLADOS EN PESO DE ZINC Y SU INCIDENCIA
EN LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN, DUREZA E IMPACTO”**

Trabajo de Titulación

Previa a la obtención del Grado Académico de Magíster en Mecánica Mención
Diseño

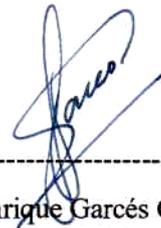
Autor: Ing. Giovanni Vinicio Pineda Silva
Director: Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg.

Ambato- Ecuador

2019

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

El tribunal receptor del Trabajo de Titulación presidido por el Ing. Juan Enrique Garcés Chávez, Mg., e integrado por los señores: Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg. e Ing. María Belén Paredes Robalino, Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN MECÁNICA DE ALUMINIO 1060 CON PORCENTAJES CONTROLADOS EN PESO DE ZINC Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN, DUREZA E IMPACTO”, elaborado y presentado por el señor: Ing. Giovanni Vinicio Pineda Silva, para optar por el Grado Académico de Magíster en Mecánica mención Diseño; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Juan Enrique Garcés Chávez, Mg.
Presidente del Tribunal



Ing. Alex Santiago Mayorga Pardo, Mg.
Miembro del Tribunal



Ing. María Belén Paredes Robalino, Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

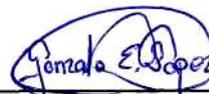
La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN MECÁNICA DE ALUMINIO 1060 CON PORCENTAJES CONTROLADOS EN PESO DE ZINC Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN, DUREZA E IMPACTO”, le corresponde exclusivamente al: Ing. Giovanni Vinicio Pineda Silva, Autor bajo la Dirección del Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís, Mg., Director del Trabajo de Titulación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Giovanni Vinicio Pineda Silva

CC: 1804062147

AUTOR



Ing. Gonzalo Eduardo López Villacís Mg.

CC: 1803100898

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de esta, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ing. Giovanny Vinicio Pineda Silva
CC: 1804062147

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a Dios por darme la oportunidad de seguir avanzando en mi formación profesional, y de manera muy especial a esas personitas que alegran mi vida, mis preciosos y adorados hijos Cristina Estefanía y Giovanni Alejandro.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los docentes del programa de Posgrado quienes compartieron sus conocimientos y experiencias útiles para mi formación académica integral, de manera especial al Ing. Gonzalo López, quien colaboró con el desarrollo de este proyecto, demostrando ser un gran profesional y amigo.

A mis padres y esposa, quienes brindaron su apoyo para la consecución de este nuevo logro académico.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
ANEXOS	XIX
RESUMEN EJECUTIVO	XX
SUMMARY	XXI
CAPÍTULO 1	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	1
1.2.1 Contextualización.....	1
1.2.2 Análisis crítico	3
1.2.3 Prognosis	4
1.2.4 Formulación del problema	4
1.2.5 Preguntas directrices	4
1.2.6 Delimitación del problema.....	5
1.2.6.1 Delimitación de contenidos.....	5
1.2.6.2 Delimitación espacial	5
1.2.6.3 Delimitación temporal.....	5
1.3 Justificación.....	5
1.4 Objetivos	6
1.4.1 General	6
1.4.2 Específicos	6
CAPÍTULO 2	7
2.1 Antecedentes Investigativos.....	7
2.2 Fundamentación teórica	9
2.2.1 Procesos de fabricación de aleaciones	9
2.2.1.1 Proceso de fusión	9
2.2.1.2 Proceso de electrólisis	10
2.2.1.3 Proceso de compresión.....	10

2.2.2 Pulvimetalurgia	10
2.2.2.1 Producción de polvos metálicos.....	12
2.2.2.2 Atomización	12
2.2.2.3 Procesos químicos.....	13
2.2.2.4 Procesos electrolíticos.....	14
2.2.2.5 Procesos de molienda.....	14
2.2.3 Aleación mecánica	16
2.2.3.1 Producción de polvo.....	17
2.2.3.2 Proceso de tamizado.....	19
2.2.3.3 Proceso de mezclado de los elementos aleantes	19
2.2.3.4 Proceso de conformado	20
2.2.3.5 Proceso de sinterizado.....	22
2.2.4 Ingeniería de Materiales.....	23
2.2.4.1 Ensayo de tensión.....	23
2.2.4.2 Probeta ensayo de tensión	25
2.2.4.3 Máquina de ensayos universal - Deformímetro	25
2.2.4.4 Ensayo de dureza.....	26
2.2.4.5 Ensayo de impacto	27
2.2.5 Propiedades mecánicas.....	28
2.2.5.1 Fluencia y límite elástico	28
2.2.5.2 Resistencia última a la tensión	29
2.2.5.3 Módulo de Elasticidad.....	29
2.2.5.4 Dureza	30
2.2.6 Características de los elementos aleantes.....	31
2.2.6.1 Aluminio 1060	31
2.2.6.2 Zinc	31
2.3 Fundamentación Filosófica	32
2.4 Fundamentación legal	32
2.5 Categorías fundamentales	32
2.6 Hipótesis.....	33
2.7 Señalamiento de variables.....	33

2.7.1 Variable independiente.....	33
2.7.2 Variable dependiente.....	33
2.7.3 Término de relación	33
CAPÍTULO 3	34
3.1 Enfoque	34
3.2 Modalidad Básica de la investigación.....	34
3.2.1 Experimental	34
3.2.2 Bibliográfico	34
3.3 Nivel o tipo de investigación.....	34
3.3.1 Exploratorio.....	34
3.3.2 Descriptivo	35
3.3.3 Asociación de variables.....	35
3.4 Población y muestra	35
3.4.1 Población.....	35
3.4.2 Muestra.....	35
3.5 Operacionalización de variables	37
3.5.1 Variable Independiente	37
3.5.2 Variable Dependiente.....	38
3.6 Recolección de la información.....	39
3.7 Procesamiento y análisis	40
CAPÍTULO 4	41
4.1 Análisis de los resultados	41
4.1.1 Cálculo de la masa de materiales base y aleante	43
4.1.1.1 Masa de las probetas para el ensayo de tracción.....	43
4.1.1.2 Masa de las probetas para el ensayo de impacto.....	46
4.1.1.3 Masa total requerida de los materiales base y aleante.....	47
4.1.2 Adquisición de materia prima	48
4.1.2.1 Adquisición del Aluminio 1060	48
4.1.2.2 Adquisición de zinc.....	48
4.1.3 Obtención de polvo de Zinc	49
4.1.4 Tamizaje de los polvos metálicos	49

4.1.5 Forma de partículas polvo metálico	50
4.1.6 Mezclado de polvos.....	51
4.1.7 Proceso de Compactación	51
4.1.8 Proceso de Sinterización	52
4.1.9 Control de calidad y dimensional de las probetas obtenidas.....	53
4.1.10 Codificación de probetas.....	54
4.2 Interpretación de los resultados.....	55
4.2.1 Resultados Ensayos	55
4.2.1.1 Resultados Ensayo de Dureza	55
4.2.1.2 Resultados Ensayo de Tracción	62
4.2.1.3 Resultados Ensayo de Impacto.....	68
4.2.2 Análisis comparativo de los resultados obtenidos	74
4.2.2.1 Análisis comparativo – Ensayo de Dureza.....	74
4.2.2.2 Análisis Comparativo – Ensayo de Tracción.....	75
4.2.2.3 Análisis Comparativo – Ensayo de Impacto	77
4.3 Verificación de la hipótesis.....	78
4.3.1 Verificación de la hipótesis – Dureza	81
4.3.2 Verificación de la hipótesis – Límite de Fluencia.....	82
4.3.3 Verificación de la hipótesis – Resistencia a la Tracción.....	83
4.3.4 Verificación de la hipótesis – Energía de Impacto.....	84
CAPÍTULO 5	85
5.1 Conclusiones	85
5.2 Recomendaciones.....	88
CAPÍTULO 6.....	90
6.1 Datos informativos	90
6.1.1 Título.....	90
6.1.2 Beneficiario	90
6.1.3 Equipo Técnico Responsable	90
6.2 Antecedentes de la propuesta	90
6.3 Justificación.....	90
6.4 Objetivos	91

6.4.1 Objetivo General	91
6.4.2 Objetivos Específicos.....	91
6.5 Análisis de factibilidad.....	91
6.6 Fundamentación	92
6.6.1 Esfuerzos en elementos mecánicos	92
6.6.1.1 Esfuerzo normal	92
6.6.1.2 Esfuerzo cortante directo.....	93
6.6.1.3 Esfuerzo cortante por torsión	94
6.6.2 Diseño de elementos mecánicos sometidos a carga estática.....	95
6.6.2.1 Teoría del esfuerzo cortante máximo (ECM)– material dúctil	95
6.6.2.2 Teoría de la energía de distorsión (ED)– material dúctil	96
6.6.2.3 Teoría de Mohr Coulomb (CMD) – material dúctil.....	97
6.6.2.4 Teoría del esfuerzo normal máximo (ENM) – material frágil	98
6.6.2.5 Teoría de Mohr frágil (CMF) y Mohr modificada (MM)– material frágil	99
6.6.3 Fatiga.....	100
6.6.4 Límite de Resistencia a la Fatiga	101
6.6.5 Resistencia a la Fatiga.....	102
6.6.6 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.....	103
6.6.6.1 Factor de superficie ka	104
6.6.6.2 Factor de tamaño kb	104
6.6.6.3 Factor de carga kc	105
6.6.6.4 Factor de temperatura kd	105
Esta ecuación es válida en el intervalo $70 \leq TF \leq 1000^\circ\text{F}$	105
6.6.6.5 Factor de confiabilidad ke	105
6.6.6.6 Factor de efectos varios kf	106
6.6.7 Diseño de elementos mecánicos sometidos a carga dinámica	106
6.7 Metodología	108
6.7.1 Parámetros de operación dirigibles	108
6.7.2 Análisis y cálculo de fuerzas sobre los pasadores.....	108
6.7.2.1 Fuerzas plano vertical	109
6.7.2.2 Fuerzas plano horizontal	115

6.7.3 Diseño a carga estática	119
6.7.4 Diseño a carga dinámica	122
6.7.5 Simulación diseño a carga estática.....	126
6.8 Administración.....	131
6.8.1 Costos directos	131
6.8.2 Costos indirectos	131
6.8.3 Costos Total	132
6.9 Previsión de la evaluación.....	133
Referencias Bibliográficas	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Laboratorio de materiales IMDEA.....	1
Figura 1.2	Instalaciones Laboratorio de Procesos de Manufactura – ETAL.....	2
Figura 2.1	Imágenes SEM de muestras consolidadas a) Cu puro b) Cu-10Ni-40Zr.....	7
Figura 2.2	Probetas para ensayo de tracción de la aleación Aluminio – Babbitt 23.....	8
Figura 2.3	a) Proceso de fusión. b) Molde en arena.....	9
Figura 2.4	Proceso de electrólisis.....	10
Figura 2.5	Elementos fabricados con procesos de pulvimetalurgia.....	11
Figura 2.6	Métodos de producción de polvo metálico por atomización (a) y (b) métodos de atomización por gas, (c) atomización por agua (d) atomización centrífuga por el método del disco rotativo.....	12
Figura 2.7	Polvo de hierro obtenido por procesos químicos.....	13
Figura 2.8	Molino de bolas de alta energía Emax.....	14
Figura 2.9	Molino de bolas planetario Emax.....	15
Figura 2.10	Molino de bolas vibratorio.....	16
Figura 2.11	Molino de rodillos.....	16
Figura 2.12	Formas de partícula de polvo.....	17
Figura 2.13	Tamaño de partícula a) 88-105 um b) 44-53 um c) 20-25 um.....	18
Figura 2.14	Tamiz vibratorio.....	19
Figura 2.15	Ciclo de compactación de polvo metálico.....	21
Figura 2.16	Secuencia del desarrollo de elementos por aleación mecánica.....	22
Figura 2.17	Diagrama de fase Al-Zn.....	23
Figura 2.18	Curva esfuerzo – deformación.....	24
Figura 2.19	Probeta para prueba de tensión no mecanizada plana estándar para productos de pulvimetalurgia.....	25
Figura 2.20	Máquina de ensayos universal.....	26
Figura 2.21	a) Deformímetro análogo b) Deformímetro digital.....	26
Figura 2.22	Ensayo de dureza a) fuerza aplicada b) diámetro de indentación.....	27
Figura 2.23	Probeta para el ensayo de impacto.....	28
Figura 2.24	Deformación elastoplástica, límite proporcional P y límite elástico σ_y	28
Figura 2.25	Resistencia última a la tensión – diagrama esfuerzo deformación.....	29
Figura 2.26	Indentadores y huella en función del tipo de dureza.....	30

Figura 3.1 Proceso de recolección de la información.....	39
Figura 3.2 Procesamiento y análisis de datos de ensayos mecánicos.....	40
Figura 4.1 Proceso de la investigación y análisis de resultados.....	42
Figura 4.2 Probeta para el ensayo de impacto.....	46
Figura 4.3 Aluminio 1060 - Al > 99.5% a) Empaquetadura al vacío b) Polvo.....	48
Figura 4.4 Lingote de zinc 99% de pureza.....	48
Figura 4.5 a) Molino de bolas FICM – UTA. b) Polvo de zinc.....	49
Figura 4.6 a) Equipo de tamizaje. b) Tamizaje del polvo metálico.....	49
Figura 4.7 Forma de la partícula a) Aluminio 1060. b) Zinc.....	50
Figura 4.8 a) Equipo de mezclado tipo V. b) Proceso de mezclado de polvos.....	51
Figura 4.9 a) Máquina prensadora b) Proceso de compactación.....	52
Figura 4.10 a) Arena refractaria b) Recubrimiento de las probetas con arena refractaria.....	52
Figura 4.11 Proceso de sinterización.....	53
Figura 4.12 Limpieza de arena refractaria.....	53
Figura 4.13 Probetas para el ensayo de tracción codificadas y etiquetadas.....	54
Figura 4.14 Probetas para el ensayo de impacto codificadas y etiquetadas.....	55
Figura 4.15 a) Cono y bola 5 mm. b) Microscopio para medición de huella. c) Ensayo de dureza.....	55
Figura 6.1 Esfuerzo normal.....	92
Figura 6.2 Esfuerzo cortante. a) Conexión barra horquilla mediante un perno. b) Vista lateral esquemática. c) Diagrama de cuerpo libre del perno.	93
Figura 6.3 Esfuerzo cortante por torsión. a) Dirección de los esfuerzos b) Variación del esfuerzo cortante por torsión.....	94
Figura 6.4 Teoría del esfuerzo cortante máximo.....	96
Figura 6.5 Teoría de la energía de distorsión.....	97
Figura 6.6 Teoría de Mohr Coulomb.....	98
Figura 6.7 Teoría del esfuerzo normal máximo.....	99
Figura 6.8 Teoría de Mohr y Mohr modificada.....	100
Figura 6.9 Ciclos de esfuerzo típicos que pueden producir falla por fatiga. a) Esfuerzo completamente invertido. b) Esfuerzo fluctuante sinusoidal.....	101
Figura 6.10 Fracción de resistencia a la fatiga.....	102
Figura 6.11 Criterios de falla para carga dinámica.....	107

Figura 6.12 DCL – Plano Vertical – Superficie recta y nivelada.....	110
Figura 6.13 DCL – Plano Vertical – Superficie desfasada 45°.....	112
Figura 6.14 DCL – Plano Horizontal – Superficie recta y nivelada.....	116
Figura 6.15 DCL – Plano Horizontal – Superficie desfasada 45°.....	118
Figura 6.16 Modelación pasador.....	127
Figura 6.17 Ensamble pasador – bisagra.....	127
Figura 6.18 Ubicación geometría fija.....	128
Figura 6.19 Fuerza cortante aplicada.....	128
Figura 6.20 Momento torsor aplicado.....	129
Figura 6.21 Mallado del ensamble.....	130
Figura 6.22 Factor de seguridad mínimo pasador.....	130

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Técnicas de conformado.....	20
Tabla 2.2 Secuencia compactación unidireccional.....	20
Tabla 2.3 Presiones de compactado polvo metálico.....	21
Tabla 2.4 Dimensiones de la probeta de tensión.....	25
Tabla 2.5 Composición y propiedades del Aluminio 1060.....	31
Tabla 2.6 Propiedades físicas y mecánicas del zinc.....	31
Tabla 3.1 Muestras ensayo de tracción.....	36
Tabla 3.2 Muestras ensayo de dureza Brinell.....	36
Tabla 3.3 Muestras ensayo de impacto.....	36
Tabla 3.4 Operacionalización de Variable Independiente.....	37
Tabla 3.5 Operacionalización de Variable Dependiente.....	38
Tabla 4.1 Dimensiones de la probeta de tracción.....	43
Tabla 4.2 Masa total de las probetas para el ensayo de tracción.....	45
Tabla 4.3 Dimensiones de la probeta para el ensayo de impacto.....	46
Tabla 4.4 Masa total de las probetas para el ensayo de impacto.....	47
Tabla 4.5 Masa total requerida de los materiales base y aleante.....	47
Tabla 4.6 Codificación de las probetas.....	54
Tabla 4.7 Ensayo de Dureza Brinell HB-P0.5-LT.....	56
Tabla 4.8 Ensayo de Dureza Brinell HB-P1.0-LT.....	57
Tabla 4.9 Ensayo de Dureza Brinell HB-P1.5-LT.....	58
Tabla 4.10 Ensayo de Dureza Brinell HB-P0.5-HT.....	59
Tabla 4.11 Ensayo de Dureza Brinell HB-P1.0-HT.....	60
Tabla 4.12 Ensayo de Dureza Brinell HB-P1.5-HT.....	61
Tabla 4.13 Ensayo de Tracción TT-P0.5-LT.....	62
Tabla 4.14 Ensayo de Tracción TT-P1.0-LT.....	63
Tabla 4.15 Ensayo de Tracción TT-P1.5-LT.....	64
Tabla 4.16 Ensayo de Tracción TT-P0.5-HT.....	65
Tabla 4.17 Ensayo de Tracción TT-P1.0-HT.....	66
Tabla 4.18 Ensayo de Tracción TT-P1.5-HT.....	67
Tabla 4.19 Ensayo de Impacto IT-P0.5-LT.....	68
Tabla 4.20 Ensayo de Impacto IT-P1.0-LT.....	69

Tabla 4.21 Ensayo de Impacto IT-P1.5-LT.....	70
Tabla 4.22 Ensayo de Impacto IT-P0.5-HT.....	71
Tabla 4.23 Ensayo de Impacto IT-P1.0-HT.....	72
Tabla 4.24 Ensayo de Impacto IT-P1.5-HT.....	73
Tabla 4.25 Análisis Comparativo resultados Dureza Brinell.....	74
Tabla 4.26 Análisis Comparativo resultados Ensayo de Tracción - Hoja 1.....	75
Tabla 4.27 Análisis Comparativo resultados Ensayo de Tracción - Hoja 2.....	76
Tabla 4.28 Análisis Comparativo resultados Ensayo de Impacto.....	77
Tabla 4.29 Matriz del estudio – Factores Variables.....	78
Tabla 4.30 Niveles factores - resultados de Dureza.....	78
Tabla 4.31 Niveles factores - resultados de Fluencia, Resistencia a la Tracción e Impacto.....	78
Tabla 4.32 Verificación de hipótesis – parámetros previos Dureza Brinell.....	81
Tabla 4.33 Verificación de hipótesis –Dureza Brinell.....	82
Tabla 4.34 Verificación de hipótesis – parámetros previos Límite de Fluencia.....	82
Tabla 4.35 Verificación de hipótesis - Límite de Fluencia.....	82
Tabla 4.36 Verificación de hipótesis – parámetros previos Resistencia a la Tracción.....	83
Tabla 4.37 Verificación de hipótesis – Resistencia a la Tracción.....	83
Tabla 4.38 Verificación de hipótesis – parámetros previos Energía de Impacto.....	84
Tabla 4.39 Verificación de hipótesis –Energía de Impacto.....	84
Tabla 6.1 Parámetros a y b - Factor de superficie k_a	104
Tabla 6.2 Factor de confiabilidad k_e	106
Tabla 6.3 Parámetros de operación dirigibles.....	108
Tabla 6.4 Posiciones críticas de los planos de vuelo.....	109
Tabla 6.5 Parámetros de operación – físicos y geométricos – plano vertical.....	109
Tabla 6.6 Análisis de fuerzas Plano Vertical – Sup. Recta y nivelada.....	110
Tabla 6.7 Análisis de fuerzas Plano Vertical – Sup. Desfasada 45°.....	112
Tabla 6.8 Resultados Fuerzas plano vertical – superficie recta y nivelada.....	114
Tabla 6.9 Resultados Fuerzas plano vertical – superficie desfasada 45°.....	114
Tabla 6.10 Parámetros de operación – físicos y geométricos – plano horizontal.....	115
Tabla 6.11 Análisis de fuerzas Plano Horizontal – Sup. Recta y nivelada.....	116
Tabla 6.12 Análisis de fuerzas Plano Horizontal – Sup. Desfasada 45°.....	118
Tabla 6.13 Resultados Fuerzas plano horizontal – superficie recta y nivelada.....	119

Tabla 6.14	Resultados Fuerzas plano horizontal – superficie desfasada 45°	119
Tabla 6.15	Diseño a carga estática – selección diámetro pasador.....	120
Tabla 6.16	Diámetro pasadores – plano vertical – superficie recta y nivelada.....	121
Tabla 6.17	Diámetro pasadores – plano vertical – superficie desfasada 45°	121
Tabla 6.18	Diámetro pasadores – plano horizontal – superficie recta y nivelada.....	122
Tabla 6.19	Diámetro pasadores – plano horizontal – superficie desfasada 45°	122
Tabla 6.20	Diámetro pasador – diseño a carga estática.....	122
Tabla 6.21	Diseño a carga dinámica – selección diámetro pasador.....	123
Tabla 6.22	Parámetros diseño a Carga dinámica.....	125
Tabla 6.23	Diámetro pasadores – plano vertical – carga dinámica.....	125
Tabla 6.24	Diámetro pasadores – plano horizontal– carga dinámica.....	126
Tabla 6.25	Diámetro pasador – diseño a carga dinámica.....	126
Tabla 6.26	Simulación diseño a carga estática.....	127
Tabla 6.27	Rubros de costos – recursos materiales.....	131
Tabla 6.28	Rubros de costos – máquinas – equipos – ensayos.....	131
Tabla 6.29	Rubros de costos – recursos humanos.....	132
Tabla 6.30	Rubros de costos – recursos de oficina.....	132
Tabla 6.31	Rubro de costo total.....	132

ANEXOS

ANEXO 1. Características polvo de aluminio 1060 – LOBA CHEMIE.....	138
ANEXO 2. Características zinc – Metalquímica Galvano.....	139
ANEXO 3. Molde probeta ensayo de tracción – pulvimetalurgia.....	140
ANEXO 4. Molde probeta ensayo de impacto– pulvimetalurgia.....	141
ANEXO 5. Probetas para ensayo de tracción codificadas.....	142
ANEXO 6. Probetas para ensayo de impacto codificadas.....	143
ANEXO 7. Informe ensayo de tracción – Centro de fomento productivo metalmecánico carroceros.....	144
ANEXO 8. Informe ensayo de impacto – Centro de fomento productivo metalmecánico carroceros.....	156
ANEXO 9. Tabla de distribución de la prueba de Fisher. Puntos críticos al 5% de la distribución F.....	167
ANEXO 10. Velocidad del viento en función de la altura.....	168
ANEXO 11. Factores Atmosféricos ISA.....	171
ANEXO 12. Coordenadas plano de vuelo.....	173
ANEXO 13. Perfil geométrico plano de vuelo.....	174
ANEXO 14. Planos.....	175

RESUMEN EJECUTIVO

El proyecto de Investigación inicia debido a la necesidad de contar con información técnicamente documentada referente a pulvimetalurgia dentro del ámbito de aleación mecánica, proceso de fabricación que está incursionando en la Industria Nacional, debido a las ventajas que presenta con respecto a los procesos tradicionales; siendo las más representativas, un control más exacto de los límites de la composición, optimización de materia prima y proceso susceptible de automatización con buen acabado superficial para producción en serie de componentes mecánicos.

El proceso experimental de la aleación mecánica inicia con la obtención de polvo metálico de los elementos base: Aluminio 1060 con tamaño de partícula $30\ \mu\text{m}$ y aleante: Zinc con tamaño de partícula entre $45 - 63\ \mu\text{m}$ a través de la utilización de molino de bolas y un control de tamizaje; proceso de mezclado en función de los porcentajes en peso definidos para el posterior compactado y sinterizado de las probetas, para el correcto desarrollo de los ensayos.

El estudio de la resistencia a la tracción, dureza e impacto se desarrolló a través del control de variables de porcentaje en peso de elemento aleante: 0.5 – 1.0 y 1.5% Zn, y temperatura de sinterización: 462°C y 594°C ; los mejores resultados se obtuvieron en el caso de estudio desarrollado con 1% de Zn y temperatura de 594°C , donde la dureza y la resistencia a la tracción se incrementaron en un 69% y 12.29% respectivamente en relación al elemento base; mientras que la resistencia al impacto en función de la energía absorbida disminuye en un 39.40 % en el mejor de los casos 1% de Zn y 462°C ; además las variables controladas están correlacionadas entre sí e inciden directamente en las propiedades en estudio de acuerdo al análisis estadístico desarrollado mediante la prueba de Fisher.

Descriptor: Aleación mecánica, pulvimetalurgia, compactado, sinterizado.

EXECUTIVE SUMMARY

The research project starts due to the need to have technically documented information related to powder metallurgy within the scope of mechanical alloy, manufacturing process that is venturing into the National Industry, due to the advantages it presents with respect to traditional processes; being the most representative, a more exact control of the limits of the composition, optimization of raw material and is a process susceptible to automation with good surface finish for serial production of mechanical components.

The experimental process of the mechanical alloy begins with the obtaining of mechanical powder of the base elements: Aluminum 1060 with particle size $30\ \mu\text{m}$ and alloying: Zinc with particle size between $45 - 63\ \mu\text{m}$ through the use of ball mill and a screening control; mixing process based on the percentages in weight defined for the subsequent compaction and sintering of the test pieces for the correct development of the tests.

The study of tensile strength, hardness and impact was developed through the control of variables of percentage by weight of alloying element: $0.5 - 1.0$ y 1.5% Zn, and sintering temperature: 462°C y 594°C ; the best results were obtained in the case of a study developed with 1% Zn and a temperature of 594°C , where the hardness and tensile strength were increased by 69% and 12.29% respectively in relation to the base element; while the impact resistance as a function of the energy absorbed decreases by 39.40% in the best case 1% Zn and 462°C ; in addition, the controlled variables are correlated with each other and directly affect the properties under study according to the statistical analysis developed by Fisher's test.

Keywords: Mechanical alloy, powder metallurgy, compacted, sintered.

CAPÍTULO 1

1.1 Tema

“ANÁLISIS DE LA ALEACIÓN MECÁNICA DE ALUMINIO 1060 CON PORCENTAJES CONTROLADOS EN PESO DE ZINC Y SU INCIDENCIA EN LA RESISTENCIA ÚLTIMA A LA TENSIÓN, DUREZA E IMPACTO”

1.2 Planteamiento del problema

1.2.1 Contextualización

A nivel mundial, existen programas de investigación conformado por equipos interdisciplinarios expertos en metalurgia física; uno de los más reconocidos y enfocados en el desarrollo de materiales y sus procesos de fabricación es el INSTITUTO IMDEA MATERIALES (Instituto Madrileño de Estudios Avanzados en Materiales), cuyas instalaciones (ver Figura 1.1) están localizadas en España; donde establecen entre las líneas principales del programa, el estudio del procesado de estado sólido de materiales que involucra el desarrollo de nuevas aleaciones mediante métodos termodinámicos y manufactura de polvos, a través de aleado mecánico y atomización de gas en condiciones no oxidativas, consolidación por sinterizado asistido por campo o mediante prensa y sinterizado convencional, es decir a base de calentamiento por debajo del punto de fusión [1].



Figura 1.1 Laboratorio de materiales IMDEA [1]

Uno de los proyectos desarrollados por esta entidad a base de aleación mecánica entre 2017 y 2018 es el tratamiento termo mecánico de la aleación Zamac 2 ($ZnAl_4Cu_3$) mediante metalurgia en polvo con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión en comparación con la obtenida por fundición a cargo del Dr. Srdian Milenkovic, donde una vez desarrolladas las pruebas y ensayos efectivamente se logró el objetivo [1].

A nivel latinoamericano, en México se encuentran las instalaciones de ETAL (ver Figura 1.2), una empresa de Grupo Marmex, la misma que está enfocada a la diversificación e integración vertical de procesos de manufactura que le permite ser el proveedor preferencial debido a la calidad en sus productos; uno de sus departamentos está encargado de la metalurgia de polvos donde los estudios desarrollados sobre aleaciones de metales con altas diferencias entre sus puntos de fusión permite controlar la porosidad de las piezas logrando mejoras en la propiedades mecánicas [2].



Figura 1.2 Instalaciones Laboratorio de Procesos de Manufactura – ETAL [2]

A nivel nacional, las empresas dedicadas a la metalurgia de a poco están incursionando en nuevos procesos para la obtención de aleaciones, como es el caso de la Empresa FILARET S.A localizada en la ciudad de Guayaquil, entidad dedicada a actividades de forja, prensado y laminado de metales; en los últimos cinco años se ha preocupado por su equipamiento para procesos de pulvimetalurgia con la finalidad de brindar al mercado objetos terminados como tanques y materia prima a partir de polvos de metal que se someten a tratamiento calorífico o de compresión [3].

1.2.2 Análisis crítico

La tendencia en los últimos años, con respecto al desarrollo de aleaciones y materiales compuestos de matriz metálica se basan en procesos de molienda para obtener polvo, los mismos que de acuerdo a estudios previos desarrollados permiten alcanzar niveles de propiedades que por otros métodos resulta muy difícil, es por esto que la aleación mecánica ha ganado espacio en el área de Ingeniería de Materiales con respecto a otros métodos utilizados como es el caso de la fundición.

A partir del estudio desarrollado en el IMDEA se concluye que la técnica de aleación por metalurgia de polvos permite mejorar las propiedades mecánicas y aumentar la resistencia a la corrosión en comparación con la obtenida por fundición de la aleación Zamac 2. Además, en las pruebas desarrolladas por ETAL, se determinó que la técnica de aleación mecánica entre materiales con una diferencia considerable entre sus puntos de fusión, permite controlar la porosidad de las piezas logrando mejoras en las propiedades mecánicas.

Una de las ventajas que presenta la aleación mecánica es que se consigue eliminar problemas de segregación y formación de aglomerados, los cuales están asociados a las mezclas convencionales anteriormente utilizadas, a más de que se evita las limitaciones asociadas a los puntos de fusión y solubilidades relativas, debido a que se desarrolla el proceso en estado sólido.

El proceso de aleación mecánica suele incluir por lo menos un elemento dúctil, que actúa como soporte o matriz de los demás componentes, en este estudio es el aluminio; las partículas de polvo sometidas a altas colisiones, evolucionan a partir de continuas soldaduras y fracturas, donde el equilibrio entre ambos fenómenos es necesario para el correcto desarrollo del proceso; la intensidad de la molienda incide directamente en las características del polvo, por lo que el uso apropiado de los equipos (molinos) es indispensable para conseguir resultados apropiados, minimizando en lo posible los sesgos y errores en las pruebas posteriores.

El estudio es tecnológicamente viable, por la información disponible en estudios e investigaciones previas desarrolladas, que serán utilizados como parámetros de entrada y conductores de la presente investigación.

1.2.3 Prognosis

La industria metalúrgica en el Ecuador está en actual proceso de desarrollo, por lo que aún existen varias interrogantes y necesidad de estudios complementarios que permitan de a poco conseguir materiales desarrollados con procesos de fabricación alternativos, para posibilitar la comparación de resultados con respecto a materiales base o aleaciones obtenidas por métodos tradicionales.

Por lo tanto, es necesario contar con un estudio que permita conocer ventajas y desventajas de la aleación mecánica; puesto que, a falta de esta investigación, las alternativas referentes a procesos de obtención de materiales compuestos y aleaciones se vería limitado a procesos tradicionales, impidiendo el avance de la industria de Ingeniería de Materiales y por ende el desarrollo tecnológico nacional, limitando la posibilidad de hallar alternativas de producción que conlleven a mejores resultados.

1.2.4 Formulación del problema

¿Cómo desarrollar el análisis de la aleación mecánica de Aluminio 1060 con porcentajes controlados en peso de zinc para cuantificar su incidencia sobre la resistencia última a la tensión, dureza e impacto?

1.2.5 Preguntas directrices

- ¿Cómo desarrollar la mezcla de los polvos obtenidos con porcentajes en peso de zinc controlados?
- ¿Cuál es la metodología para obtener las probetas de la mezcla de los polvos metálicos a partir del proceso de compactación y sinterización?
- ¿Cuál es el porcentaje en peso de zinc con el cual se consiguen los mejores resultados dentro del rango de variación en estudio?
- ¿Qué tipo de relación e interacción existe entre las variables en estudio?

1.2.6 Delimitación del problema

1.2.6.1 Delimitación de contenidos

El presente estudio se fundamenta en el campo de la Maestría en Mecánica mención Diseño, en el área de Materiales con los módulos de Materiales para Ingeniería, Diseño de Experimentos y Modelación de Sistemas Mecánicos.

1.2.6.2 Delimitación espacial

La obtención de polvo metálico sobre los materiales en estudio, así como el desarrollo de la aleación mecánica y ensayos necesarios para la investigación, serán desarrollados en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (FICM) de la Universidad Técnica de Ambato (UTA) y el Centro de Fomento Carrocero. El estudio teórico se complementará en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, Universidad de las Fuerzas Armadas en Latacunga y estudios previos desarrollados, así como artículos publicados en revistas de impacto científico a nivel nacional e internacional.

1.2.6.3 Delimitación temporal

El estudio será realizado en el período julio 2018 - julio 2019, tiempo en el cual se desarrollarán los ensayos pertinentes y se conseguirán los parámetros y datos necesarios para el correcto desarrollo de la investigación.

1.3 Justificación

Con esta investigación se pretende documentar resultados que contribuyan a establecer propiedades mecánicas a partir de aleación mecánica, específicamente a partir de polvo metálico, la misma que será utilizada en el proyecto y de esta manera determinar ventajas y desventajas en el campo tecnológico de procesos de fabricación de materiales alternativos que satisfagan requerimientos operacionales y su posible aplicabilidad en el diseño de elementos constitutivos de máquinas, estructuras, entre otras y por ende aportar con el crecimiento de la industria metalúrgica ecuatoriana.

Esta investigación parte de estudios previamente desarrollados, como es el caso de métodos de obtención de polvo metálico, técnicas de elaboración de aleaciones a partir

de pulvimetalurgia; además resulta ser un trabajo complementario y comparativo con respecto a las propiedades mecánicas del material base, con la finalidad de establecer ventajas y la técnica que permite conseguir mejorar resultados sobre las propiedades a determinar.

El desarrollo de la investigación es económicamente factible considerando que se posee los recursos necesarios; es factible técnicamente debido a que se dispone de los equipos necesarios en el laboratorio de Materiales de la FICM – UTA y Centro de Fomento Carrocero, tanto para la obtención de polvo metálico como para el desarrollo de los ensayos necesarios, además se posee acceso a la información documentada en investigaciones previas realizadas.

Las entidades beneficiarias del proyecto serán la industria metalúrgica ecuatoriana, así como las empresas constructoras de planchas, chapas, cubiertas, carrocerías, y todas aquellas relacionadas que utilizan esta aleación como materia prima; logrando contribuir con estudios técnicamente desarrollados para el avance científico tecnológico y de producción nacional.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Desarrollar el análisis de la aleación mecánica de Aluminio 1060 con porcentajes controlados en peso de zinc para cuantificar su incidencia sobre la resistencia última a la tensión, dureza e impacto.

1.4.2 Específicos

- Desarrollar la mezcla de los polvos obtenidos con porcentajes en peso de zinc controlados.
- Obtener las probetas de la mezcla de los polvos metálicos a partir del proceso de compactación y sinterización.
- Determinar el porcentaje en peso de zinc con el cual se consiguen los mejores resultados dentro del rango de variación en estudio.
- Establecer la relación e interacción existente entre las variables en estudio.

CAPÍTULO 2

2.1 Antecedentes Investigativos

El Ing. C. Martínez, en el año 2017, estuvo a cargo de la investigación referente a la caracterización mecánica y microestructura de aleaciones de cobre, níquel y zirconio obtenidas por aleación mecánica y presión en caliente como se muestra en la Figura 2.1, donde llegaron a la conclusión de que la consolidación de los polvos de Ni y Cu aumentan la resistencia del cobre puro a la compresión y tracción en un 5%, mientras que la adición de zirconio la disminuye; por lo que este método basado en pulvimetalurgia efectivamente incide en la mejora de propiedades mecánicas controlando los porcentajes de cada componente aleante [4].

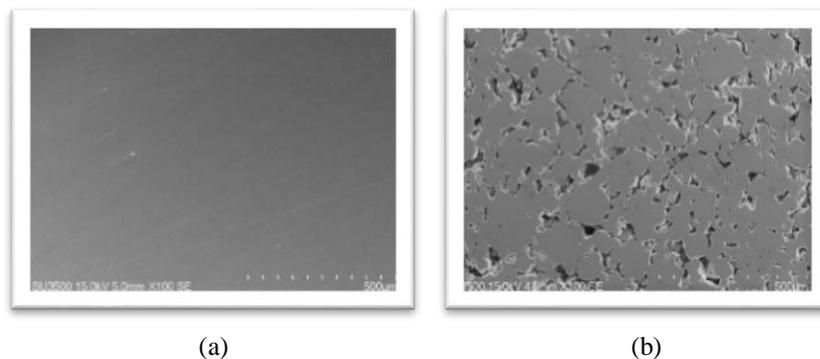


Figura 2.1 Imágenes SEM de muestras consolidadas a) Cu puro b) Cu-10Ni-40Zr [4]

Además, el Ing. R. Ramírez en el año 2012, en la Universidad Autónoma de Nuevo León en México, desarrolló un estudio previo a la obtención de grado de Máster en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con el tema “Efecto del zinc en las propiedades mecánicas de la aleación Al-Si Tipo A319” donde utilizó la técnica tradicional de aleación mediante fundición de cada uno de los metales y desarrolló su estudio hasta alcanzar el 1.5% en peso de Zinc, en el cual concluyó que la adición de Zn desde 0.5% hasta 1% en peso mejora las propiedades mecánicas sin pérdida de ductilidad; los porcentajes fueron considerados en un rango bajo, tomando en cuenta que el material base es ya una aleación de Al-Si con aproximadamente el 6% de silicio [5].

En el año 2012, un grupo de investigadores a cargo del Ing. A. Moreta, Mg, desarrollaron un proyecto de servicio comunitario para vinculación con la sociedad con la finalidad de disponer de una máquina para la obtención de polvo de aluminio, donde determinaron que las características del polvo obtenido dependen principalmente del rodillo desbastador y su velocidad de rotación, e inciden directamente en las propiedades mecánicas del proceso posterior de compactación [6].

En el año 2017, el Sr. A. Beltrán bajo tutorías del Ing. G. López, desarrolló un molde para compactación de probetas planas de pulvimetalurgia para el ensayo de tracción como las mostradas en la Figura 2.2, de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM E8, con la finalidad de desarrollar una aleación de aluminio con Babbit B23, donde llegó a la conclusión que el material con la fracción volumétrica de 80% Aluminio y 20% Babbit, alcanza las mejores propiedades mecánicas con respecto a las otras fracciones analizadas; donde el molde utilizado permitió obtener probetas con características apropiadas para el correcto desarrollo de los ensayos [7].

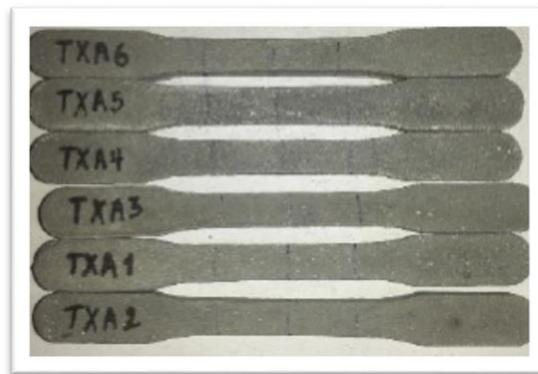


Figura 2.2 Probetas para ensayo de tracción de la aleación Aluminio – Babbit B23 [7]

El Ing. J. Solá, en 2010, desarrolló un estudio sobre la influencia de las variables de molienda en las propiedades del polvo de aluminio donde concluyó que el tiempo de molienda incide directamente en las propiedades mecánicas del polvo obtenido y deja de lado la influencia de otras variables como la energía de los impactos que está en función la velocidad de giro, o el número de impactos por unidad de tiempo como consecuencia del número de bolas, el estudio determinó que a mayor tiempo de molienda, menor tamaño de grano y mayor dureza obtenida [8].

2.2 Fundamentación teórica

2.2.1 Procesos de fabricación de aleaciones

Los procesos de fabricación de aleaciones se han ido desarrollando en función de las necesidades y aplicaciones industriales, así como avance tecnológico e innovación de equipos de procesamiento y fabricación, los más utilizados dentro de la industria metalúrgica se especifican a continuación:

2.2.1.1 Proceso de fusión

Dentro del ámbito de la metalurgia, se denomina fundición al proceso de fabricación de elementos mecánicos que consiste en superar ligeramente el punto de fusión del material como se observa en la Figura 2.3 a), e introducirlo en un molde, donde se solidifica adquiriendo la forma geométrica del mismo. Las características principales de este proceso se mencionan a continuación [9]:

- Factible de trabajar con superficies que poseen cierto grado de complejidad.
- Relativamente económico y fácil de ejecutar.
- Los desperdicios pueden ser reutilizados.

Los resultados que se consiguen de la estructura metalográfica y propiedades mecánicas dependen del proceso de solidificación, por lo que es importante compensar el volumen contraído debido al enfriamiento del líquido; una manera de conseguirlo es sobredimensionar el molde como el mostrado en la Figura 2.3 b) y colocar mazarotas que mantengan la alimentación de material fundido a la cavidad del elemento durante este proceso [9].

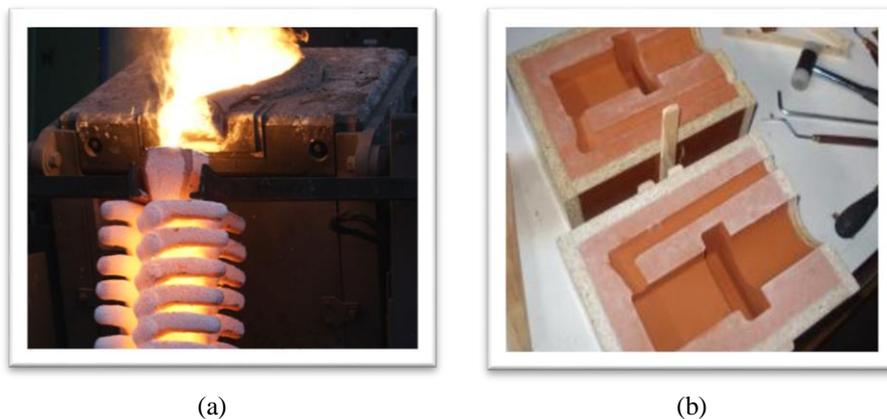


Figura 2.3 a) Proceso de fusión. b) Molde en arena [10]

2.2.1.2 Proceso de electrólisis

Este método se basa en la utilización de energía eléctrica, algunos de los procedimientos metalúrgicos basados en este método han permitido la obtención de diferentes metales reductores como aluminio, magnesio o potasio.

El método consiste en permitir el paso de corriente eléctrica, donde el electrolito que contiene en disolución cationes de los elementos que se desea alear, hace que los iones se depositen sobre el cátodo como se muestra en la Figura 2.4 [9].

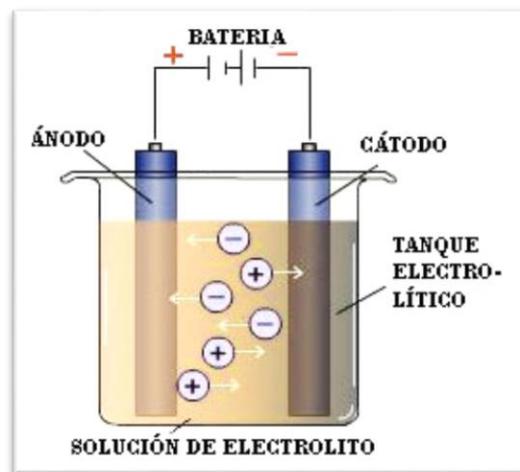


Figura 2.4 Proceso de electrólisis [10]

2.2.1.3 Proceso de compresión

Este proceso consiste en mezclar materiales en forma de polvo o virutas, se somete a una presión determinada y un posterior proceso de sinterización; es decir, se basa en el campo de estudio de la pulvimetalurgia que se amplifica a continuación:

2.2.2 Pulvimetalurgia

La pulvimetalurgia es un método utilizado para la obtención de elementos mecánicos con excelentes tolerancias y de alta calidad, se basa en el tratamiento sobre polvos metálicos con ciertas características de tamaño y forma como los mostrados en la Figura 2.5; los procesos principales para el desarrollo de esta técnica son la obtención del polvo, su compactación y la unión termal de las partículas por medio de la sinterización, proceso que se desarrolla por debajo del punto de fusión del metal [11].



Figura 2.5 Elementos fabricados con procesos de pulvimetalurgia [12]

Este proceso de manufactura permite obtener un rango amplio de nuevos materiales, microestructuras y propiedades mecánicas con una extensa aplicabilidad en la industria. En función de las ventajas que presenta con relación a otros métodos de tratamiento sobre materiales considerando productividad, energía utilizada y materia prima, ha ganado mucho espacio en los procesos de manufactura, reemplazando a los métodos tradicionales [13].

Las ventajas más sobresalientes de este proceso de fabricación, el cual evita la necesidad de pasar por la fase líquida se mencionan a continuación [11]:

- Soluciona el problema de alto punto de fusión, o gran diferencia en este parámetro entre los elementos de aleación.
- Evita la contaminación del metal fundido por la atmósfera o material del crisol o molde.
- Implica bajo desperdicio de material, consiguiendo aprovechar hasta el 97% del material procesado.
- Capacidad de procesar metales que resultan difíciles de fabricar por otros métodos, como es el caso del tungsteno utilizado en filamentos de bombillas.
- Proceso susceptible a ser automatizado para producción industrial.

Así como existen ventajas, la pulvimetalurgia también presenta algunas desventajas y limitaciones para su procesamiento [13]:

- Costos de equipos, herramientas y polvos metálicos altos.
- Degradación del polvo metálico y dificultad de almacenamiento.
- Limitaciones en la geometría de piezas o elementos complejos.

2.2.2.1 Producción de polvos metálicos

Los métodos mediante los cuales se producen comercialmente polvos metálicos son la atomización, procesos químicos, electrolíticos y de molienda [13].

Éstos últimos surgieron en los últimos años con el desarrollo de los materiales compuestos de matriz metálica, el cual es considerado como un método eficaz para conseguir aleaciones de difícil obtención por otros métodos, siendo el más efectivo la aleación mecánica [14].

2.2.2.2 Atomización

Este método implica la conversión de metal fundido, que mediante pulverización se solidifica obteniendo polvo. Es el método más versátil y popular para producir polvo metálico, aplicables a casi todos los metales, aleaciones y metales puros. Existen múltiples formas de crear el spray de metal fundido, dos de los métodos mostrados en la Figura 2.6 a) y b) se basan en la atomización de gas, en la que la corriente de gas de alta velocidad (aire o gas inerte) se utiliza para atomizar el metal líquido [11].

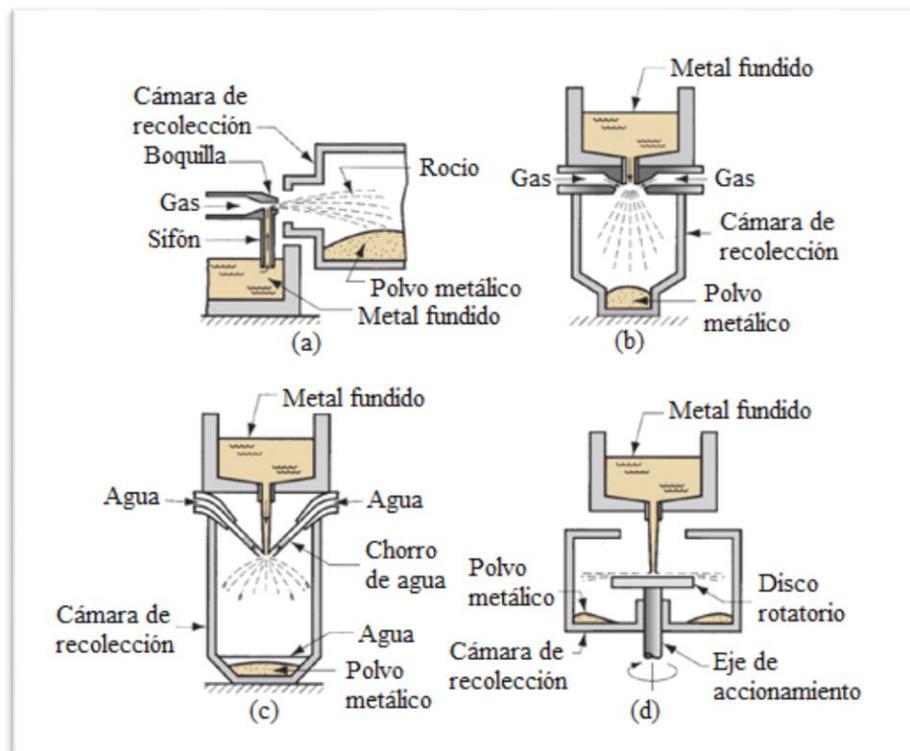


Figura 2.6 Métodos de producción de polvo metálico por atomización (a) y (b) métodos de atomización por gas, (c) atomización por agua (d) atomización centrífuga por el método del disco rotativo [11]

En (a), el gas fluye a través de una boquilla de expansión, sifonando el metal fundido y pulverizándolo en un recipiente, en (b) el metal fundido fluye por la gravedad a través de una boquilla y es inmediatamente atomizado por chorros de aire. Mientras que en (c) se utiliza la atomización mediante la utilización de un chorro de agua y (d) basado en un disco rotatorio [13].

La atomización ha demostrado ser la técnica más favorable para la obtención de polvos pre aleados, debido a la posibilidad de un buen control de la composición química, tamaño, forma y distribución granulométrica. Estas características, importantes para la posterior compactación, añadidas a la posibilidad de obtener una microestructura fina con un elevado contenido en solutos, han hecho de la atomización el proceso de obtención de polvo de mayor implantación industrial [15].

2.2.2.3 Procesos químicos

Este proceso incluye una variedad de reacciones químicas aplicados a los compuestos metálicos, mediante las cuales se reduce a polvos metálicos elementales. El proceso más común para producir polvos de tungsteno, cobre y hierro como el mostrado en la Figura 2.7, es el uso de agentes reductores como hidrógeno o monóxido de carbono, el cual se combina con el oxígeno y permite la liberación del elemento metálico [11].

Otro método utilizado para la obtención de polvo de hierro es la utilización de pentacarbonilo de hierro, con la finalidad de producir partículas esféricas de alta pureza [11].

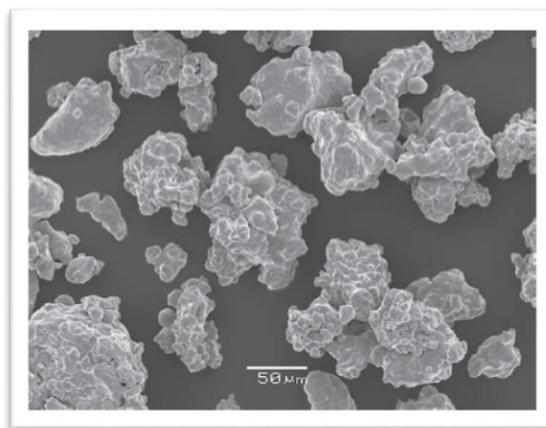


Figura 2.7 Polvo de hierro obtenido por procesos químicos [11]

2.2.2.4 Procesos electrolíticos

El proceso de electrolisis se basa en una celda electrolítica, donde el ánodo se disuelve lentamente bajo un voltaje aplicado y es transportado a través del electrolito para ser depositado en el cátodo, el cual es lavado y secado, donde se consigue un polvo metálico de muy alta pureza, este proceso es utilizado para producir polvos de berilio, cobre, hierro, plata, tántalo y titanio [11].

2.2.2.5 Procesos de molienda

El objetivo del proceso de molienda es reducir el tamaño de la partícula y de esta manera producir polvo metálico con una microestructura fina y controlada; lo cual se consigue por la soldadura repetida, fractura y nueva soldadura de los polvos reactivos mezclados en equipos diseñados para este propósito [15].

Se utilizan diferentes tipos de equipos de alta energía para producir mecánicamente polvos metálicos, se diferencian principalmente en su diseño, capacidad, velocidad de operación, capacidad para controlar la temperatura de molienda y eficiencia; los más utilizados se presentan a continuación [14]:

a) Molino de bolas de alta energía: en este equipo el proceso de molienda se lleva a cabo mediante la acción de un agitador que tiene un eje central giratorio vertical con brazos horizontales, los equipos modernos como el que se muestra en la Figura 2.8, poseen un sistema automatizado para controlar el torque aplicado, así como minimizar la contaminación por oxígeno durante el procesamiento [15].



Figura 2.8 Molino de bolas de alta energía Emax [16]

Estos equipos pueden ser utilizados para moliendas de larga duración sin pausas de enfriamiento intermedias, lo cual permite aprovechar el tiempo de procesamiento. El aporte de energía en combinación con su sistema de refrigeración único lo convierten en un molino ideal para la aleación mecánica y moliendas nanométricas [17].

b) Molino de bolas planetario: es uno de los molinos más utilizados en la investigación de aleaciones mecánicas, en este equipo la fuerza centrífuga alcanza hasta 20 veces la aceleración de la gravedad, la cual es originada por la rotación del disco de soporte, transmitiendo la carga de molienda hacia las bolas, generando una energía de trituración muy alta, la cual se traduce en tiempos cortos de molienda [15].

Son muy útiles para aplicaciones en las que se deben obtener granulometrías finísimas. Además de realizar los procesos clásicos de trituración y mezcla, el molino como el que se observa en la Figura 2.9, cumple técnicamente con todos los requisitos para la molienda coloidal o nanomolienda y cuenta con el rendimiento energético necesario para efectuar aleaciones mecánicas [16].



Figura 2.9 Molino de bolas planetario Emax [16]

c) Molino de bolas vibratorio: son equipos utilizados para preparar aleaciones amorfas; la carga del polvo y las herramientas de fresado se agitan en tres direcciones perpendiculares a muy alta velocidad. El equipo mostrado en la Figura 2.10 está diseñado para evitar reacciones con gases de la atmósfera circundante, por lo que la aplicación principal es para procesar sistemas altamente reactivos como elementos de tierras raras (escandio, itrio, praseodimio, holmio, entre otros) [15].



Figura 2.10 Molino de bolas vibratorio [16]

d) Molino de rodillos: son equipos que consisten de dos rodillos distribuidos en una o más etapas que giran en sentidos contrarios como se muestra en la Figura 2.11, los cuales trituran y muelen los materiales bajo el principio de compresión reduciéndolos a polvo, una de las ventajas de este tipo de molino es que cuenta con una superficie mayor para el proceso optimizando el tiempo de operación [16].



Figura 2.11 Molino de rodillos [17]

2.2.3 Aleación mecánica

La aleación mecánica definida como un proceso de molienda en seco que se basa en soldadura y fractura repetida constituye el proceso mecánico más actualizado para la obtención y procesamiento de polvo, el cual hace posible el refinamiento de la microestructura, disminuyendo notablemente los problemas de segregación y formación de aglomerados [11].

Una de las mayores ventajas de la aleación mecánica es la síntesis de aleaciones novedosas que no son posibles mediante cualquier otra técnica, como la aleación de elementos normalmente inmiscibles; esto se debe a que la aleación mecánica es una técnica de procesamiento de estado completamente sólido [18].

La aleación mecánica involucra varios procesos, los cuales se describe a continuación:

2.2.3.1 Producción de polvo

Como se indicó en la sección 2.2.2.1 existen varios métodos para obtener el polvo metálico, el cual puede definirse como un sólido particulado finamente dividido, cuya geometría (ver Figuras 2.12 y 2.13) está definida por los parámetros siguientes [11]:

a) **Tamaño y forma de la partícula:** puede ser determinado con precisión utilizando el método de escaneo de microscopía electrónica SEM para polvos relativamente gruesos o microscopía electrónica de transmisión TEM para polvos más finos. Lo ideal es que las partículas de polvo tengan un tamaño uniforme y no sean de forma esférica, condiciones que están en función del tipo de molino utilizado y tiempo de molienda, el cual puede ser controlado en el proceso [14].

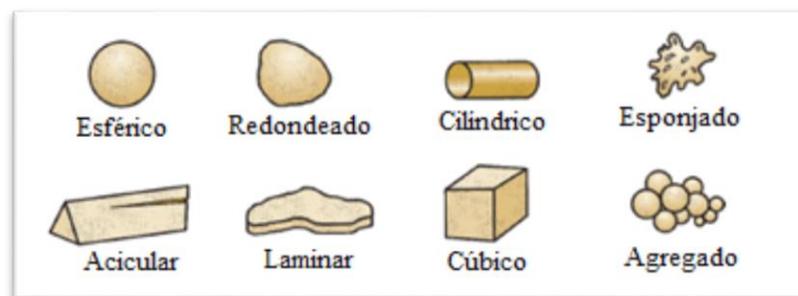


Figura 2.12 Formas de partícula de polvo [11]

En las primeras etapas de la molienda e incluso en la mayoría de los casos en las últimas etapas, el polvo tiene forma irregular, donde se puede determinar el diámetro equivalente esférico a partir del volumen definido por [14]:

$$D_v = \left(\frac{6V}{\pi}\right)^{1/3} \quad \text{Ec. 1}$$

$D_v \rightarrow$ diámetro equivalente (μm)

$V \rightarrow$ volumen de la partícula (μm^3)

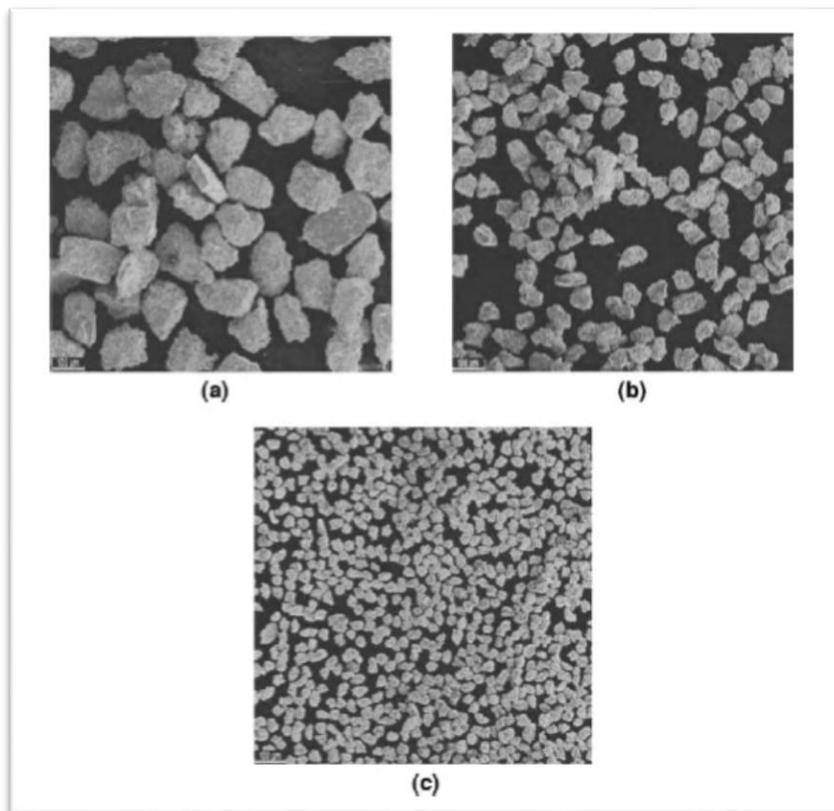


Figura 2.13 Tamaño de partícula a) 88-105 μm b) 44-53 μm c) 20-25 μm [14]

b) Área superficial: asumiendo que la partícula tiene forma esférica, este parámetro estaría dado por:

$$A = \pi D^2 \quad \text{Ec. 2}$$

$A \rightarrow$ área superficial (μm^2)

$D \rightarrow$ diámetro de la partícula (μm)

En general, la relación área volumen puede expresarse para cualquier forma de partícula mediante la ecuación:

$$K_s = \frac{AD_v}{V} \quad \text{Ec. 3}$$

$K_s \rightarrow$ factor de forma

$D_v \rightarrow$ diámetro equivalente (μm)

$A \rightarrow$ área superficial (μm^2)

$V \rightarrow$ volumen de la partícula (μm^3)

Un tamaño de partícula pequeño y factor de forma alto significa mayor área de superficie para el mismo peso total del polvo metálico. El tamaño incide de manera proporcional a la aglomeración de las partículas, es decir a menor tamaño de grano se obtiene una compactación más uniforme y por ende mejores propiedades mecánicas en el producto final [14].

2.2.3.2 Proceso de tamizado

El proceso de tamizado permite clasificar el polvo obtenido en función del tamaño de grano, es un método fácil y efectivo, consiste en permitir el paso de las partículas sobre una superficie provista de orificios del tamaño deseado. Los equipos de tamizado son vibratorios como el mostrado en la Figura 2.14 pueden estar formados por barras, placas metálicas perforadas o tejidos de hilos metálicos [13].



Figura 2.14 Tamiz vibratorio [12]

2.2.3.3 Proceso de mezclado de los elementos aleantes

El proceso de mezclado es una etapa importante, debido a que se debe conseguir que se distribuya lo más uniformemente posible el o los elementos aleantes sobre el material base, con la finalidad de evitar concentraciones o aglomeraciones en una zona específica, que inciden negativamente sobre los procesos posteriores, generalmente este proceso se desarrolla en máquinas agitadoras o en el mismo equipo utilizado para el proceso de molienda por un período recomendado de por lo menos 15 minutos, el principal parámetro a controlar es la contaminación por desgaste del contenedor o elementos mezcladores [15].

2.2.3.4 Proceso de conformado

El conformado consiste en dar consistencia y forma a los polvos, las técnicas más utilizadas se especifican en la Tabla 2.1:

Tabla 2.1 Técnicas de conformado [15]

TÉCNICA	PROCESO
Prensado	Unidireccional
	Isostático
Conformado plástico	Extrusión
	Moldeo por inyección

Los procesos de extrusión y prensado isostático generalmente requieren el uso de altas presiones y temperaturas durante períodos de tiempo prolongados, lo cual presenta ciertas desventajas como es la pérdida de las características conseguidas en las nano estructuras obtenidas [18].

Uno de los procesos que mejores resultados presenta es la compactación unidireccional que conlleva los pasos estipulados en la Tabla 2.2 [19]:

Tabla 2.2 Secuencia compactación unidireccional [19]

No.	Actividad
1	Llenado de la matriz
2	Posicionamiento de los punzones
3	Entrada punzón superior
4	Compactación a una presión definida
5	Cese de la aplicación de presión
6	Extracción del compacto

La Figura 2.15 muestra las actividades indicadas en la tabla anterior con la finalidad de conseguir un compacto apropiado, con características adecuadas para el proceso posterior de sinterizado.

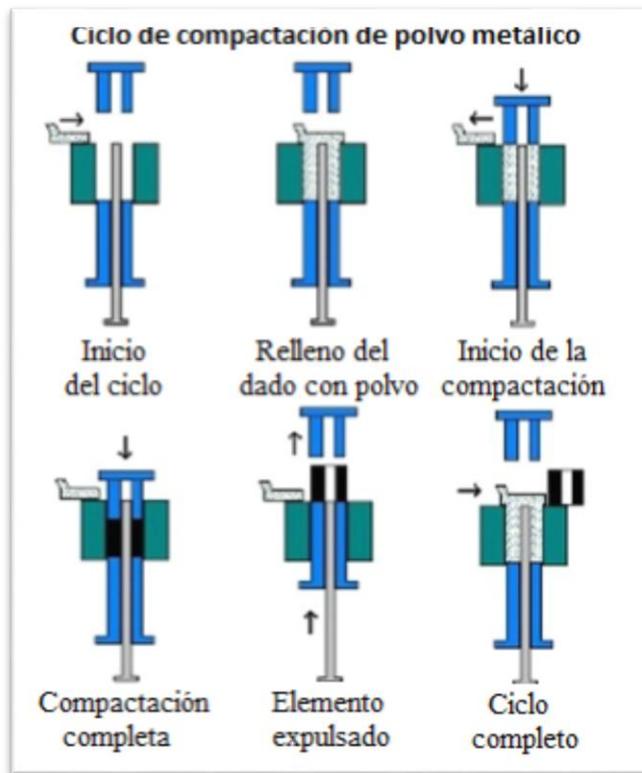


Figura 2.15 Ciclo de compactación de polvo metálico [19]

La Tabla 2.3 establece los rangos de presiones de compactado recomendado para distintos polvos metálicos:

Tabla 2.3 Presiones de compactado polvo metálico [20]

Material	Presión de Compactado (MPa)
Aluminio	70 - 275
Latón	400 – 700
Bronce	200 - 275
Hierro	350 - 800
Tantalio	70 - 140
Tungsteno	70 - 140
Carbono	140 – 165
Carburo Cementado	140 - 400
Ferritas	110 -165

2.2.3.5 Proceso de sinterizado

Este proceso pretende generar puentes de unión entre las partículas de polvo; las temperaturas recomendadas para desarrollar deben estar en el siguiente orden [11]:

$$70\%(T_f) \leq T_s \leq 90\%(T_f) \quad \text{Ec. 4}$$

$T_f \rightarrow$ temp. de fusión de la aleación mecánica

$T_s \rightarrow$ temp. de sinterización

Para la consecución de mejores resultados es necesario que los elementos procesados posean densidades cercanas al 100% de la densidad teórica, por lo que el proceso previo debe ser desarrollado considerando este parámetro [18].

En la Figura 2.16 se muestra el proceso descrito para el correcto desarrollo de una aleación mecánica.

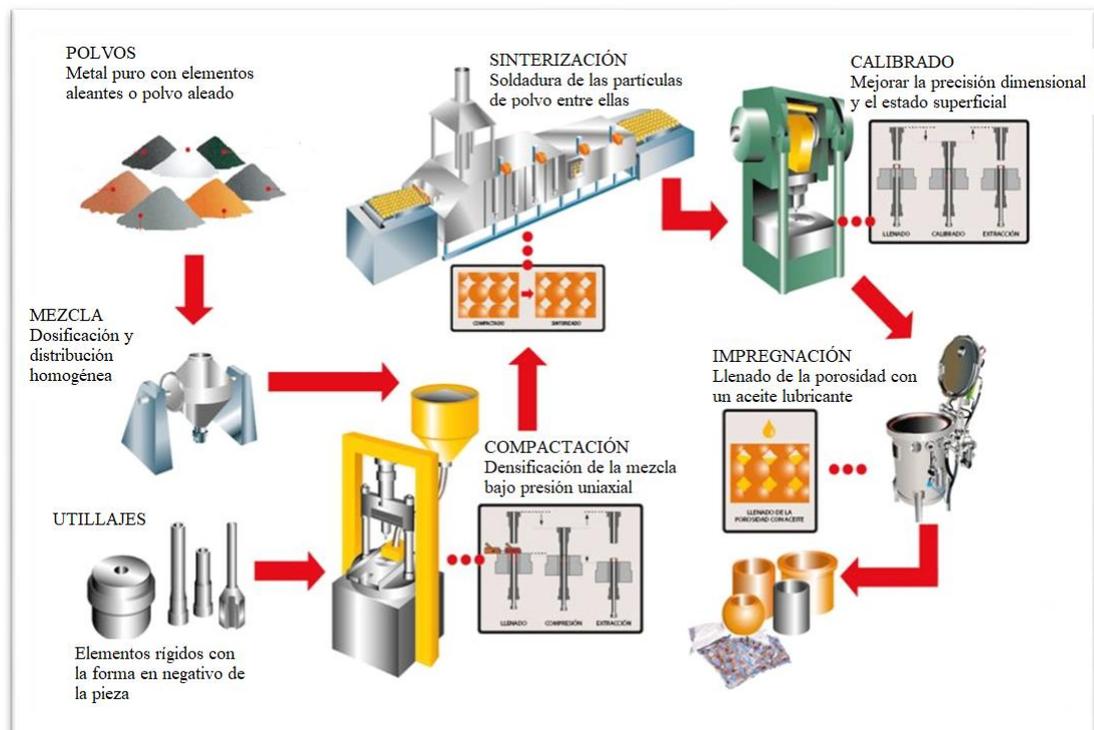


Figura 2.16 Secuencia del desarrollo de elementos por aleación mecánica [19]

La temperatura de fusión de la aleación mecánica está dada por el diagrama de fase de la aleación en estudio Al-Zn, mostrado en la Figura 2.17.

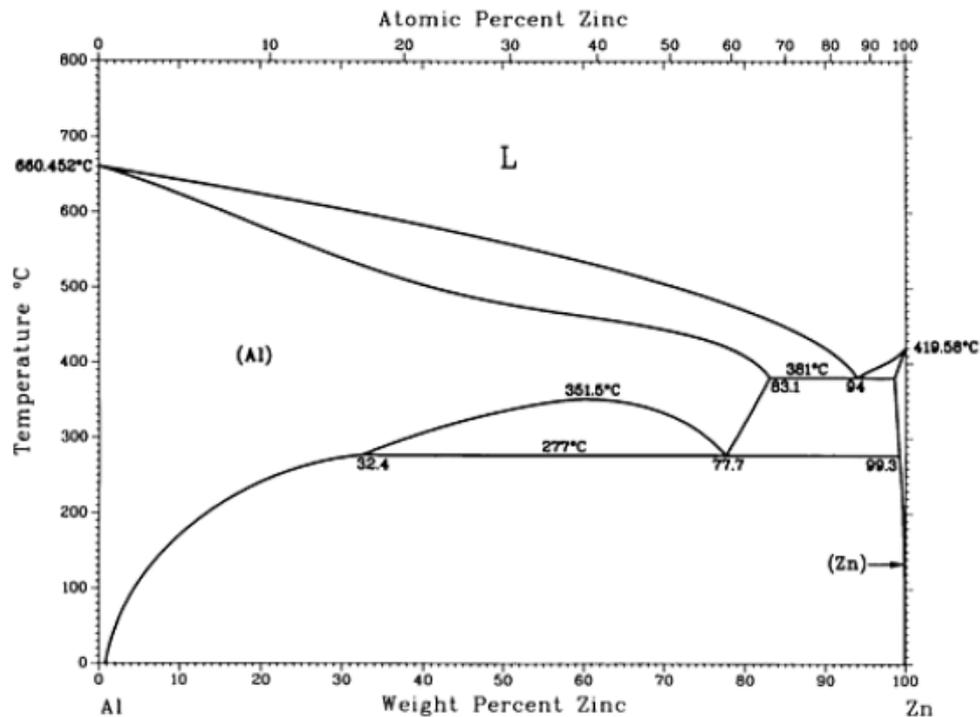


Figura 2.17 Diagrama de fase Al-Zn [21]

2.2.4 Ingeniería de Materiales

La ingeniería de materiales es la ciencia encargada de la investigación, desarrollo y pruebas de nuevos materiales con la finalidad de determinar propiedades mecánicas a partir de ensayos y pruebas normalizadas en laboratorio, las cuales permiten reproducir de manera muy aproximada las condiciones de servicio a las que estará sometido un elemento determinado [22].

2.2.4.1 Ensayo de tensión

El ensayo de tensión mide la resistencia de un material a una fuerza gradualmente aplicada en forma uniaxial a lo largo de una probeta normalizada de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM_E8, la misma que es colocada en una máquina de ensayos universal hasta llegar a la rotura, donde se efectúa la medición del alargamiento que se produce en función de la carga aplicada [22].

Durante el ensayo, la deformación está confinada en la región más estrecha del centro, la cual tiene una sección uniforme a lo largo de su longitud; la probeta se monta con sus extremos en las mordazas de la máquina de ensayos. Los parámetros a considerar

en este ensayo son la tensión nominal y deformación nominal, definidas mediante las siguientes relaciones [23]:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 5}$$

$\sigma \rightarrow$ tensión nominal (Pa)

$F \rightarrow$ carga instantánea aplicada perpendicularmente (N)

$A \rightarrow$ área de la sección original antes de aplicar la carga (m^2)

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \quad \text{Ec. 6}$$

$\epsilon \rightarrow$ deformación nominal

$\Delta l \rightarrow$ variación de longitud de la probeta (mm)

$l_0 \rightarrow$ longitud inicial de la probeta (mm)

$l_f \rightarrow$ longitud final de la probeta (mm)

La manera de representar los datos del ensayo es mediante la curva esfuerzo – deformación como la que se muestra en la Figura 2.18:

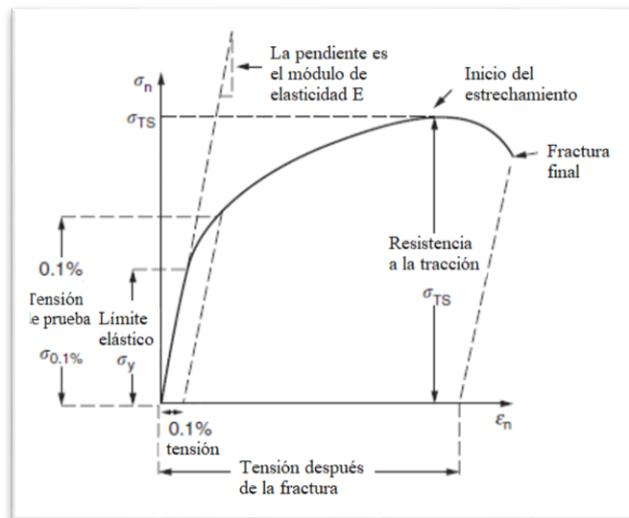


Figura 2.18 Curva esfuerzo – deformación [24]

Las propiedades mecánicas que se obtienen a partir de la prueba de tensión son resistencia a la fluencia, resistencia última a la tensión, módulo de elasticidad, la ductilidad, la cual está en función del porcentaje de elongación o de reducción en el área [22].

2.2.4.2 Probeta ensayo de tensión

Las probetas normalizadas para el desarrollo de ensayos de pulvimetalurgia estipulada en la Norma ASTM_E8 debe cumplir con las dimensiones especificadas en la Figura 2.19 y Tabla 2.4:

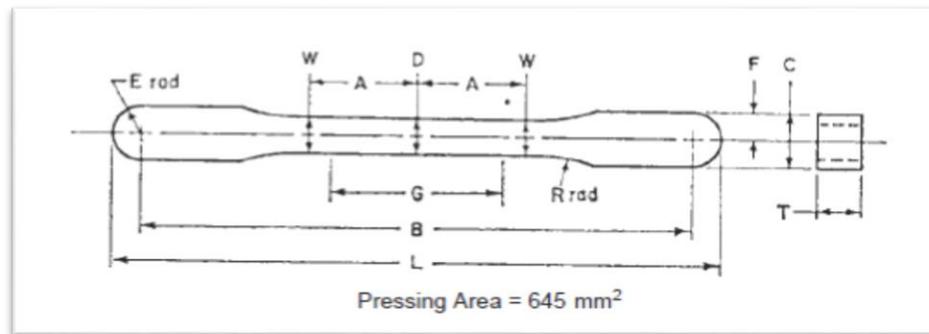


Figura 2.19 Probeta para prueba de tensión no mecanizada plana estándar para productos de pulvimetalurgia [25]

Tabla 2.4 Dimensiones de la probeta de tensión [25]

Dimensiones, mm	
G- Longitud de calibre	25.40±0.8
D- Ancho en el centro	5.72±0.03
W- Ancho al final de la sección reducida	5.97±0.03
T- Espesor de compacto	3.56 a 6.35
R- Radio de filete	25.4
A- Mitad de la longitud de la sección reducida	15.88
B- Longitud de agarre	80.95±0.03
L- longitud total	89.64±0.03
C- Ancho de la sección de agarre	8.71±0.03
F- Mitad del ancho de la sección de agarre	4.34±0.03
E- Radio final	4.34±0.03

2.2.4.3 Máquina de ensayos universal - Deformímetro

La Figura 2.20 muestra una máquina de ensayos universal diseñada para alargar la probeta a una velocidad constante y controlada, medir continua y simultáneamente la carga instantánea aplicada y el alargamiento resultante. La presión necesaria para el desarrollo de la prueba se consigue mediante placas o mandíbulas accionadas por tornillos o un sistema hidráulico; es necesario recalcar que la máquina debe estar calibrada y encerada para evitar mediciones erróneas [23].



Figura 2.20 Máquina de ensayos universal [26]

El deformímetro es un instrumento que se adapta a la probeta del material a ensayar y sirve para medir pequeñas deformaciones lineales en función de la carga aplicada; la apreciación, parámetro que establece el error de medición durante el ensayo está dado por el tipo de deformímetro, siendo el más preciso el digital mostrado en la Figura 2.21 b) [23].



Figura 2.21 a) Deformímetro análogo b) Deformímetro digital [26]

2.2.4.4 Ensayo de dureza

El ensayo de dureza consiste en cuantificar la resistencia a la penetración del material en estudio por un objeto duro; las pruebas mayormente utilizadas son la de Rockwell y la de Brinell, las cuales permiten determinar la macrodureza o resistencia a los rayones o indentación [22].

La norma ASTM_E10 establece los parámetros para el desarrollo del ensayo de dureza Brinell, donde establece el uso de una esfera de acero duro, la cual es aplicada mediante una fuerza sobre la superficie del material en estudio y se mide el diámetro de la impresión (ver Figura 2.22), para calcular la dureza con la expresión [27]:

$$HBW = 0.102 * \frac{2F}{\pi * D * (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad \text{Ec. 7}$$

$D \rightarrow$ diámetro de la bola (mm)

$F \rightarrow$ carga aplicada (N)

$d \rightarrow$ diámetro de la indentación (mm)

El tamaño de la bola estándar utilizada para el ensayo es de 10 ± 0.005 mm y debe estar libre de defectos superficiales. No existe una forma o tamaño estándar para la probeta de ensayo de dureza Brinell, pero debe cumplir las siguientes características [27]:

- El espesor de la probeta deberá ser por lo menos diez veces la profundidad de la indentación.
- La distancia del centro de la indentación al borde de la muestra o el borde de otra indentación debe ser al menos dos veces y media el diámetro de la misma.
- La indentación debe estar claramente definida para permitir la medición de su diámetro con precisión.

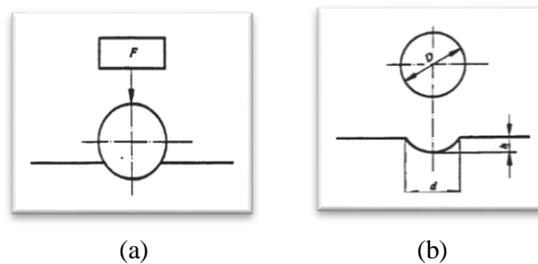


Figura 2.22 Ensayo de dureza a) fuerza aplicada b) diámetro de indentación [27]

2.2.4.5 Ensayo de impacto

El ensayo de impacto es desarrollado mediante la utilización del péndulo Charpy, el cual consiste en dejarlo caer desde una altura determinada e impactar una probeta

normalizada de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM_E23, con la finalidad de cuantificar la energía absorbida por el material [28].

Las dimensiones de la probeta normalizada se muestran en la Figura 2.23:

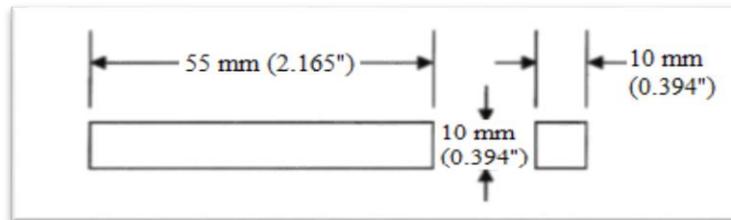


Figura 2.23 Probeta para el ensayo de impacto [28]

2.2.5 Propiedades mecánicas

Las propiedades mecánicas de los materiales dependen de su composición, microestructura y los esfuerzos asociados en su proceso de fabricación; estas propiedades describen el comportamiento de un material determinado al aplicarle fuerzas de diferente tipo como tracción, compresión, torsión, entre otras [29].

2.2.5.1 Fluencia y límite elástico

Es importante conocer el nivel de tensiones en el que empieza la deformación plástica, es decir, cuando ocurre el fenómeno de fluencia, en el caso de los metales que experimentan una transición elastoplástica de forma gradual; el punto de fluencia puede determinarse como la desviación inicial de la linealidad de la curva esfuerzo – deformación, este punto se conoce como límite proporcional [24].

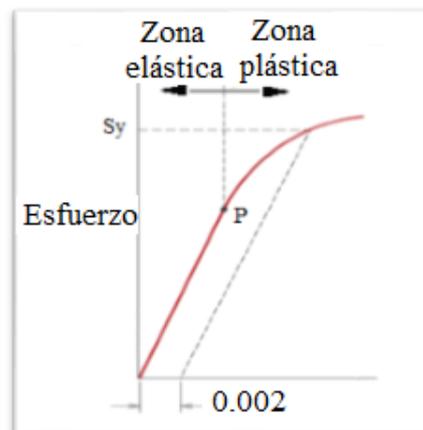


Figura 2.24 Deformación elastoplástica, límite proporcional P y límite elástico σ_y [23]

Para determinar la posición del límite elástico se ha establecido una convención por la cual se traza una línea recta paralela a la línea elástica del diagrama a una determinada deformación, generalmente 0,002, como se muestra en la Figura 2.24 [23].

2.2.5.2 Resistencia última a la tensión

Representa la máxima tensión que se alcanza en la curva esfuerzo deformación que se aprecia en la Figura 2.25; se determina trazando una línea horizontal desde el punto máximo de la curva hasta el eje de tensiones. Las probetas para el ensayo de este método presentan una zona de estricción o decrecimiento localizado; mientras más dúctil sea el material analizado, mayor es la estricción hasta llegar a la fractura [30].

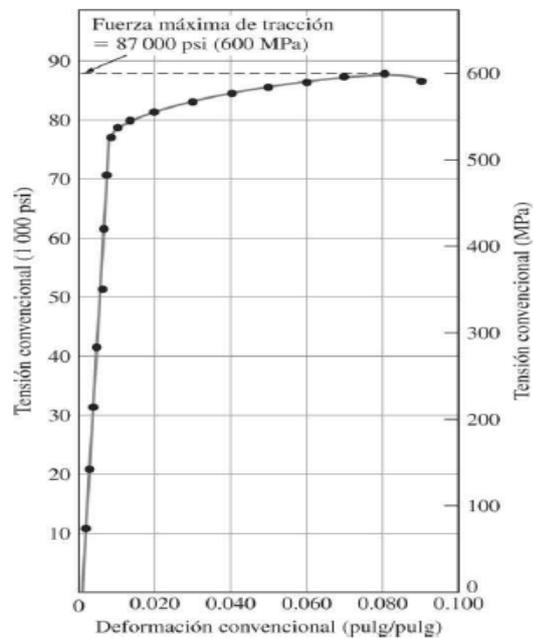


Figura 2.25 Resistencia última a la tensión – diagrama esfuerzo deformación [29]

2.2.5.3 Módulo de Elasticidad

El módulo de elasticidad está relacionado con la fuerza de enlace entre los átomos del material, se lo puede determinar con el ensayo de tracción, a partir de la zona elástica del diagrama esfuerzo deformación mediante la ecuación [23]:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad \text{Ec. 8}$$

$E \rightarrow$ módulo de elasticidad (Pa)

$\epsilon \rightarrow$ deformación nominal

$\sigma \rightarrow$ esfuerzo (Pa)

2.2.5.4 Dureza

La dureza es un parámetro que mide la resistencia que presenta un material a la deformación permanente que incluye penetración, abrasión y rayado. La Figura 2.26 muestra los tipos de indentadores y huellas producidas dependen del tipo de dureza, siendo los más comunes: Brinell, Vickers, Knoop y Rockwell [30].

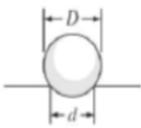
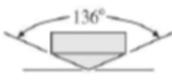
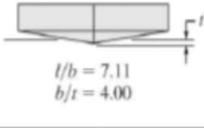
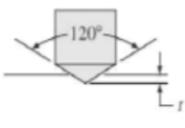
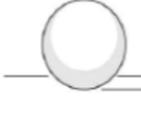
Ensayo	Penetrador	Forma del penetrador		Carga	Fórmula del número de dureza
		Vista lateral	Vista en planta		
Brinell	Esfera de 10 mm fabricada de acero o carburo de wolframio			P	$BHN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Vickers	Pirámide de diamante			P	$VHN = \frac{1.72P}{d_1^2}$
Microdureza Knoop	Pirámide de diamante			P	$KHN = \frac{14.2P}{l^2}$
Rockwell	Cono de diamante			60 kg $R_A =$ 150 kg $R_C =$ 100 kg $R_D =$	100-500f
A } C } D }					
B } F } G }	Esfera de acero de $\frac{1}{16}$ pulgadas			100 kg $R_B =$ 60 kg $R_F =$ 150 kg $R_G =$	130-500f
E	Esfera de acero de $\frac{1}{8}$ pulgadas				

Figura 2.26 Indentadores y huella en función del tipo de dureza [30]

El tipo de dureza a determinar depende del material a analizar, lo recomendable es dureza Brinell para materiales blandos como es el caso del aluminio, material a analizar en esta investigación.

2.2.6 Características de los elementos aleantes

2.2.6.1 Aluminio 1060

El aluminio 1060 se caracteriza por su alta conductividad térmica y eléctrica, buenas propiedades de trabajabilidad, por lo que es comúnmente utilizado para la fabricación de planchas, placas, alambres y aplicado en carrocerías, fuselajes de aeronaves, aparatos reflectantes, intercambiadores de calor, entre otros [31].

La Tabla 2.5 muestra algunas de las propiedades del aluminio 1060.

Tabla 2.5 Composición y propiedades del Aluminio 1060 [31]

Composición química							
Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (%)	Mg (%)	Zn (%)	Ti (%)	Otros
0.25	0.35	0.05	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03
Propiedades físicas y mecánicas							
Propiedad		Magnitud		Unidad			
Resistencia a la tracción		53,93		MPa			
Límite de Fluencia		29,4		MPa			
Módulo de Elasticidad		68,67		MPa			
Dureza Brinell		19		---			
Densidad		2710		Kg/m ³			
Temperatura de fusión		660.452		°C			

2.2.6.2 Zinc

El zinc es un elemento dúctil y maleable, aunque impurezas en pequeñas cantidades lo vuelven quebradizo, es buen conductor de calor y electricidad, en las aleaciones con aluminio, es utilizado en porcentajes que va desde el 1% hasta el 8%, con lo que se modifica las propiedades a más de aumentar su resistencia a la corrosión [31].

Tabla 2.6 Propiedades físicas y mecánicas del zinc [31]

Propiedades físicas y mecánicas		
Propiedad	Magnitud	Unidad
Resistencia a la tracción	137	MPa
Dureza Brinell	38	---
Densidad	7140	Kg/m ³
Temperatura de fusión	419.5	°C

2.3 Fundamentación Filosófica

La presente investigación está basada en el paradigma crítico propositivo, debido a que parte de interrogantes existentes con respecto a procesos de fabricación alternativos, específicamente el método de aleación mecánica a partir de polvo metálico, problema actual de la industria metalúrgica nacional; con la finalidad de establecer ventajas y desventajas en relación a procesos tradicionales de obtención de aleaciones, mediante el estudio y desarrollo de ensayos que permitan cuantificar el efecto de la adición en porcentajes en peso controlados de zinc sobre el aluminio 1060 sobre la resistencia última a la tensión, dureza e impacto, propiedades mecánicas de interés dentro del diseño, lo cual representará un aporte en el desarrollo del ámbito de Ingeniería de Materiales.

2.4 Fundamentación legal

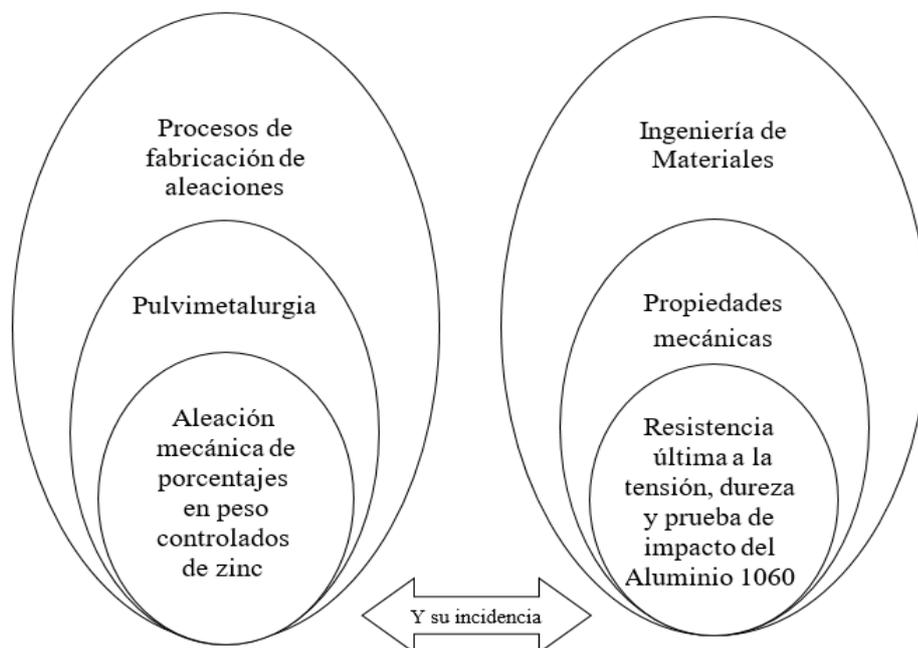
La elaboración de probetas y ensayos serán desarrollados en base a lo estipulado en las normas siguientes:

ASTM E8 Ensayo de tracción de materiales metálicos.

ASTM E10 Método de prueba estándar para dureza Brinell de materiales metálicos.

ASTM E23 Prueba de impacto de materiales metálicos.

2.5 Categorías fundamentales



2.6 Hipótesis

La aleación mecánica de porcentajes en peso controlados de zinc incide en la resistencia última a la tensión, dureza y prueba de impacto del Aluminio 1060.

2.7 Señalamiento de variables

2.7.1 Variable independiente

Aleación mecánica de porcentajes en peso controlados de zinc.

2.7.2 Variable dependiente

Resistencia última a la tensión, dureza y prueba de impacto del aluminio 1060.

2.7.3 Término de relación

Incidencia

CAPÍTULO 3

3.1 Enfoque

En el proceso de investigación se realizarán análisis cuantitativos, debido a que se recolectarán datos e información a partir de los ensayos a desarrollar, con los cuales se determinará la magnitud de la resistencia última a la tensión, dureza y energía absorbida por medio de la prueba de impacto de la aleación mecánica en estudio bajo condiciones prestablecidas, para el posterior procesamiento e interpretación de los resultados obtenidos.

3.2 Modalidad Básica de la investigación

3.2.1 Experimental

Es necesario el desarrollo de obtención de probetas normalizadas y posterior ejecución de ensayos mecánicos; específicamente tracción, dureza y prueba de impacto bajo normativa dada por la ASTM con la finalidad de cuantificar y analizar la resistencia última a la tensión, dureza Brinell y energía absorbida en función de los parámetros de variación establecidos, correcta utilización de los equipos del Laboratorio de Materiales de la FICM y apoyo del Centro de Fomento Carrocero.

3.2.2 Bibliográfico

Para obtener como parámetros de entrada, información actualizada y validada, a partir de fuentes como libros, artículos técnicos, y tesis relacionadas con pulvimetalurgia y aleación mecánica necesaria para tratar el problema a investigar.

3.3 Nivel o tipo de investigación

3.3.1 Exploratorio

Debido a que amerita una indagación en el ámbito de aleación mecánica mediante un tipo de investigación flexible que permita cuantificar algunas de las propiedades mecánicas conseguidas por la adición de porcentajes en peso controlados de zinc en el aluminio 1060, mediante la técnica de pulvimetalurgia, información que actualmente

es limitada; para su posterior procesamiento e interpretación que permitirá el desarrollo de nuevos estudios comparativos y/o complementarios para posibles aplicaciones industriales.

3.3.2 Descriptivo

Puesto que se describirá el proceso de aleación mecánica a desarrollar desde el método utilizado para la obtención de los polvos metálicos, proceso de compactación, sinterización y ensayos de tracción, dureza e impacto realizados, para documentar técnicamente la investigación.

3.3.3 Asociación de variables

Debido a que se determinará si existe una relación directa o inversamente proporcional entre el porcentaje en peso de zinc y las propiedades mecánicas en estudio con la finalidad de establecer la relación y posible asociación de variables.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Aleación mecánica de aluminio 1060 con porcentajes controlados en peso de zinc, sometido a un proceso de compactación y sinterización.

3.4.2 Muestra

La técnica de muestreo aplicada en la investigación es no probabilística, la cual se basa en un criterio en base al juicio, aplicado con respecto a estudios e investigaciones previas, donde se establece que el número mínimo requerido de probetas para el desarrollo de los ensayos es de cinco para cada caso de estudio.

En las Tablas 3.1 a 3.3 se especifica los parámetros que conlleva cada uno de los casos de estudio a desarrollar de la aleación mecánica de aluminio 1060 con porcentajes controlados en peso de zinc y temperatura de sinterización bajo las normas correspondientes para tracción ASTM E8, dureza ASTM E10 e impacto ASTM E23, con el número de probetas a ensayar en cada uno de ellos.

Tabla 3.1 Muestras ensayo de tracción

Ensayo	Norma	Porc. Zinc	Temp. Sint.	No. Probetas
Tracción	ASTM E8	0,5 %	462 °C	5
			594 °C	5
		1,0 %	462 °C	5
			594 °C	5
		1,5 %	462 °C	5
			594 °C	5
TOTAL			30	

Tabla 3.2 Muestras ensayo de dureza Brinell

Ensayo	Norma	Porc. Zinc	Temp. Sint.	No. Indentaciones
Dureza Brinell	ASTM E10	0,5 %	462 °C	15
			594 °C	15
		1,0 %	462 °C	15
			594 °C	15
		1,5 %	462 °C	15
			594 °C	15
TOTAL			90	

Tabla 3.3 Muestras ensayo de impacto

Ensayo	Norma	Porc. Zinc	Temp. Sint.	No. Probetas
Impacto	ASTM E23	0,5 %	462 °C	5
			594 °C	5
		1,0 %	462 °C	5
			594 °C	5
		1,5 %	462 °C	5
			594 °C	5
TOTAL			30	

3.5 Operacionalización de variables

3.5.1 Variable Independiente

Aleación mecánica de porcentajes en pesos controlados de zinc.

Tabla 3.4 Operacionalización de Variable Independiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La aleación mecánica de porcentajes controlados en peso de zinc con aluminio 1060 consiste en producir y tratar el polvo del metal base y elemento aleante bajo condiciones de proceso preestablecidas.	-Adición de zinc	- Porcentajes en peso de zinc	0,5 % 1,0 % 1,5 %	- Balanza digital - Hojas de registro
	-Condiciones de proceso de aleación mecánica	- Temperatura de sinterizado	462 °C 594 °C	- Equipo de compactado y sinterizado. - Termómetro - Hojas de registro

3.5.2 Variable Dependiente

Resistencia última a la tensión, dureza y prueba de impacto del aluminio 1060.

Tabla 3.5 Operacionalización de Variable Dependiente

CONCEPTUALIZACIÓN	CATEGORÍAS	INDICADORES	ÍNDICE	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
La evaluación del comportamiento de la resistencia última a la tensión, dureza e impacto del aluminio 1060 consiste en efectuar ensayos bajo normas ASTM y especificaciones técnicas de los equipos utilizados.	- Tensión	- Límite de fluencia - Resistencia última a la tracción	¿Cuál es el valor del límite de fluencia? ¿Cuál es la resistencia a la tracción?	- Norma ASTM E8 - Máquina Universal - Fichas para recolección de datos de ensayos
	- Dureza	- Dureza Brinell	¿Cuál es el valor de la dureza Brinell?	- Norma ASTM E10 - Indentador - Fichas para recolección de datos de ensayos
	- Impacto	- Energía residual	¿Cuál es el valor de la energía residual?	- Norma ASTM E23 - Péndulo Charpy - Fichas para recolección de datos de ensayos

3.6 Recolección de la información

La Figura 3.1 muestra el proceso de recolección de la información pertinente a métodos utilizados en pulvimetalurgia y aleación mecánica mediante la técnica Bibliográfica, proveniente de libros, tesis y artículos técnicos relacionados; y la técnica De Campo, a través del desarrollo de los ensayos mecánicos necesarios para obtener y procesar los datos de las propiedades en estudio: tracción, dureza e impacto, para lo cual es indispensable el uso de las instalaciones y equipos del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica y Centro de Fomento Carrocero.

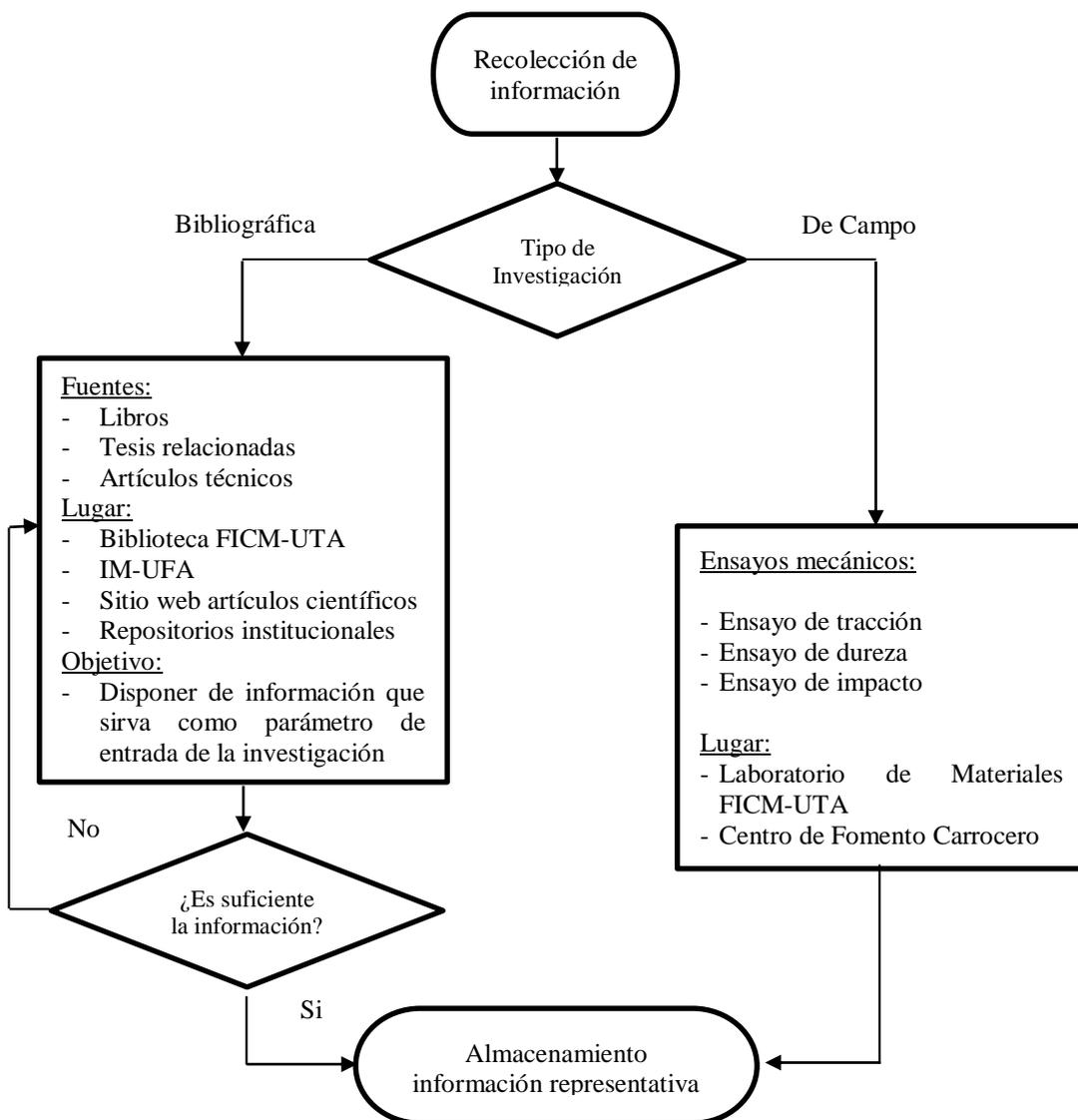


Figura 3.1 Proceso de recolección de la información

3.7 Procesamiento y análisis

Una vez recolectada la información referente a los datos cuantitativos obtenidos de las propiedades mecánicas en estudio, se procederá a clasificarla y organizarla de manera que facilite su interpretación mediante la tabulación y aplicación de estadística inferencial que permita generalizar los datos procesados de una muestra a la población, a través de la técnica de Fisher, para determinar la incidencia de cada una de las variables controladas, porcentaje de elemento aleante y temperatura de sinterización sobre las propiedades mecánicas, e interacción entre las mismas, relacionando así las variables de la investigación para generar conclusiones y recomendaciones válidas y objetivas, como se muestra en el flujograma estipulado en la Figura 3.2.

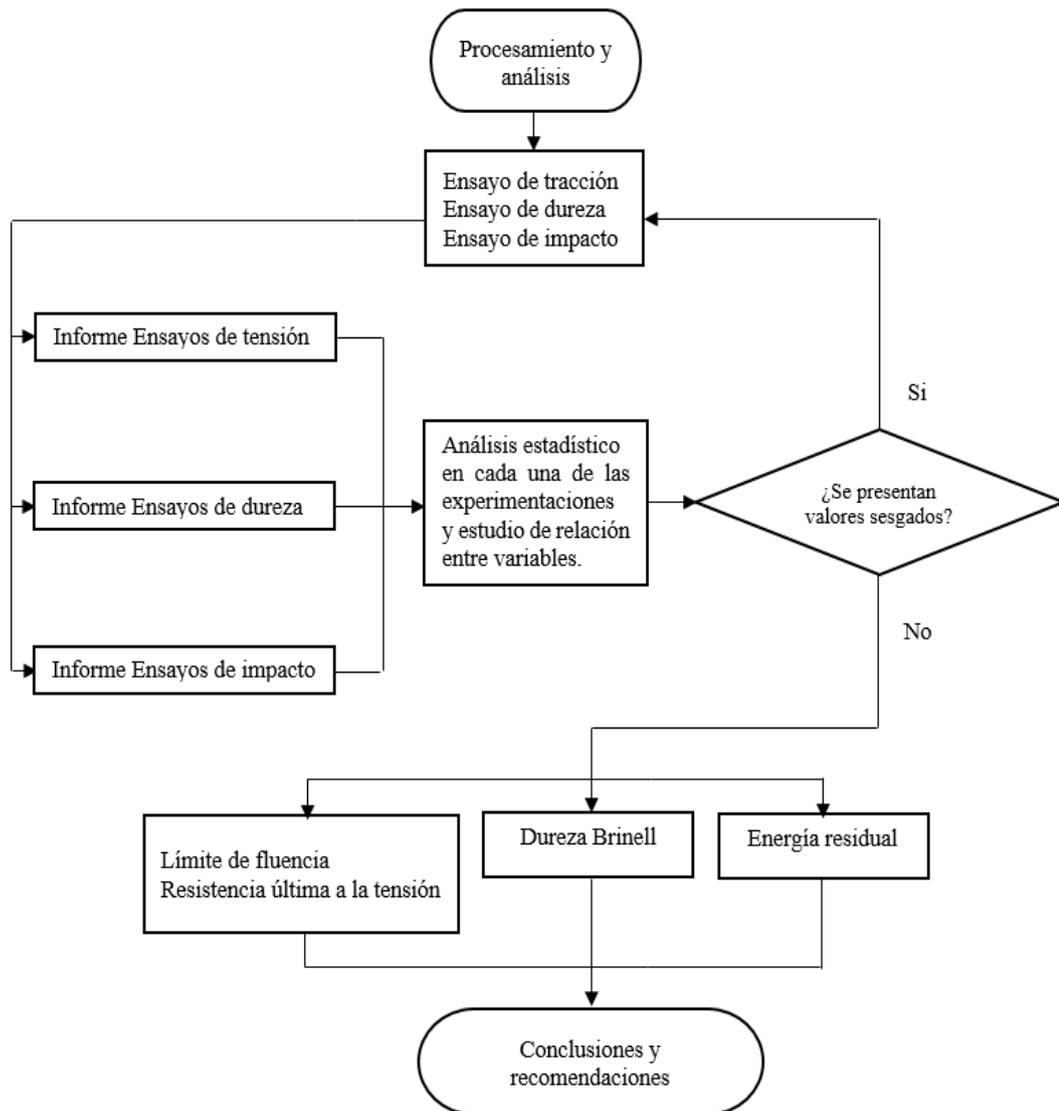
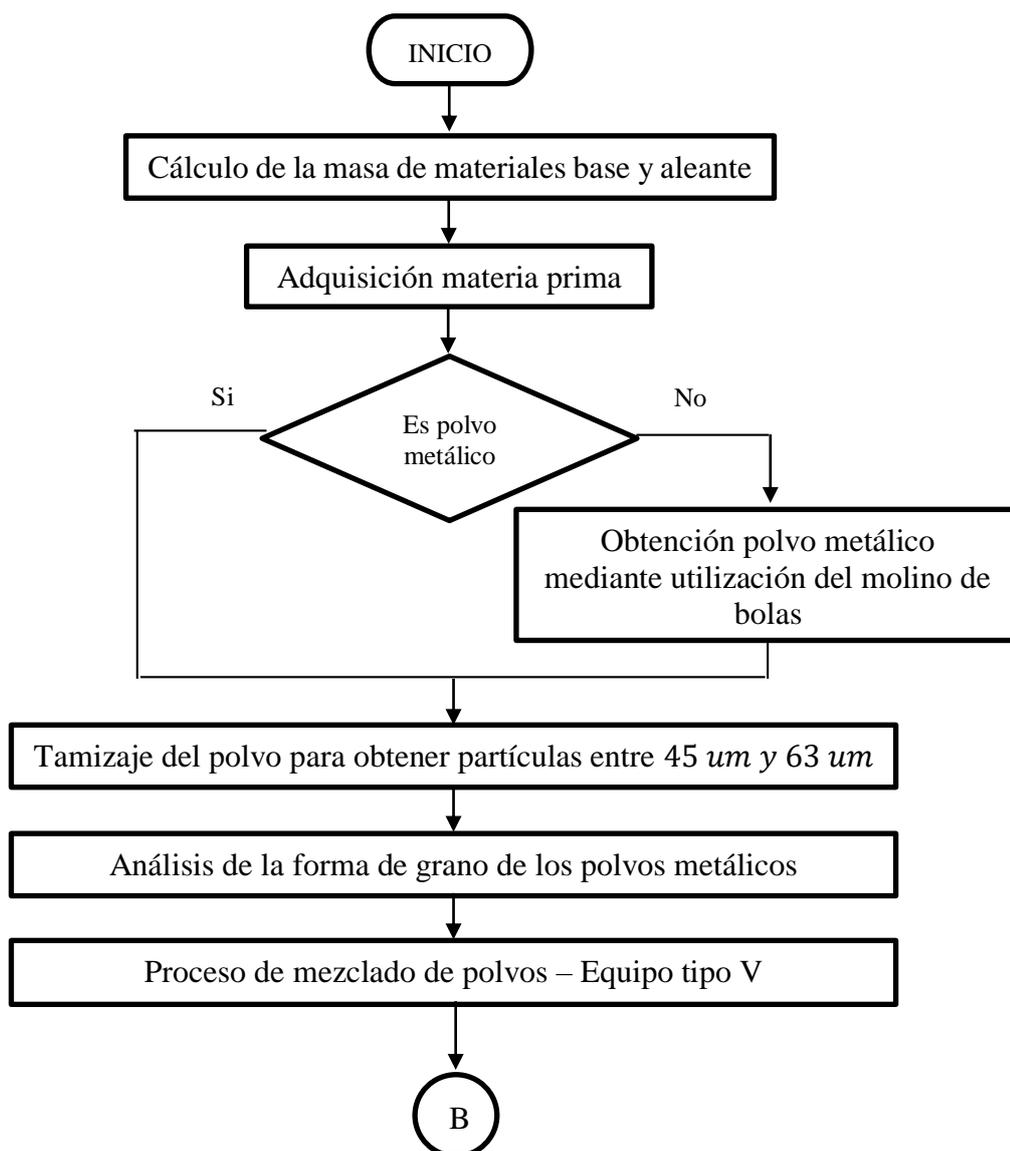


Figura 3.2 Procesamiento y análisis de datos de ensayos mecánicos

CAPÍTULO 4

4.1 Análisis de los resultados

En esta etapa de la investigación se especifica el proceso desarrollado de forma sistemática como se muestra en el flujograma de la Figura 4.1, con la finalidad de analizar e interpretar los resultados obtenidos en los ensayos y así lograr los objetivos propuestos.



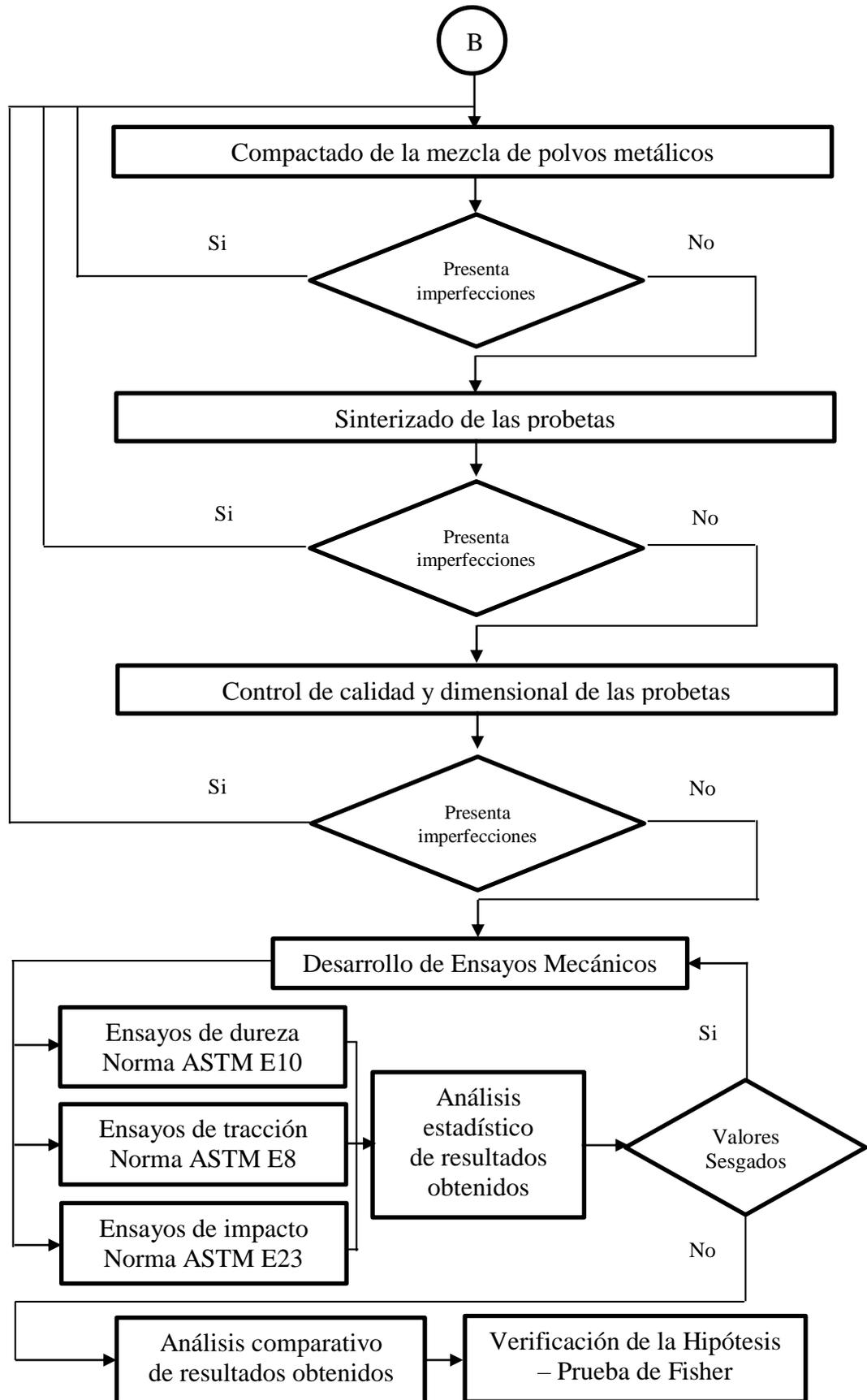


Figura 4.1 Proceso de la investigación y análisis de resultados

4.1.1 Cálculo de la masa de materiales base y aleante

El porcentaje en peso del elemento aleante determina la cantidad de masa necesaria de sí misma y del material base para el desarrollo de los estudios planificados, cantidades que son directamente proporcionales al volumen y número requerido de probetas.

4.1.1.1 Masa de las probetas para el ensayo de tracción

Las probetas para el ensayo de tracción de productos de pulvimetalurgia, estipulado en la Norma ASTM-E8, establece el área de presión longitudinal y su espesor, como se indica en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Dimensiones de la probeta de tracción [25]

Parámetro	Magnitud	Unidad
Área longitudinal	645	mm^2
Espesor	3,56 – 6,35	mm

De esta manera, se determina el volumen mínimo necesario por probeta, donde la magnitud del espesor al estar dada por un rango se opta por trabajar con su valor medio:

$$V = A * T \quad \text{Ec. 9}$$

$$V = 6,45 \text{ cm}^2 * (0,5 \text{ cm})$$

$$V = 3,225 \text{ cm}^3$$

$V \rightarrow$ volumen de la probeta de tracción (cm^3)

$A \rightarrow$ área longitudinal de la probeta de tracción (cm^2)

$T \rightarrow$ espesor medio de la probeta de tracción (cm)

Mediante las siguientes ecuaciones se determina la masa necesaria de los materiales base y aleante:

$$m_a = \frac{P}{100} * m$$

$$m_a = \frac{P}{100} * (m_a + m_b)$$

$$m_a = \frac{P * m_b}{100 - P} \quad \text{Ec. 10}$$

$m_a \rightarrow$ masa del material aleante – Zinc (g)

$m_b \rightarrow$ masa del material base – Al 1060(g)

$m \rightarrow$ masa total por probeta (g)

$P \rightarrow$ porcentaje en peso del material aleante

$$V_a + V_b = V$$

$$\frac{m_a}{\delta_a} + \frac{m_b}{\delta_b} = V \quad \text{Ec. 11}$$

$V_a \rightarrow$ volumen del material aleante – Zinc (cm^3)

$V_b \rightarrow$ volumen del material base – Al 1060 (cm^3)

$V \rightarrow$ volumen de la probeta de tracción (cm^3)

$\delta_a \rightarrow$ densidad del material aleante – Zinc (g/cm^3)

$\delta_b \rightarrow$ densidad del material base – Al 1060 (g/cm^3)

Al reemplazar la Ec. 10 en la Ec. 11 se obtiene la ecuación que permite hallar la masa del material base necesario para cada probeta a ensayar.

$$\frac{P * m_b}{(100 - P)\delta_a} + \frac{m_b}{\delta_b} = V$$

$$m_b = \frac{V}{\frac{P}{(100 - P)\delta_a} + \frac{1}{\delta_b}} \quad \text{Ec. 12}$$

De la Ec. 12, se obtiene la ecuación que permite determinar la masa del material aleante, una vez conocida la masa del material base.

$$m_a = \delta_a \left(V - \frac{m_b}{\delta_b} \right) \quad \text{Ec. 13}$$

En la Tabla 4.2 se presenta los datos obtenidos de la masa necesaria de cada material en estudio a partir de las siguientes ecuaciones:

$$m_{bi} = m_b * n * f \quad \text{Ec. 14}$$

$$m_{ai} = m_a * n * f \quad \text{Ec. 15}$$

$$m_{bT} = \sum_{i=1}^3 m_{bi} \quad \text{Ec. 16}$$

$$m_{aT} = \sum_{i=1}^3 m_{ai} \quad \text{Ec. 17}$$

m_{bi} → masa del material base por estudio – Al 1060

m_{ai} → masa del material aleante por estudio – zinc

m_{bT} → masa del material base total para probetas de tracción – Al 1060

m_{aT} → masa del material aleante total para probetas de tracción – zinc

n → número de probetas

Es necesario recalcar que el factor de corrección (f) es utilizado con la finalidad de evitar contratiempos en los procesos siguientes debido a que existe desperdicio de masa, incluso por la manipulación en cada una de las etapas; además se ha considerado 16 probetas (8 para cada temperatura de sinterización) por caso de estudio, puesto que existe la posibilidad de que algunas probetas no cumplan con el control dimensional o sufran algún tipo de daño durante el proceso.

Tabla 4.2 Masa total de las probetas para el ensayo de tracción

Datos de Entrada			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Densidad Al 1060	δ_b	2,71	g/cm^3
Densidad Zn	δ_a	7,14	g/cm^3
Volumen probeta	V	3,225	cm^3
Factor corrección	f	1,5	---
Masa materiales – Casos de estudio			
ESTUDIO 1			
Porcentaje (P)	0,5	No. probetas (n)	16
m_b (g)	m_{b1} (g)	m_a (g)	m_{a1} (g)
8,723	209,355	0,0438	1,052
ESTUDIO 2			
Porcentaje (P)	1,0	No. probetas (n)	16
m_b (g)	m_{b2} (g)	m_a (g)	m_{a2} (g)
8,706	208,953	0,0879	2,111
ESTUDIO 3			
Porcentaje (P)	1,5	No. probetas (n)	16
m_b (g)	m_{b3} (g)	m_a (g)	m_{a3} (g)
8,690	208,549	0,1323	3,176
Masa total probetas ensayo de tracción			
Masa material base (Al 1060) (g)		Masa material aleante (Zn) (g)	
m_{b1}	209,355	m_{a1}	1,052
m_{b2}	208,953	m_{a2}	2,111
m_{b3}	208,549	m_{a3}	3,176
m_{bT}	626,856	m_{aT}	6,339

4.1.1.2 Masa de las probetas para el ensayo de impacto

Las probetas para el ensayo de impacto de productos de pulvimetalurgia, estipulado en la Norma ASTM-E23, establece la longitud, el ancho y espesor requerido, como se indica en la Figura 4.2 y Tabla 4.3.

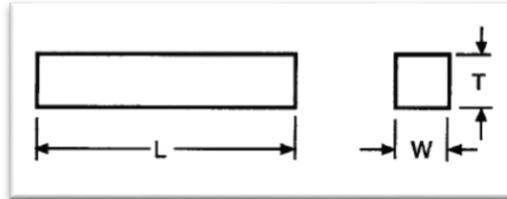


Figura 4.2 Probeta para el ensayo de impacto [28]

Con esta información, se determina el volumen mínimo requerido de material por probeta:

Tabla 4.3 Dimensiones de la probeta para el ensayo de impacto [28]

Parámetro	Magnitud	Unidad
Longitud	55	mm
Ancho	10	mm
Espesor	10	mm

$$V = L * W * T \quad \text{Ec. 18}$$

$$V = 5,5 \text{ cm} * 1 \text{ cm} * 1 \text{ cm}$$

$$V = 5,5 \text{ cm}^3$$

$V \rightarrow$ volumen de la probeta para ensayo de impacto (cm^3)

$A \rightarrow$ longitud de la probeta (cm)

$W \rightarrow$ ancho de la probeta (cm)

$T \rightarrow$ espesor de la probeta (cm)

Mediante las Ec. 11 –18, utilizadas para las probetas de tracción es factible también determinar la masa necesaria de los materiales base y aleante para las probetas de impacto; de la misma manera ha sido considerado un factor de corrección y una cantidad adicional de probetas, como se indica en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Masa total de las probetas para el ensayo de impacto

Datos de Entrada			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Densidad Al 1060	δ_b	2,71	g/cm^3
Densidad Zn	δ_a	7,14	g/cm^3
Volumen probeta	V	3,225	cm^3
Factor corrección	f	1,5	---
Masa materiales – Casos de estudio			
ESTUDIO 1			
Porcentaje (P)	0,5	No. probetas (n)	16
$m_b (g)$	$m_{b1} (g)$	$m_a (g)$	$m_{a1} (g)$
14,877	357,039	0,0748	1,794
ESTUDIO 2			
Porcentaje (P)	1,0	No. probetas (n)	16
$m_b (g)$	$m_{b2} (g)$	$m_a (g)$	$m_{a2} (g)$
14,848	356,354	0,1500	3,600
ESTUDIO 3			
Porcentaje (P)	1,5	No. probetas (n)	16
$m_b (g)$	$m_{b3} (g)$	$m_a (g)$	$m_{a3} (g)$
14,819	355,664	0,2257	5,416
Masa total probetas ensayo de impacto			
Masa material base (Al 1060) (g)		Masa material aleante (Zn) (g)	
m_{b1}	357,039	m_{a1}	1,794
m_{b2}	356,354	m_{a2}	3,600
m_{b3}	355,664	m_{a3}	5,416
m_{bl}	1069,057	m_{al}	10,810

4.1.1.3 Masa total requerida de los materiales base y aleante

Consiste en la sumatoria de las masas requeridas para el ensayo de tracción e impacto, como se muestra en la Tabla 4.5.

Tabla 4.5 Masa total requerida de los materiales base y aleante

Ensayo	Masa material base (Al 1060)	Masa material aleante (Zn)	Unidad
Tracción	626,856	6,339	gramos
Impacto	1069,057	10,810	gramos
TOTAL	1695,913	17,149	gramos

4.1.2 Adquisición de materia prima

Una vez determinada la cantidad mínima necesaria de masa del material base (Aluminio 1060) y material aleante (zinc) se procede a realizar la adquisición de cada uno de ellos de la siguiente manera:

4.1.2.1 Adquisición del Aluminio 1060

El Aluminio 1060 fue adquirido en forma de polvo (ver Figura 4.3) con un tamaño de partícula promedio de $30\ \mu\text{m}$, a través de la empresa Novachem del Ecuador localizada en la ciudad de Quito, entidad encargada de la importación y comercialización de equipos, reactivos y materiales en general para el ámbito industrial y de Investigación, la misma que proporcionó una ficha técnica del producto adquirido, elaborada por la Empresa productora LOBA Chemie – Segmento Alpha Chemicals, cuyas principales propiedades físicas están estipuladas en el Anexo 1.

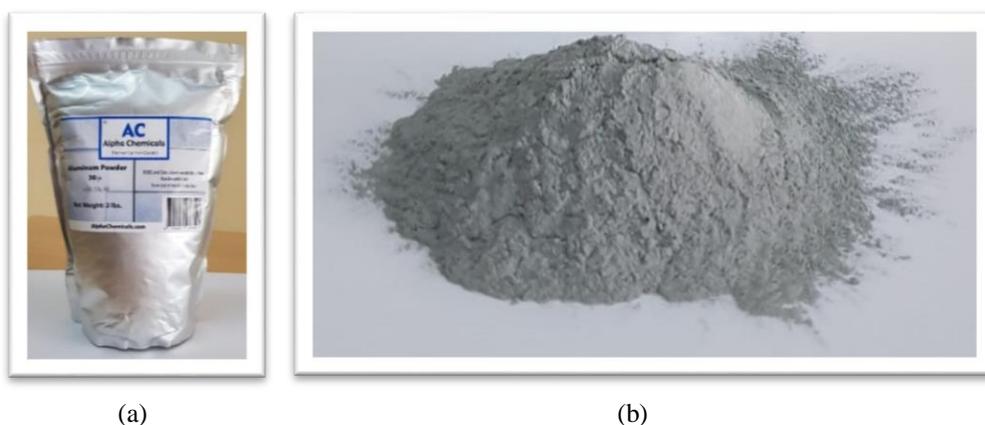


Figura 4.3 Aluminio 1060 - Al > 99.5% a) Empaquetadura al vacío b) Polvo

4.1.2.2 Adquisición de zinc

El zinc fue adquirido como sólido en forma de bloque como se muestra en la Figura 4.4, a través de la Industria Metalquímica Galvano, localizada en la ciudad de Quito.



Figura 4.4 Lingote de zinc 99% de pureza

4.1.3 Obtención de polvo de Zinc

Con la finalidad de facilitar el proceso de obtención de polvo metálico de zinc en el molino de bolas con el que cuenta el laboratorio de la FICM – UTA (ver Figura 4.5), en primera instancia se obtuvo viruta para su posterior proceso de molienda, el cual tuvo una duración de 8 horas aproximadamente, hasta conseguir la cantidad y tamaño requerido, debido a que de acuerdo a [14] y estudios previos establecen que a menor tamaño de partícula se consiguen mejores resultados.



Figura 4.5 a) Molino de bolas FICM – UTA. b) Polvo de zinc

4.1.4 Tamizaje de los polvos metálicos

Una vez obtenido el polvo metálico de los materiales base y aleante, se procede a tamizar cada uno de ellos, para clasificar las partículas y conseguir la cantidad requerida de polvo con el tamaño mínimo medible (45 – 63) μm en el equipo de tamizaje del laboratorio de la FICM – UTA que se muestra en la Figura 4.6.

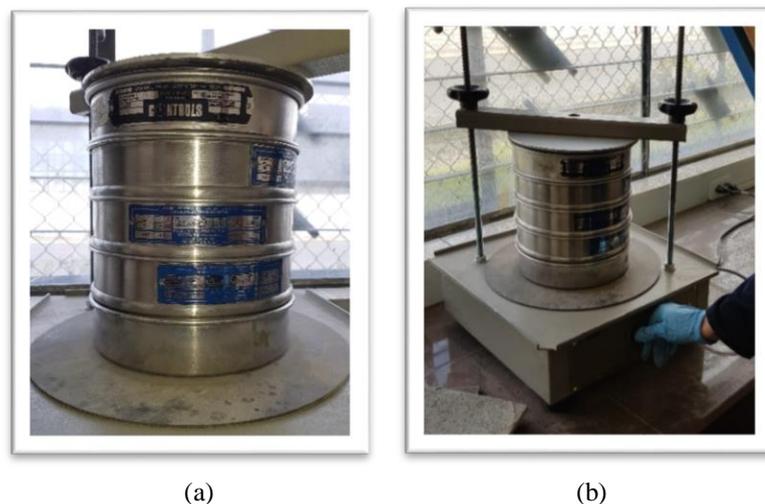
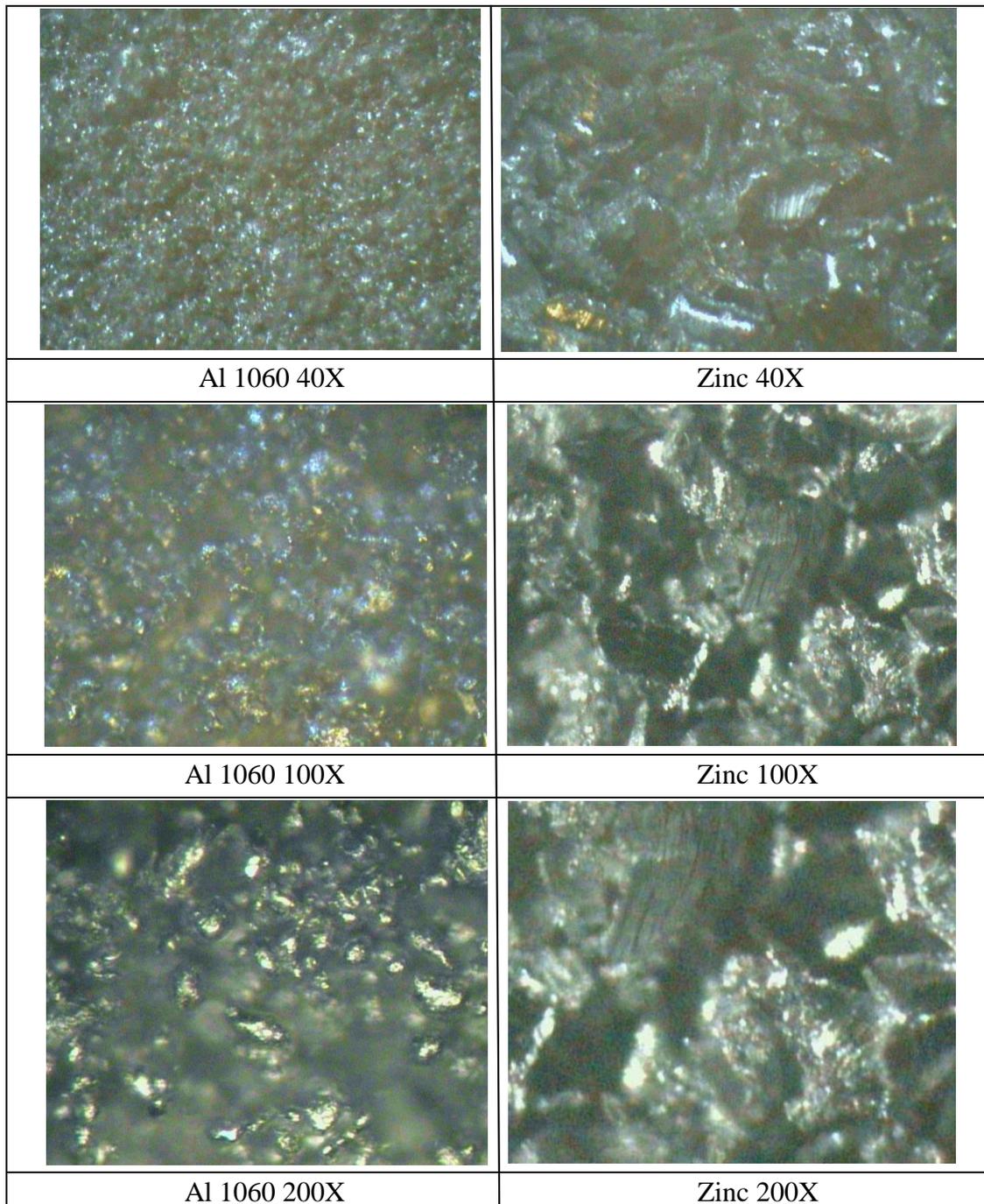


Figura 4.6 a) Equipo de tamizaje. b) Tamizaje del polvo metálico

4.1.5 Forma de partículas polvo metálico

Un parámetro fundamental que incide directamente sobre los resultados a obtener es la forma de la partícula, de acuerdo a [11], es recomendable formas irregulares como las que se observa en las fotografías de los polvos obtenidos y no circulares o simétricas para el mejor empaquetamiento de las partículas en los procesos posteriores.



(a)

(b)

Figura 4.7 Forma de la partícula a) Aluminio 1060. b) Zinc

4.1.6 Mezclado de polvos

Una vez definidas las masas de los elementos base y aleante para cada caso de estudio, se desarrolló el proceso de mezclado de los polvos mediante la utilización del equipo disponible en el laboratorio de materiales de la FICM en la Universidad Técnica de Ambato, el cual consta de recipientes en forma de V que giran sobre un eje como se muestra en la Figura 4.8, proceso que permite distribuir lo más uniformemente posible el elemento aleante sobre el material base, con la finalidad de evitar aglomeraciones en una zona específica, que incide negativamente sobre los procesos posteriores; el período de tiempo recomendado es mínimo de 15 minutos según [15], en este caso tuvo una duración de 45 minutos por cada proceso de mezclado.

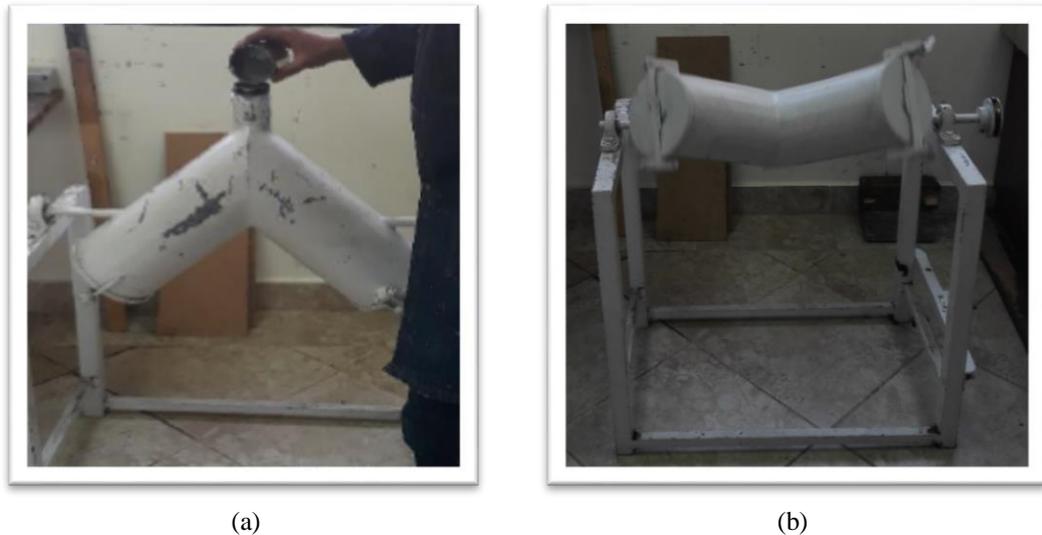


Figura 4.8 a) Equipo de mezclado tipo V. b) Proceso de mezclado de polvos

4.1.7 Proceso de Compactación

Una vez que se ha conseguido la mezcla apropiada, se procedió a desarrollar el compactado, mediante la colocación del polvo en los moldes desarrollados para la obtención de las probetas de tracción e impacto (ver Anexos 5 y 6), y por medio de la utilización de la máquina prensadora de los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (ver Figura 4.9) se aplicó una presión de 270 MPa, la cual se encuentra en el rango recomendado de presiones de compactación para polvos de aluminio (70-275 MPa), de acuerdo a lo estipulado por [20].



(a)

(b)

Figura 4.9 a) Máquina prensadora b) Proceso de compactación

4.1.8 Proceso de Sinterización

En el proceso de compactación se obtuvo las probetas en verde (frágiles y susceptibles a desintegrarse con facilidad), por lo que existe la necesidad del proceso de sinterización; es necesario recalcar que con la finalidad de evitar el contacto directo de éstas con el oxígeno (proceso de oxidación) durante el proceso, se ingresó las probetas recubiertas por arena refractaria, como se muestra en la Figura 4.10.



(a)

(b)

Figura 4.10 a) Arena refractaria b) Recubrimiento de las probetas con arena refractaria

La sinterización es un tratamiento térmico que consiste en someter las probetas a una temperatura comprendida entre el 70% y 90% de la temperatura de fusión de la aleación mecánica (Al-Zn), correspondientes a 462 y 594 °C respectivamente, por un período de 4 horas una vez alcanzada la temperatura mencionada, luego se procedió al enfriamiento lento dentro del horno durante 5 horas; proceso que fue desarrollado en

el horno del laboratorio de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UTA como se muestra en la Figura 4.11



Figura 4.11 Proceso de sinterización

Una vez concluido el proceso, se debe retirar la arena refractaria de las probetas a través de un proceso de limpieza mostrado en la Figura 4.12



Figura 4.12 Limpieza de arena refractaria

4.1.9 Control de calidad y dimensional de las probetas obtenidas

Una vez desarrollado el proceso de sinterización, se realizó una limpieza de las probetas y se procede con el control de calidad que consiste en una inspección visual para identificar zonas con presencia de oxidación y/o rechupes; además del control dimensional corroborado por el Centro de Fomento Carrocero (ver Anexos 7 y 8), donde se indica que cumple con los criterios dimensionales estipulados en las normas respectivas ASTM E8 para el ensayo de tracción y ASTM E23 para el ensayo de impacto, proceso que permitió descartar aquellas que no estaban aptas para el correcto desarrollo de los ensayos.

4.1.10 Codificación de probetas

Una vez seleccionadas las probetas que cumplen con los requerimientos para el desarrollo de los ensayos, se procede a establecer la codificación indicada en la Tabla 4.6, la cual permitirá diferenciar los casos de estudio que están en función del porcentaje en peso del material aleante (Zn) y temperatura de sinterización, para facilitar la identificación los resultados correspondientes a cada una de ellas.

Tabla 4.6 Codificación de las probetas

Nomenclatura	Significado
TT	TENSION TESTING
IT	IMPACT TESTING
P0.5	0.5%Zn – 99.5% Al1060
P1.0	1.0%Zn – 99.0% Al1060
P1.5	1.5%Zn – 98.5% Al1060
LT	Low Temperature 462°C
HT	High Temperature 594°C

A continuación, se muestra las probetas para el ensayo de tracción e impacto debidamente etiquetadas para cada uno de los casos de estudio en función de los estipulado en la Tabla 4.6.



Figura 4.13 Probetas para el ensayo de tracción codificadas y etiquetadas



Figura 4.14 Probetas para el ensayo de impacto codificadas y etiquetadas

4.2 Interpretación de los resultados

Una vez desarrollados los ensayos, se procede a tabular los datos obtenidos con la finalidad de facilitar su procesamiento e interpretación.

4.2.1 Resultados Ensayos

4.2.1.1 Resultados Ensayo de Dureza

El Ensayo de dureza se desarrolló de acuerdo a lo estipulado en la Norma ASTM – E10, que especifica lineamientos generales para obtener valores fiables (distancia al borde mayor a 2 mm – espesor de la muestra a ensayar mayor a 1.6 mm); se optó por desarrollar 15 mediciones en cada caso de estudio para un mejor procesamiento e interpretación de los datos, mediante el equipo Hardness Tester HBRV-187.5.

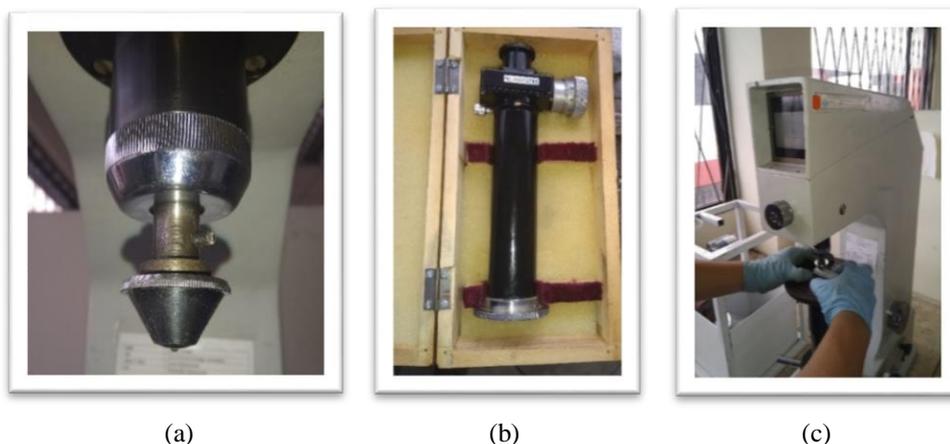


Figura 4.15 a) Cono y bola 5 mm. b) Microscopio para medición de huella. c) Ensayo de dureza

Tabla 4.7 Ensayo de Dureza Brinell HB-P0.5-LT

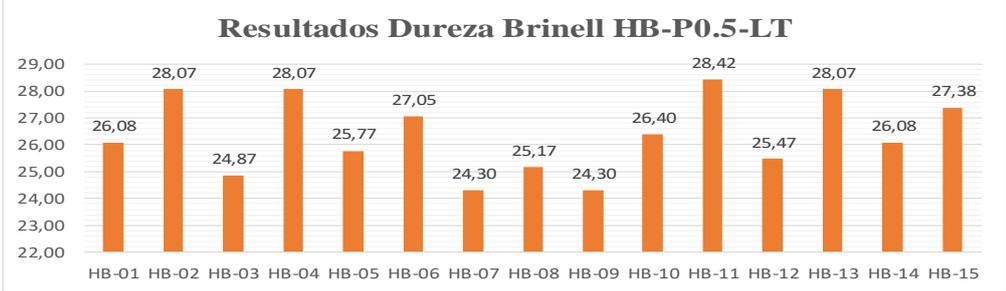
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO		
ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
CÓDIGO:	HB-P0.5-LT	HOJA:	01 de 06
FECHA:	4/12/2018	CIUDAD:	Ambato
LABORATORIO:	Laboratorio de Materiales Ingeniería Mecánica FICM-UTA		
EQUIPO:	Hardness Tester Model HBRV-187,5		
NORMA:	ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials		
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN			
Material base	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Material aleante:	Zinc - 0,5 % W
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos
Presión Compactado	270 MPa	Temperatura Sinterizado	462°C
CONDICIONES DEL ENSAYO			
Diámetro bola (D)	5 mm	Espesor probeta	5 mm
Distancia al borde	≥ 2 mm	Dist. entre penetraciones	≥ 2 mm
Carga aplicada (F)	612,9 N	Modelo matemático (HB)	$0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
Número	Diámetro Indent. d (mm)	Dureza Brinell (HB)	Error absoluto
HB-01	1,72	26,08	0,282
HB-02	1,66	28,07	1,700
HB-03	1,76	24,87	1,493
HB-04	1,66	28,07	1,700
HB-05	1,73	25,77	0,593
HB-06	1,69	27,05	0,682
HB-07	1,78	24,30	2,068
HB-08	1,75	25,17	1,198
HB-09	1,78	24,30	2,068
HB-10	1,71	26,40	0,034
HB-11	1,65	28,42	2,051
HB-12	1,74	25,47	0,898
HB-13	1,66	28,07	1,700
HB-14	1,72	26,08	0,282
HB-15	1,68	27,38	1,015
Promedio	1,71	26,37	1,184
Desviación Estándar	0,04	1,41	
GRÁFICAS DE RESULTADOS			
			
			
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda		Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López	
		Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López	

Tabla 4.8 Ensayo de Dureza Brinell HB-P1.0-LT

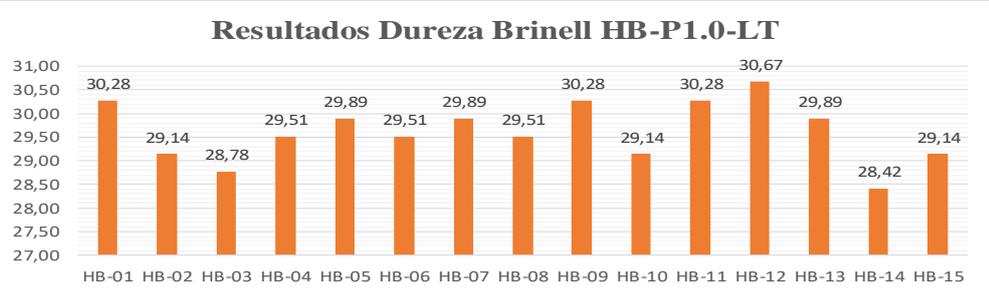
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO		
ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
CÓDIGO:	HB-P1.0-LT	HOJA:	02 de 06
FECHA:	4/12/2018	CIUDAD:	Ambato
LABORATORIO:	Laboratorio de Materiales Ingeniería Mecánica FICM-UTA		
EQUIPO:	Hardness Tester Model HBRV-187,5		
NORMA:	ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials		
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN			
Material base	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Material aleante:	Zinc - 1,0 % W
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos
Presión Compactado	270 MPa	Temperatura Sinterizado	462°C
CONDICIONES DEL ENSAYO			
Diámetro bola (D)	5 mm	Espesor probeta	5 mm
Distancia al borde	≥ 2 mm	Dist. entre penetraciones	≥ 2 mm
Carga aplicada (F)	612,9 N	Modelo matemático (HB)	$0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
Número	Diámetro Indent. d (mm)	Dureza Brinell (HB)	Error absoluto
HB-01	1,60	30,28	0,654
HB-02	1,63	29,14	0,480
HB-03	1,64	28,78	0,845
HB-04	1,62	29,51	0,109
HB-05	1,61	29,89	0,269
HB-06	1,62	29,51	0,109
HB-07	1,61	29,89	0,269
HB-08	1,62	29,51	0,109
HB-09	1,60	30,28	0,654
HB-10	1,63	29,14	0,480
HB-11	1,60	30,28	0,654
HB-12	1,59	30,67	1,047
HB-13	1,61	29,89	0,269
HB-14	1,65	28,42	1,203
HB-15	1,63	29,14	0,480
Promedio	1,62	29,62	0,509
Desviación Estándar	0,02	0,63	
GRÁFICAS DE RESULTADOS			
<p>Resultados Dureza Brinell HB-P1.0-LT</p> 			
			
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda		Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López	
		Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López	

Tabla 4.9 Ensayo de Dureza Brinell HB-P1.5-LT

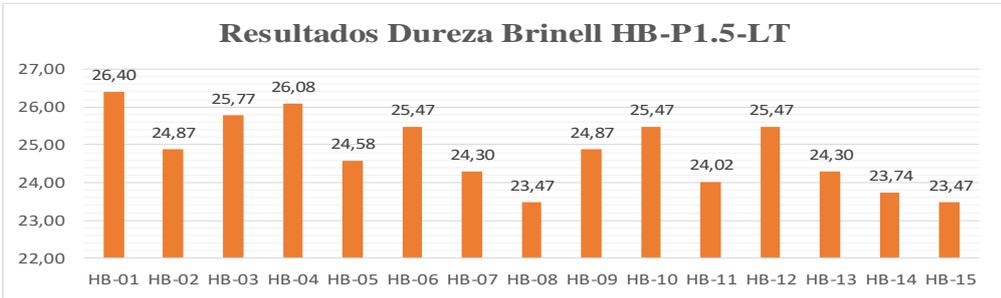
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO		
ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
CÓDIGO:	HB-P1.5-LT	HOJA:	03 de 06
FECHA:	4/12/2018	CIUDAD:	Ambato
LABORATORIO:	Laboratorio de Materiales Ingeniería Mecánica FICM-UTA		
EQUIPO:	Hardness Tester Model HBRV-187.5		
NORMA:	ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials		
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN			
Material base	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Material aleante:	Zinc - 1,5 % W
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos
Presión Compactado	270 MPa	Temperatura Sinterizado	462°C
CONDICIONES DEL ENSAYO			
Diámetro bola (D)	5 mm	Espesor probeta	5 mm
Distancia al borde	≥ 2 mm	Dist. entre penetraciones	≥ 2 mm
Carga aplicada (F)	612,9 N	Modelo matemático (HB)	$0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
Número	Diámetro Indent. d (mm)	Dureza Brinell (HB)	Error absoluto
HB-01	1,71	26,40	1,580
HB-02	1,76	24,87	0,054
HB-03	1,73	25,77	0,954
HB-04	1,72	26,08	1,264
HB-05	1,77	24,58	0,236
HB-06	1,74	25,47	0,649
HB-07	1,78	24,30	0,521
HB-08	1,81	23,47	1,348
HB-09	1,76	24,87	0,054
HB-10	1,74	25,47	0,649
HB-11	1,79	24,02	0,801
HB-12	1,74	25,47	0,649
HB-13	1,78	24,30	0,521
HB-14	1,80	23,74	1,077
HB-15	1,81	23,47	1,348
Promedio	1,76	24,82	0,780
Desviación Estándar	0,03	0,94	
GRÁFICAS DE RESULTADOS			
<p>Resultados Dureza Brinell HB-P1.5-LT</p> 			
			
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda		Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López	
		Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López	

Tabla 4.10 Ensayo de Dureza Brinell HB-P0.5-HT

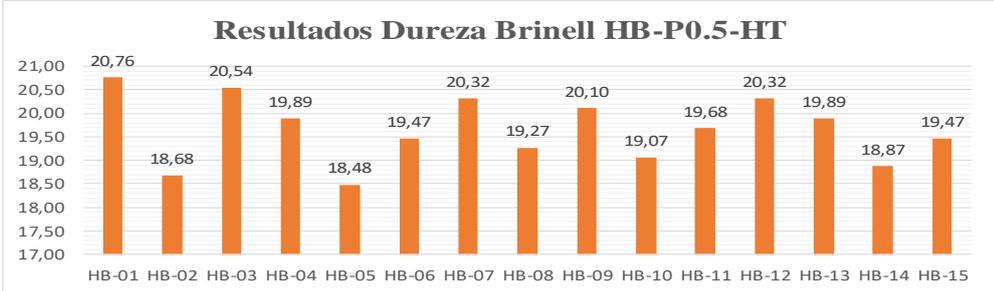
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO		
ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
CÓDIGO:	HB-P0.5-HT	HOJA:	04 de 06
FECHA:	4/12/2018	CIUDAD:	Ambato
LABORATORIO:	Laboratorio de Materiales Ingeniería Mecánica FICM-UTA		
EQUIPO:	Hardness Tester Model HBRV-187.5		
NORMA:	ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials		
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN			
Material base	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Material aleante:	Zinc - 0,5 % W
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos
Presión Compactado	270 MPa	Temperatura Sinterizado	594°C
CONDICIONES DEL ENSAYO			
Diámetro bola (D)	5 mm	Espesor probeta	5 mm
Distancia al borde	≥ 2 mm	Dist. entre penetraciones	≥ 2 mm
Carga aplicada (F)	612,9 N	Modelo matemático (HB)	$0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
Número	Diámetro Indent. d (mm)	Dureza Brinell (HB)	Error absoluto
HB-01	1,92	20,76	1,109
HB-02	2,02	18,68	0,979
HB-03	1,93	20,54	0,886
HB-04	1,96	19,89	0,235
HB-05	2,03	18,48	1,172
HB-06	1,98	19,47	0,182
HB-07	1,94	20,32	0,666
HB-08	1,99	19,27	0,386
HB-09	1,95	20,10	0,449
HB-10	2,00	19,07	0,587
HB-11	1,97	19,68	0,025
HB-12	1,94	20,32	0,666
HB-13	1,96	19,89	0,235
HB-14	2,01	18,87	0,784
HB-15	1,98	19,47	0,182
Promedio	1,97	19,66	0,569
Desviación Estándar	0,03	0,69	
GRÁFICAS DE RESULTADOS			
			
			
Elaborado por: Ing. Giovanny Pineda		Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López	
		Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López	

Tabla 4.11 Ensayo de Dureza Brinell HB-P1.0-HT

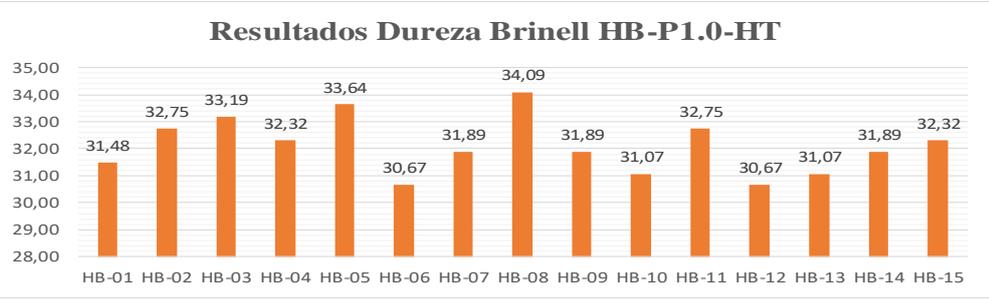
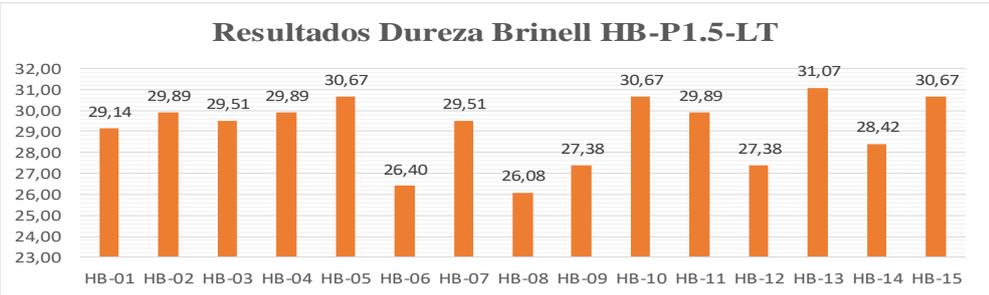
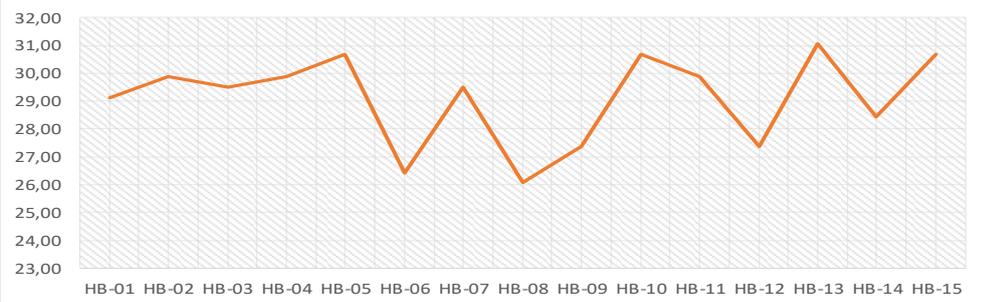
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO		
ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
CÓDIGO:	HB-P1.0-HT	HOJA:	05 de 06
FECHA:	4/12/2018	CIUDAD:	Ambato
LABORATORIO:	Laboratorio de Materiales Ingeniería Mecánica FICM-UTA		
EQUIPO:	Hardness Tester Model HBRV-187,5		
NORMA:	ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials		
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN			
Material base	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Material aleante:	Zinc - 1,0 % W
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos
Presión Compactado	270 MPa	Temperatura Sinterizado	594°C
CONDICIONES DEL ENSAYO			
Diámetro bola (D)	5 mm	Espesor probeta	5 mm
Distancia al borde	≥ 2 mm	Dist. entre penetraciones	≥ 2 mm
Carga aplicada (F)	612,9 N	Modelo matemático (HB)	$0,102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
Número	Diámetro Indent. d (mm)	Dureza Brinell (HB)	Error absoluto
HB-01	1,57	31,48	0,635
HB-02	1,54	32,75	0,636
HB-03	1,53	33,19	1,076
HB-04	1,55	32,32	0,204
HB-05	1,52	33,64	1,526
HB-06	1,59	30,67	1,443
HB-07	1,56	31,89	0,220
HB-08	1,51	34,09	1,984
HB-09	1,56	31,89	0,220
HB-10	1,58	31,07	1,043
HB-11	1,54	32,75	0,636
HB-12	1,59	30,67	1,443
HB-13	1,58	31,07	1,043
HB-14	1,56	31,89	0,220
HB-15	1,55	32,32	0,204
Promedio	1,56	32,11	0,835
Desviación Estándar	0,02	1,04	
GRÁFICAS DE RESULTADOS			
<p>Resultados Dureza Brinell HB-P1.0-HT</p> 			
			
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda		Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López	
		Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López	

Tabla 4.12 Ensayo de Dureza Brinell HB-P1.5-HT

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO		
ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
CÓDIGO:	HB-P1.5-LT	HOJA:	06 de 06
FECHA:	4/12/2018	CIUDAD:	Ambato
LABORATORIO:	Laboratorio de Materiales Ingeniería Mecánica FICM-UTA		
EQUIPO:	Hardness Tester Model HBRV-187,5		
NORMA:	ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials		
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN			
Material base	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Material aleante:	Zinc - 1,5 % W
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos
Presión Compactado	270 MPa	Temperatura Sinterizado	594°C
CONDICIONES DEL ENSAYO			
Diámetro bola (D)	5 mm	Espesor probeta	5 mm
Distancia al borde	≥ 2 mm	Dist. entre penetraciones	≥ 2 mm
Carga aplicada (F)	612,9 N	Modelo matemático (HB)	$0.102 * \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)			
Número	Diámetro Indent. d (mm)	Dureza Brinell (HB)	Error absoluto
HB-01	1,63	29,14	0,036
HB-02	1,61	29,89	0,785
HB-03	1,62	29,51	0,407
HB-04	1,61	29,89	0,785
HB-05	1,59	30,67	1,563
HB-06	1,71	26,40	2,704
HB-07	1,62	29,51	0,407
HB-08	1,72	26,08	3,020
HB-09	1,68	27,38	1,723
HB-10	1,59	30,67	1,563
HB-11	1,61	29,89	0,785
HB-12	1,68	27,38	1,723
HB-13	1,58	31,07	1,963
HB-14	1,65	28,42	0,687
HB-15	1,59	30,67	1,563
Promedio	1,63	29,10	1,314
Desviación Estándar	0,05	1,61	
GRÁFICAS DE RESULTADOS			
<p>Resultados Dureza Brinell HB-P1.5-LT</p> 			
			
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda		Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López	
		Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López	

4.2.1.2 Resultados Ensayo de Tracción

Tabla 4.13 Ensayo de Tracción TT-P0.5-LT

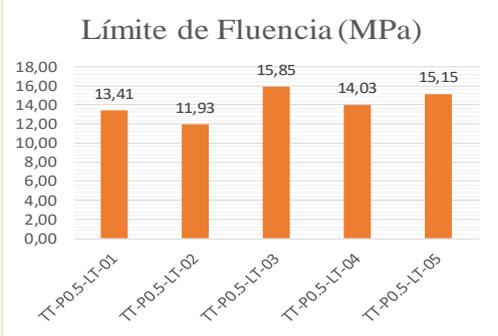
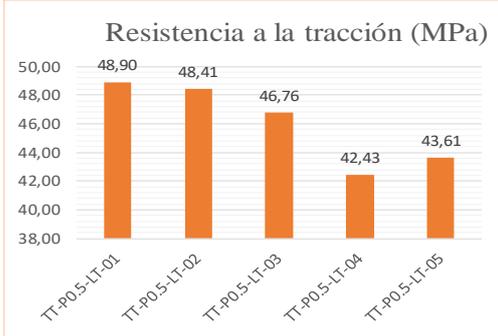
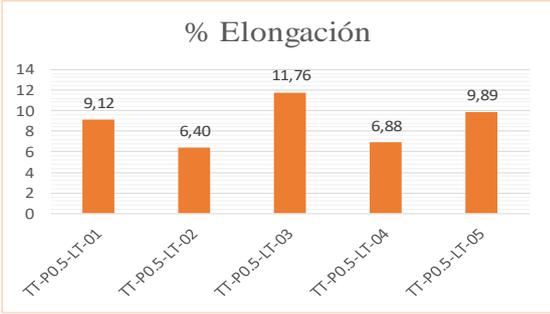
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE TRACCIÓN						
CÓDIGO:	TT-P0.5-LT	HOJA:	01 de 06			
FECHA:	19/11/2018	CIUDAD:	Ambato			
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
EQUIPO:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest 50 kN - Serie 8210M002					
NORMA:	ASTM E8 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials					
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN						
Material base	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Material aleante	Zinc - 0,5 % W			
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos			
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	462°C			
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO						
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana			
Velocidad ensayo	10 mm/min	Precarga	100 N			
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud calibrada	25,4 mm			
Temperatura ensayo	22,4 °C	Humedad relativa	53,2%			
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE TRACCIÓN						
Número	Fuerza de Rotura (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Resistencia de Rotura (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	% Elongación
TT-P0.5-LT-01	1822,96	508,58	48,12	13,41	48,90	9,12
TT-P0.5-LT-02	1672,03	412,35	48,41	11,93	48,41	6,40
TT-P0.5-LT-03	1689,75	584,60	45,83	15,85	46,76	11,76
TT-P0.5-LT-04	1420,71	468,86	42,43	14,03	42,43	6,88
TT-P0.5-LT-05	1587,45	561,65	42,89	15,15	43,61	9,89
Promedio X	1638,58	507,21	45,54	14,07	46,02	8,81
Desviación estandar Sn-1	148,17	69,68	2,81	1,53	2,88	2,21
Coefficiente de variación Cv	9,04	13,74	6,18	10,86	6,26	25,06
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
Límite de Fluencia (MPa)			Resistencia a la tracción (MPa)			
						
% Elongación						
						
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda				Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
				Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.14 Ensayo de Tracción TT-P1.0-LT

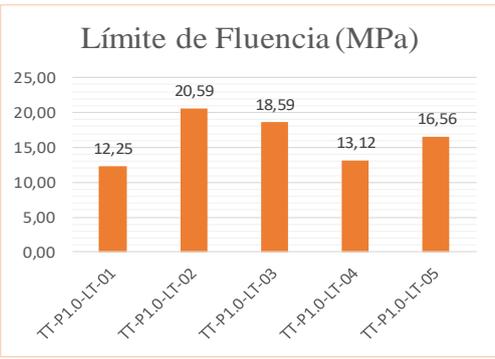
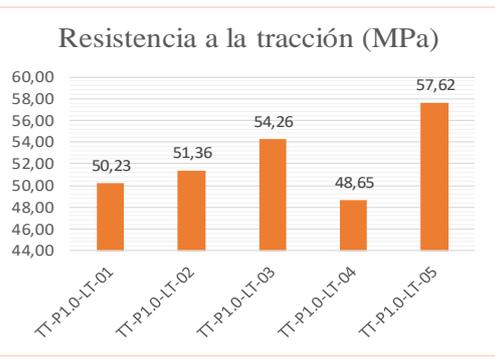
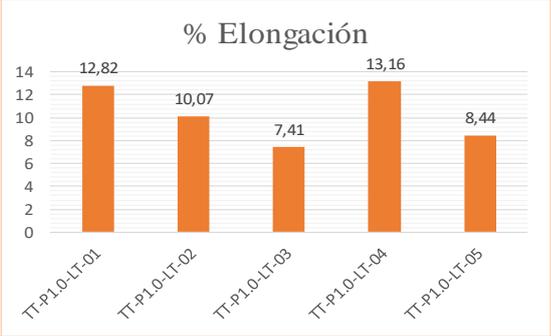
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE TRACCIÓN						
CÓDIGO:	TT-P1.0-LT		HOJA:	02 de 06		
FECHA:	19/11/2018		CIUDAD:	Ambato		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
EQUIPO:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest 50 kN - Serie 8210M002					
NORMA:	ASTM E8 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials					
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN						
Material base	Aluminio 1060 - 99,0 % W		Material aleante	Zinc - 1,0 % W		
Tamaño Partículas	45 um - 63 um		Granulometría	Mixtos		
Presión Compactado	270 Mpa		Temperatura Sinterizado	462°C		
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO						
Tipo de ensayo	Cuantitativo		Tipo de probeta	Plana		
Velocidad ensayo	10 mm/min		Precarga	100 N		
Dimensiones	Cumple criterios		Longitud calibrada	25,4 mm		
Temperatura ensayo	22,4 °C		Humedad relativa	53,2%		
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE TRACCIÓN						
Número	Fuerza de Rotura (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Resistencia de Rotura (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	% Elongación
TT-P1.0-LT-01	1875,61	464,58	49,51	12,25	50,23	12,82
TT-P1.0-LT-02	1773,91	711,67	51,36	20,59	51,36	10,07
TT-P1.0-LT-03	2000,56	685,66	54,26	18,59	54,26	7,41
TT-P1.0-LT-04	1596,84	438,45	47,69	13,12	48,65	13,16
TT-P1.0-LT-05	2132,64	613,82	57,62	16,56	57,62	8,44
Promedio X	1875,91	582,84	52,09	16,22	52,42	10,38
Desviación estandar Sn-1	205,99	125,46	3,93	3,54	3,56	2,57
Coefficiente de variación Cv	10,98	21,53	7,55	21,84	6,78	24,73
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
						
						
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda				Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López						

Tabla 4.15 Ensayo de Tracción TT-P1.5-LT

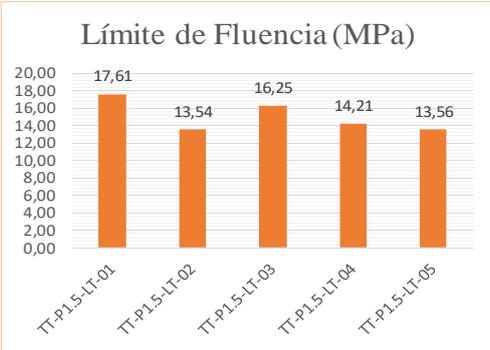
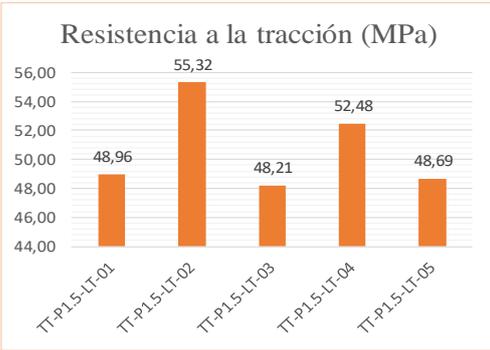
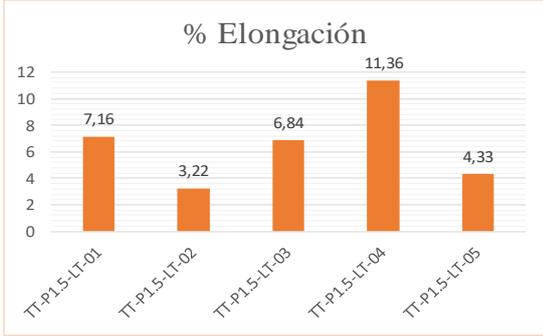
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE TRACCIÓN						
CÓDIGO:		TT-P1.5-LT		HOJA:		
FECHA:		19/11/2018		CIUDAD:		
LABORATORIO:		Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
EQUIPO:		Máquina Universal de Ensayos Metrotest 50 kN - Serie 8210M002				
NORMA:		ASTM E8 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials				
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN						
Material base		Aluminio 1060 - 98,5 % W		Material aleante		
Tamaño Partículas		45 um - 63 um		Granulometría		
Presión Compactado		270 Mpa		Temperatura Sinterizado		
				Zinc - 1,5 % W		
				Mixtos		
				462°C		
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO						
Tipo de ensayo		Cuantitativo		Tipo de probeta		
Velocidad ensayo		10 mm/min		Precarga		
Dimensiones		Cumple criterios		Longitud calibrada		
Temperatura ensayo		22,4 °C		Humedad relativa		
				Plana		
				100 N		
				25,4 mm		
				53,2%		
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE TRACCIÓN						
Número	Fuerza de Rotura (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Resistencia de Rotura (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	% Elongación
TT-P1.5-LT-01	1822,96	667,86	48,12	17,61	48,96	7,16
TT-P1.5-LT-02	1886,86	468,00	54,63	13,54	55,32	3,22
TT-P1.5-LT-03	1777,50	599,35	48,21	16,25	48,21	6,84
TT-P1.5-LT-04	1730,77	474,88	51,69	14,21	52,48	11,36
TT-P1.5-LT-05	1802,12	502,62	48,69	13,56	48,69	4,33
Promedio X	1804,04	542,54	50,27	15,03	50,73	6,58
Desviación estándar Sn-1	57,65	87,55	2,85	1,82	3,07	3,15
Coefficiente de variación Cv	3,20	16,14	5,66	12,08	6,06	47,81
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
						
						
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda				Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
				Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.16 Ensayo de Tracción TT-P0.5-HT

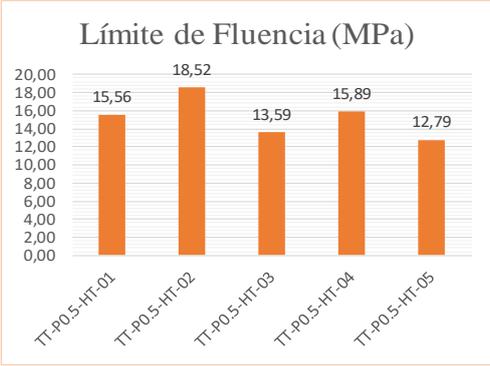
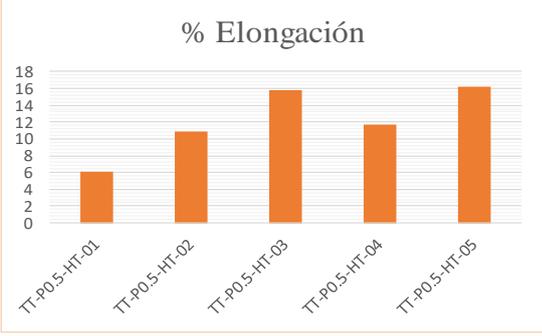
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE TRACCIÓN						
CÓDIGO:	TT-P0.5-HT	HOJA:	04 de 06			
FECHA:	19/11/2018	CIUDAD:	Ambato			
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
EQUIPO:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest 50 kN - Serie 8210M002					
NORMA:	ASTM E8 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials					
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN						
Material base	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Material aleante	Zinc - 0,5 % W			
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos			
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	594°C			
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO						
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana			
Velocidad ensayo	10 mm/min	Precarga	100 N			
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud calibrada	25,4 mm			
Temperatura ensayo	22,4 °C	Humedad relativa	53,2%			
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE TRACCIÓN						
Número	Fuerza de Rotura (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Resistencia de Rotura (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	% Elongación
TT-P0.5-HT-01	1940,77	590,12	51,23	15,56	52,65	6,14
TT-P0.5-HT-02	1837,47	640,12	53,20	18,52	53,65	10,81
TT-P0.5-HT-03	1790,41	501,24	48,56	13,59	48,56	15,81
TT-P0.5-HT-04	1669,83	531,02	49,87	15,89	50,10	11,69
TT-P0.5-HT-05	1800,64	474,08	48,65	12,79	48,65	16,21
Promedio X	1807,82	547,32	50,30	15,27	50,72	12,13
Desviación estandar Sn-1	97,40	67,45	1,95	2,24	2,33	4,12
Coefficiente de variación Cv	5,39	12,32	3,88	14,64	4,59	33,99
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
						
						
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda				Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
				Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.17 Ensayo de Tracción TT-P1.0-HT

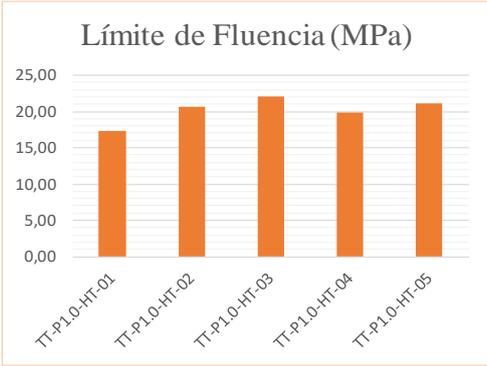
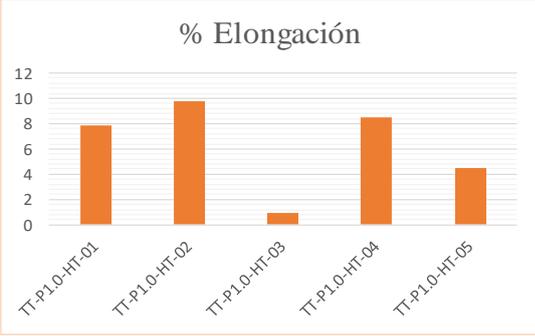
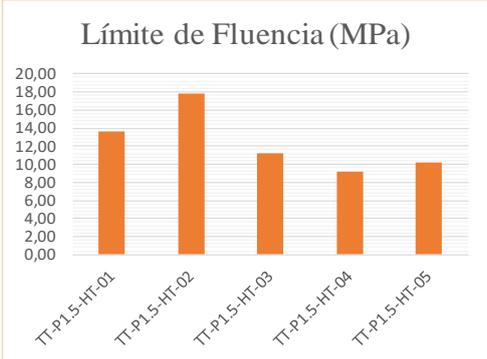
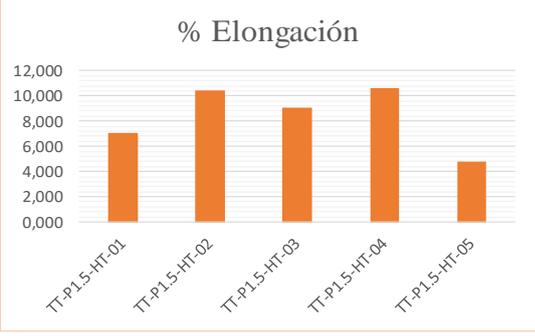
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE TRACCIÓN						
CÓDIGO:	TT-P1.0-HT	HOJA:	05 de 06			
FECHA:	19/11/2018	CIUDAD:	Ambato			
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
EQUIPO:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest 50 kN - Serie 8210M002					
NORMA:	ASTM E8 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials					
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN						
Material base	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Material aleante	Zinc - 1,0 % W			
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos			
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	594°C			
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO						
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana			
Velocidad ensayo	10 mm/min	Precarga	100 N			
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud calibrada	25,4 mm			
Temperatura ensayo	22,4 °C	Humedad relativa	53,2%			
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE TRACCIÓN						
Número	Fuerza de Rotura (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Resistencia de Rotura (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	% Elongación
TT-P1.0-HT-01	2447,66	654,21	64,61	17,25	64,96	7,86
TT-P1.0-HT-02	2060,24	710,63	59,65	20,56	59,65	9,75
TT-P1.0-HT-03	2159,11	816,59	58,56	22,14	59,04	0,93
TT-P1.0-HT-04	1875,76	662,02	56,02	19,81	56,02	8,54
TT-P1.0-HT-05	2305,12	785,07	62,28	21,18	63,11	4,51
Promedio X	2169,58	725,70	60,22	20,19	60,56	6,32
Desviación estándar Sn-1	220,28	72,76	3,33	1,85	3,52	3,58
Coefficiente de variación Cv	10,15	10,03	5,52	9,17	5,82	56,73
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
						
						
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda				Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López						

Tabla 4.18 Ensayo de Tracción TT-P1.5-HT

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE TRACCIÓN						
CÓDIGO:	TT-P1.5-HT	HOJA:	06 de 06			
FECHA:	19/11/2018	CIUDAD:	Ambato			
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero					
EQUIPO:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest 50 kN - Serie 8210M002					
NORMA:	ASTM E8 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials					
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN						
Material base	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Material aleante	Zinc - 1,5 % W			
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos			
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	594°C			
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO						
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana			
Velocidad ensayo	10 mm/min	Precarga	100 N			
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud calibrada	25,4 mm			
Temperatura ensayo	22,4 °C	Humedad relativa	53,2%			
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE TRACCIÓN						
Número	Fuerza de Rotura (N)	Fuerza de Fluencia (N)	Resistencia de Rotura (MPa)	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	% Elongación
TT-P1.5-HT-01	2092,31	514,27	55,23	13,56	55,23	7,040
TT-P1.5-HT-02	1656,14	615,58	47,95	17,81	48,56	10,430
TT-P1.5-HT-03	2147,31	412,35	58,24	11,18	58,24	9,080
TT-P1.5-HT-04	1660,12	306,87	49,58	9,18	49,58	10,580
TT-P1.5-HT-05	1820,26	376,97	49,18	10,17	49,18	4,780
Promedio X	1875,23	445,21	52,04	12,38	52,16	8,38
Desviación estandar Sn-1	233,69	121,11	4,46	3,44	4,33	2,46
Coefficiente de variación Cv	12,46	27,20	8,57	27,82	8,30	29,40
GRÁFICAS DE RESULTADOS						
						
						
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda				Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
				Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

4.2.1.3 Resultados Ensayo de Impacto

Tabla 4.19 Ensayo de Impacto IT-P0.5-LT

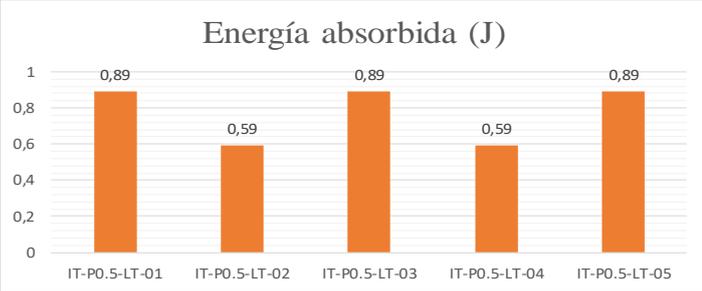
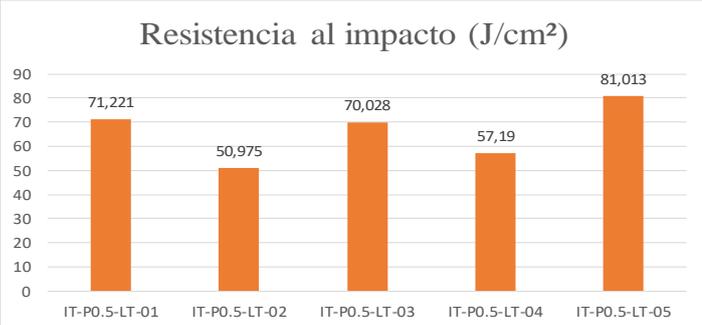
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO			
ENSAYO DE IMPACTO					
CÓDIGO:	IT-P0.5-LT	HOJA:	01 de 06		
FECHA:	20/11/2018	CIUDAD:	Ambato		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
EQUIPO:	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J. - Serie M152552AR14				
NORMA:	ASTM E23 - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials				
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN					
Material base	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Material aleante	Zinc - 0,5 % W		
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos		
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	462°C		
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO					
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana		
Vel. máx. de impacto	5,42 m/s	Ancho/Espesor	10 mm / 10 mm		
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud	55 mm		
Temperatura ensayo	24,2 °C	Humedad relativa	50,6%		
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE IMPACTO					
Número	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto fractura (% de cizallamiento)	Fractura de Probeta	
				SI	NO
IT-P0.5-LT-01	0,89	71,221	90	X	
IT-P0.5-LT-02	0,59	50,975	100	X	
IT-P0.5-LT-03	0,89	70,028	100	X	
IT-P0.5-LT-04	0,59	57,19	80	X	
IT-P0.5-LT-05	0,89	81,013	60	X	
Promedio X	0,77	66,885			
Desviación estandar Sn-1	0,164	12,415			
Coefficiente de variación Cv	21,34	18,562			
GRÁFICAS DE RESULTADOS					
 <p style="text-align: center;">Energía absorbida (J)</p>					
 <p style="text-align: center;">Resistencia al impacto (J/cm²)</p>					
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
			Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.20 Ensayo de Impacto IT-P1.0-LT

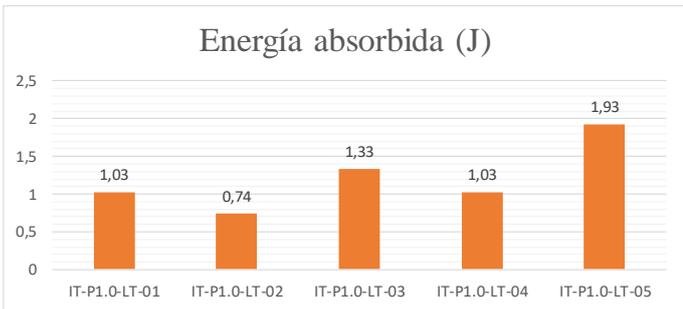
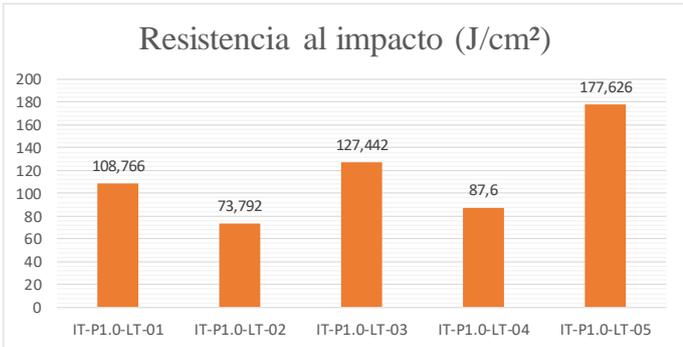
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO			
ENSAYO DE IMPACTO					
CÓDIGO:	IT-P1.0-LT	HOJA:	02 de 06		
FECHA:	20/11/2018	CIUDAD:	Ambato		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
EQUIPO:	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J. - Serie M152552AR14				
NORMA:	ASTM E23 - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials				
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN					
Material base	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Material aleante	Zinc - 1,0 % W		
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos		
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	462°C		
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO					
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana		
Vel. máx. de impacto	5,42 m/s	Ancho/Espesor	10 mm / 10 mm		
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud	55 mm		
Temperatura ensayo	24,9 °C	Humedad relativa	47,5%		
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE IMPACTO					
Número	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto fractura (% de cizallamiento)	Fractura de Probeta	
				SI	NO
IT-P1.0-LT-01	1,03	108,766	80	X	
IT-P1.0-LT-02	0,74	73,792	80	X	
IT-P1.0-LT-03	1,33	127,442	80	X	
IT-P1.0-LT-04	1,03	87,6	90	X	
IT-P1.0-LT-05	1,93	177,626	70	X	
Promedio X	1,212	115,045			
Desviación estandar Sn-1	0,452	40,511			
Coefficiente de variación Cv	37,323	35,213			
GRÁFICAS DE RESULTADOS					
 <p style="text-align: center;">Energía absorbida (J)</p>					
 <p style="text-align: center;">Resistencia al impacto (J/cm²)</p>					
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
			Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.21 Ensayo de Impacto IT-P1.5-LT

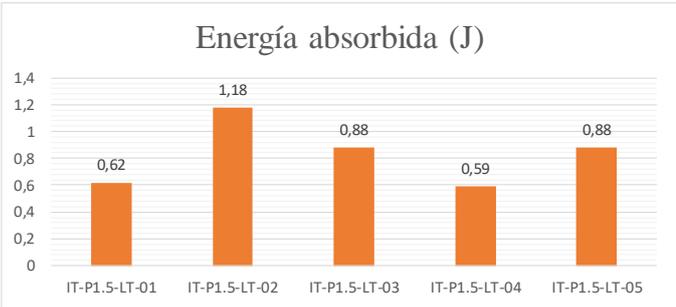
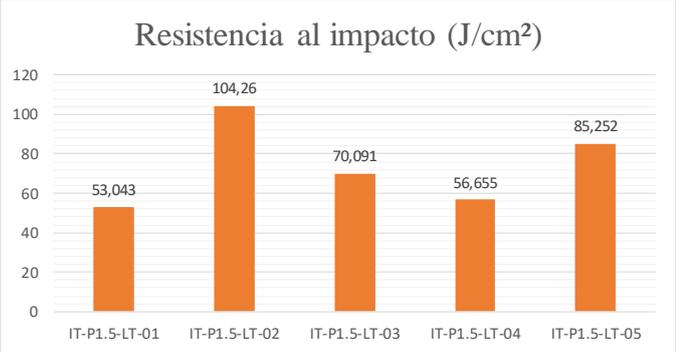
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE IMPACTO					
CÓDIGO:	IT-P1.5-LT	HOJA:	03 de 06		
FECHA:	20/11/2018	CIUDAD:	Ambato		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero				
EQUIPO:	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J. - Serie M152552AR14				
NORMA:	ASTM E23 - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials				
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN					
Material base	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Material aleante	Zinc - 1,5 % W		
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos		
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	462°C		
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO					
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana		
Vel. máx. de impacto	5,42 m/s	Ancho/Espesor	10 mm / 10 mm		
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud	55 mm		
Temperatura ensayo	24,2 °C	Humedad relativa	53,0%		
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE IMPACTO					
Número	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto fractura (% de cizallamiento)	Fractura de Probeta	
				SI	NO
IT-P1.5-LT-01	0,62	53,043	80	X	
IT-P1.5-LT-02	1,18	104,26	90	X	
IT-P1.5-LT-03	0,88	70,091	70	X	
IT-P1.5-LT-04	0,59	56,655	90	X	
IT-P1.5-LT-05	0,88	85,252	70	X	
Promedio X	0,83	73,86			
Desviación estandar Sn-1	0,239	21,198			
Coficiente de variación Cv	28,84	28,701			
GRÁFICAS DE RESULTADOS					
 <p style="text-align: center;">Energía absorbida (J)</p>					
 <p style="text-align: center;">Resistencia al impacto (J/cm²)</p>					
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
			Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.22 Ensayo de Impacto IT-P0.5-HT

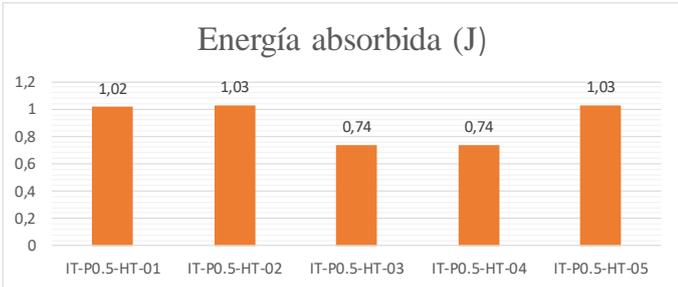
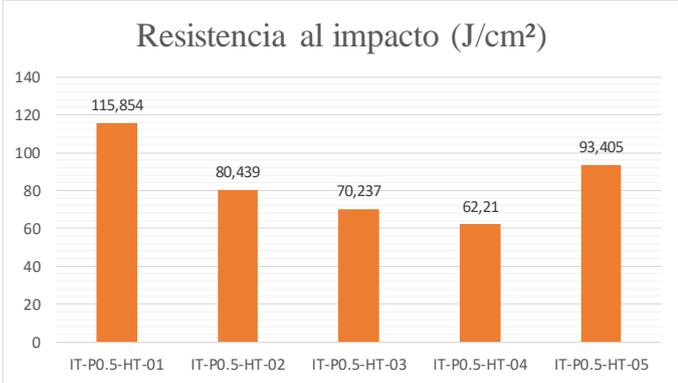
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE IMPACTO					
CÓDIGO:	IT-P0.5-HT	HOJA:	04 de 06		
FECHA:	20/11/2018	CIUDAD:	Ambato		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carroceros				
EQUIPO:	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J. - Serie M152552AR14				
NORMA:	ASTM E23 - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials				
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN					
Material base	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Material aleante	Zinc - 0,5 % W		
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos		
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	594°C		
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO					
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana		
Vel. máx. de impacto	5,42 m/s	Ancho/Espesor	10 mm / 10 mm		
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud	55 mm		
Temperatura ensayo	25,1 °C	Humedad relativa	47,6%		
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE IMPACTO					
Número	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto fractura (% de cizallamiento)	Fractura de Probeta	
				SI	NO
IT-P0.5-HT-01	1,02	115,854	90	X	
IT-P0.5-HT-02	1,03	80,439	80	X	
IT-P0.5-HT-03	0,74	70,237	60	X	
IT-P0.5-HT-04	0,74	62,21	80	X	
IT-P0.5-HT-05	1,03	93,405	80	X	
Promedio X	0,912	84,429			
Desviación estandar Sn-1	0,157	21,09			
Coefficiente de variación Cv	17,222	24,979			
GRÁFICAS DE RESULTADOS					
 <p style="text-align: center;">Energía absorbida (J)</p>					
 <p style="text-align: center;">Resistencia al impacto (J/cm²)</p>					
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
			Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.23 Ensayo de Impacto IT-P1.0-HT

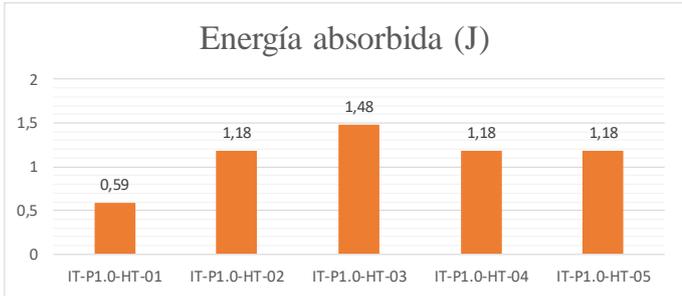
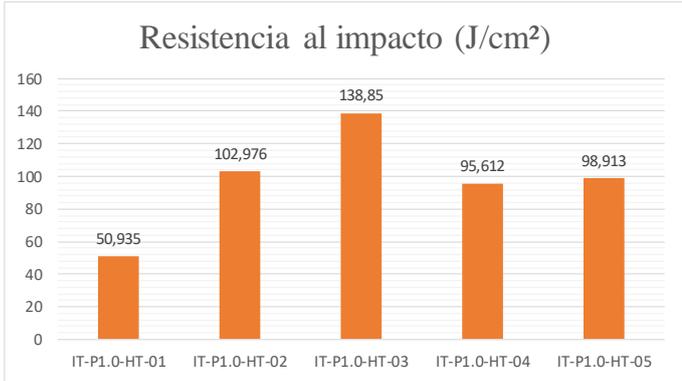
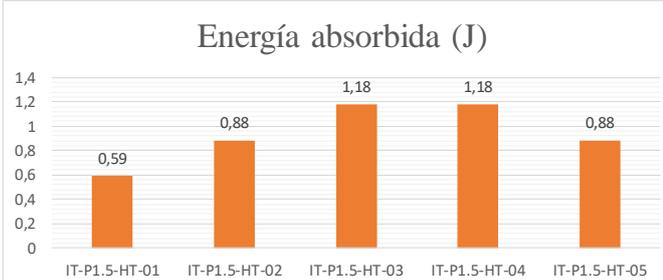
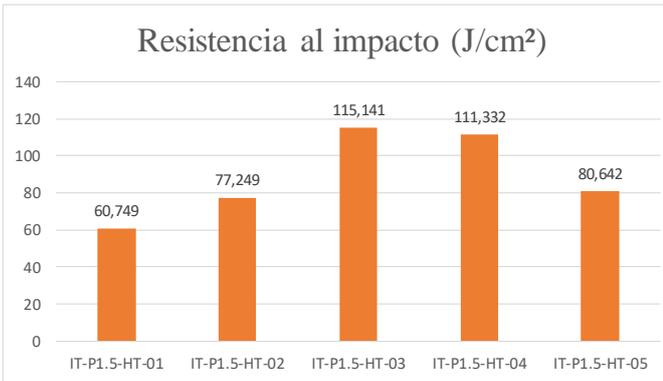
	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO				
ENSAYO DE IMPACTO					
CÓDIGO:	IT-P1.0-HT	HOJA:	05 de 06		
FECHA:	20/11/2018	CIUDAD:	Ambato		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
EQUIPO:	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J. - Serie M152552AR14				
NORMA:	ASTM E23 - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials				
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN					
Material base	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Material aleante	Zinc - 1,0 % W		
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Mixtos		
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	594°C		
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO					
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana		
Vel. máx. de impacto	5,42 m/s	Ancho/Espesor	10 mm / 10 mm		
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud	55 mm		
Temperatura ensayo	24,2 °C	Humedad relativa	54,5%		
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE IMPACTO					
Número	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto fractura (% de cizallamiento)	Fractura de Probeta	
				SI	NO
IT-P1.0-HT-01	0,59	50,935	90	X	
IT-P1.0-HT-02	1,18	102,976	100	X	
IT-P1.0-HT-03	1,48	138,85	90	X	
IT-P1.0-HT-04	1,18	95,612	80	X	
IT-P1.0-HT-05	1,18	98,913	90	X	
Promedio X	1,122	97,457			
Desviación estandar Sn-1	0,325	31,28			
Coefficiente de variación Cv	28,924	32,096			
GRÁFICAS DE RESULTADOS					
 <p style="text-align: center;">Energía absorbida (J)</p>					
 <p style="text-align: center;">Resistencia al impacto (J/cm²)</p>					
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
			Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.24 Ensayo de Impacto IT-P1.5-HT

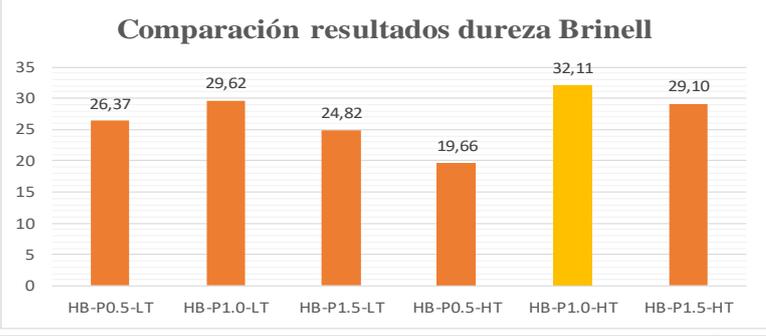
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO			
ENSAYO DE IMPACTO					
CÓDIGO:	IT-P1.5-HT	HOJA:	06 de 06		
FECHA:	20/11/2018	CIUDAD:	Ambato		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
EQUIPO:	Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J. - Serie M152552AR14				
NORMA:	ASTM E23 - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials				
COMPOSICIÓN - CARACTERÍSTICAS ALEACIÓN					
Material base	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Material aleante	Zinc - 1,5 % W		
Tamaño Partículas	45 um - 63 um	Granulometría	Míxtos		
Presión Compactado	270 Mpa	Temperatura Sinterizado	594°C		
CARACTERÍSTICAS DEL ENSAYO					
Tipo de ensayo	Cuantitativo	Tipo de probeta	Plana		
Vel. máx. de impacto	5,42 m/s	Ancho/Espesor	10 mm / 10 mm		
Dimensiones	Cumple criterios	Longitud	55 mm		
Temperatura ensayo	25,1 °C	Humedad relativa	51,8%		
RESULTADOS OBTENIDOS ENSAYO DE IMPACTO					
Número	Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (J/cm ²)	Aspecto fractura (% de cizallamiento)	Fractura de Probeta	
				SI	NO
IT-P1.5-HT-01	0,59	60,749	90	X	
IT-P1.5-HT-02	0,88	77,249	80	X	
IT-P1.5-HT-03	1,18	115,141	60	X	
IT-P1.5-HT-04	1,18	111,332	80	X	
IT-P1.5-HT-05	0,88	80,642	80	X	
Promedio X	0,942	89,023			
Desviación estandar Sn-1	0,247	23,389			
Coefficiente de variación Cv	26,266	26,273			
GRÁFICAS DE RESULTADOS					
 <p style="text-align: center;">Energía absorbida (J)</p>					
 <p style="text-align: center;">Resistencia al impacto (J/cm²)</p>					
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
			Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

4.2.2 Análisis comparativo de los resultados obtenidos

En las Tablas 4.25 a 4.28, se presentan los valores medios obtenidos en cada uno de los ensayos realizados para cada caso de estudio para efectuar la comparación con las propiedades mecánicas del material base sin elemento aleante.

4.2.2.1 Análisis comparativo – Ensayo de Dureza

Tabla 4.25 Análisis Comparativo resultados Dureza Brinell

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO																								
TABLA COMPARATIVA - ENSAYO DE DUREZA BRINELL (HB)																										
FECHA:	8/2/2019	HOJA:	01 de 01																							
LABORATORIO:	Laboratorio de Materiales Ingeniería Mecánica FICM-UTA																									
EQUIPO:	Hardness Tester Model HBRV-187,5																									
NORMA:	ASTM E10 - Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials																									
RESULTADOS OBTENIDOS																										
TEMPERATURA DE SINTERIZADO 462°C																										
Estudio	Código	Material base	Material aleante	Dureza Brinell (HB)																						
1	HB-P0.5-LT	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Zinc - 0,5 % W	26,37																						
2	HB-P1.0-LT	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Zinc - 1,0 % W	29,62																						
3	HB-P1.5-LT	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Zinc - 1,5 % W	24,82																						
TEMPERATURA DE SINTERIZADO 594°C																										
Estudio	Código	Material base	Material aleante	Dureza Brinell (HB)																						
4	HB-P0.5-HT	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Zinc - 0,5 % W	19,66																						
5	HB-P1.0-HT	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Zinc - 1,0 % W	32,11																						
6	HB-P1.5-HT	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Zinc - 1,5 % W	29,10																						
GRÁFICA COMPARATIVA																										
 <p style="text-align: center;">Comparación resultados dureza Brinell</p> <table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Estudio</th> <th>Código</th> <th>Dureza Brinell (HB)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>HB-P0.5-LT</td> <td>26,37</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>HB-P1.0-LT</td> <td>29,62</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>HB-P1.5-LT</td> <td>24,82</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>HB-P0.5-HT</td> <td>19,66</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>HB-P1.0-HT</td> <td>32,11</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>HB-P1.5-HT</td> <td>29,10</td> </tr> </tbody> </table>						Estudio	Código	Dureza Brinell (HB)	1	HB-P0.5-LT	26,37	2	HB-P1.0-LT	29,62	3	HB-P1.5-LT	24,82	4	HB-P0.5-HT	19,66	5	HB-P1.0-HT	32,11	6	HB-P1.5-HT	29,10
Estudio	Código	Dureza Brinell (HB)																								
1	HB-P0.5-LT	26,37																								
2	HB-P1.0-LT	29,62																								
3	HB-P1.5-LT	24,82																								
4	HB-P0.5-HT	19,66																								
5	HB-P1.0-HT	32,11																								
6	HB-P1.5-HT	29,10																								
PORCENTAJE DE VARIACIÓN																										
Estudio	Código	Dureza Brinell HB material base Al 1060	Dureza Brinell HB aleación mecánica	Porcentaje de Variación																						
1	HB-P0.5-LT	19	26,37	38,79																						
2	HB-P1.0-LT	19	29,62	55,89																						
3	HB-P1.5-LT	19	24,82	30,63																						
4	HB-P0.5-HT	19	19,66	3,47																						
5	HB-P1.0-HT	19	32,11	69,00																						
6	HB-P1.5-HT	19	29,10	53,16																						
Comentario:																										
El mayor porcentaje de variación positivo, el cual es un indicador de mejora en la propiedad mecánica analizada de dureza Brinell con respecto al material base sin elemento aleante, se consigue en el caso de estudio número 5, cuyo código es HB-P1.0-HT, equivalente a la composición de 99.0 % de material base Al 1060 y 1.0 % de Zn desarrollado a una temperatura de sinterización de 594°C.																										
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Gonzalo López Mg.																							
			Validado por: Ing. Gonzalo López Mg.																							

4.2.2.2 Análisis Comparativo – Ensayo de Tracción

Tabla 4.26 Análisis Comparativo resultados Ensayo de Tracción - Hoja 1

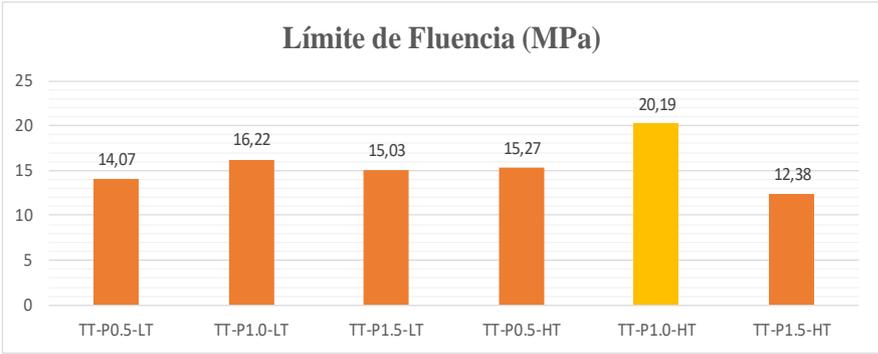
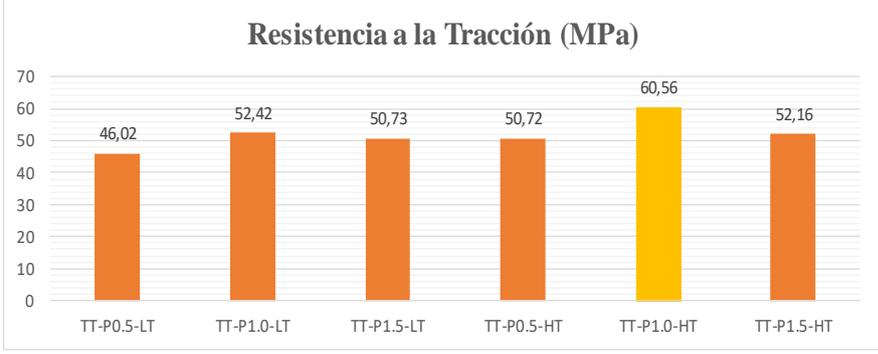
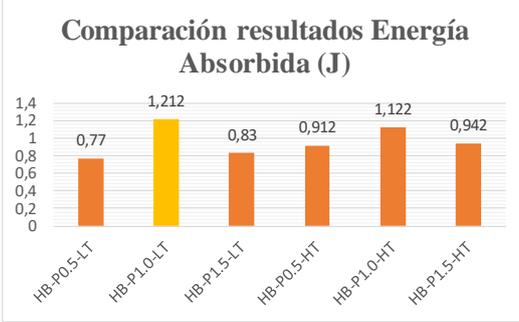
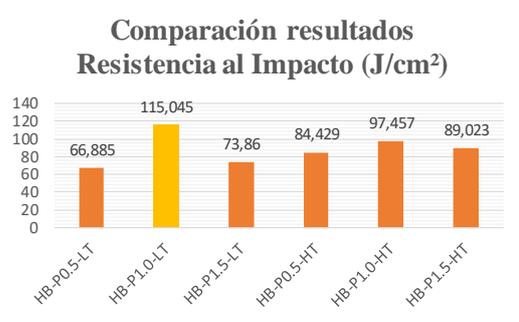
		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO			
TABLA COMPARATIVA - ENSAYO DE TRACCIÓN					
FECHA:	8/2/2019	HOJA:	01 de 02		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero				
EQUIPO:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest 50 kN - Serie 8210M002				
NORMA:	ASTM E8 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials				
RESULTADOS OBTENIDOS					
TEMPERATURA DE SINTERIZADO 462°C					
Código	Material base	Material aleante	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	
TT-P0.5-LT	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Zinc - 0,5 % W	14,07	46,02	
TT-P1.0-LT	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Zinc - 1,0 % W	16,22	52,42	
TT-P1.5-LT	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Zinc - 1,5 % W	15,03	50,73	
TEMPERATURA DE SINTERIZADO 594°C					
Código	Material base	Material aleante	Límite de Fluencia (MPa)	Resistencia a la Tracción (MPa)	
TT-P0.5-HT	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Zinc - 0,5 % W	15,27	50,72	
TT-P1.0-HT	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Zinc - 1,0 % W	20,19	60,56	
TT-P1.5-HT	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Zinc - 1,5 % W	12,38	52,16	
GRÁFICAS COMPARATIVAS					
					
					
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López		
			Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López		

Tabla 4.27 Análisis Comparativo resultados Ensayo de Tracción - Hoja 2

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO			
TABLA COMPARATIVA - ENSAYO DE TRACCIÓN				
FECHA:	15/2/2019	HOJA:	02 de 02	
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
EQUIPO:	Máquina Universal de Ensayos Metrotest 50 kN - Serie 8210M002			
NORMA:	ASTM E8 - Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials			
PORCENTAJE DE VARIACIÓN				
LÍMITE DE FLUENCIA				
Estudio	Código	Límite de Fluencia material base Al 1060 (MPa)	Límite de Fluencia aleación mecánica (MPa)	Porcentaje de Variación
1	TT-P0.5-LT	29,40	14,07	-52,14
2	TT-P1.0-LT	29,40	16,22	-44,83
3	TT-P1.5-LT	29,40	15,03	-48,88
4	TT-P0.5-HT	29,40	15,27	-48,06
5	TT-P1.0-HT	29,40	20,19	-31,33
6	TT-P1.5-HT	29,40	12,38	-57,89
PORCENTAJE DE VARIACIÓN				
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN				
Estudio	Código	Resistencia a la tracción material base Al 1060 (MPa)	Resistencia a la tracción aleación mecánica (MPa)	Porcentaje de Variación
1	TT-P0.5-LT	53,93	46,02	-14,67
2	TT-P1.0-LT	53,93	52,42	-2,80
3	TT-P1.5-LT	53,93	50,73	-5,93
4	TT-P0.5-HT	53,93	50,72	-5,95
5	TT-P1.0-HT	53,93	60,56	12,29
6	TT-P1.5-HT	53,93	52,16	-3,28
Comentario:				
<p>Los mejores resultados se han conseguido en el caso de estudio número 5, cuyo código es TT-P1.0-HT, equivalente a la composición de 99.0 % de material base Al 1060 y 1.0 % de Zn desarrollado a una temperatura de sinterización de 594°C, donde la propiedad mecánica de resistencia a la tracción efectivamente mejoró con respecto al material base sin elemento aleante al existir un porcentaje de variación positivo, mientras que el límite de fluencia disminuyó en todos los casos de estudio, pero es el caso de estudio 5 donde el porcentaje de variación negativo es menor.</p>				
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Gonzalo López Mg.	
			Validado por: Ing. Gonzalo López Mg.	

4.2.2.3 Análisis Comparativo – Ensayo de Impacto

Tabla 4.28 Análisis Comparativo resultados Ensayo de Impacto

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA - MENCIÓN DISEÑO			
TABLA COMPARATIVA - ENSAYO DE IMPACTO				
FECHA:	8/2/2019	HOJA: 01 de 01		
LABORATORIO:	Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero			
EQUIPO:	Máquina de ensayos Charpy PIC 450 J. - Serie M152552AR14			
NORMA:	ASTM E23 - Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials			
RESULTADOS OBTENIDOS				
TEMPERATURA DE SINTERIZADO 462°C				
Código	Material base	Material aleante	Energía Absorbida (J)	Resist. Impacto (J/cm²)
HB-P0.5-LT	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Zinc - 0,5 % W	0,77	66,885
HB-P1.0-LT	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Zinc - 1,0 % W	1,212	115,045
HB-P1.5-LT	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Zinc - 1,5 % W	0,83	73,86
TEMPERATURA DE SINTERIZADO 594°C				
Código	Material base	Material aleante	Energía Absorbida (J)	Resist. Impacto (J/cm²)
HB-P0.5-HT	Aluminio 1060 - 99,5 % W	Zinc - 0,5 % W	0,912	84,429
HB-P1.0-HT	Aluminio 1060 - 99,0 % W	Zinc - 1,0 % W	1,122	97,457
HB-P1.5-HT	Aluminio 1060 - 98,5 % W	Zinc - 1,5 % W	0,942	89,023
GRÁFICAS COMPARATIVAS				
Comparación resultados Energía Absorbida (J)			Comparación resultados Resistencia al Impacto (J/cm²)	
				
PORCENTAJE DE VARIACIÓN				
ENERGÍA ABSORBIDA (J)				
Estudio	Código	Energía absorbida material base Al 1060 (J)	Energía absorbida aleación mecánica (J)	Porcentaje de Variación
1	TT-P0.5-LT	2,00	0,77	-61,50
2	TT-P1.0-LT	2,00	1,212	-39,40
3	TT-P1.5-LT	2,00	0,83	-58,50
4	TT-P0.5-HT	2,00	0,912	-54,40
5	TT-P1.0-HT	2,00	1,122	-43,90
6	TT-P1.5-HT	2,00	0,942	-52,90
Comentario:				
Los mejores resultados se han conseguido en el caso de estudio número 2, cuyo código es TT-P1.0-LT, equivalente a la composición de 99.0 % de material base Al 1060 y 1.0 % de Zn desarrollado a una temperatura de sinterización de 462°C, donde la propiedad mecánica de Energía absorbida es la más alta con respecto al resto de casos de estudio, aunque no se ha conseguido superar la energía absorbida del material base sin elemento aleante.				
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda			Aprobado por: Ing. Gonzalo López Mg.	
			Validado por: Ing. Gonzalo López Mg.	

4.3 Verificación de la hipótesis

Una vez tabulados los datos obtenidos de las propiedades mecánicas en estudio se procede a aplicar una prueba de contraste de hipótesis, a partir de un diseño factorial con dos factores con sus respectivos niveles, mediante la distribución F (Fisher), que permite comparar medias y varianzas de diferentes variables, para de esta manera establecer si las variables influyen o no en las propiedades mecánicas en estudio [32].

En las Tablas 4.29 a 4.31 se muestra la matriz del estudio y los niveles de los factores de porcentaje de elemento aleante y temperatura de sinterización.

Tabla 4.29 Matriz del estudio – Factores variables

MATRIZ DEL ESTUDIO	
FACTOR 1 (A)	FACTOR 2 (B)
Porcentaje elemento aleante	Temperatura de Sinterización
A1. Zinc - 0,5 %	B1. 462 °C
	B2. 594 °C
A2. Zinc - 1,0 %	B1. 462 °C
	B2. 594 °C
A3. Zinc - 1,5 %	B1. 462 °C
	B2. 594 °C

Tabla 4.30 Niveles factores - resultados de Dureza

NIVEL FACTORES – DUREZA	
PARÁMETRO	VALOR
No. repeticiones (<i>n</i>)	15
No. experimentaciones (<i>N</i>)	90
Nivel factor 1 (<i>a</i>)	3
Nivel factor 2 (<i>b</i>)	2

Tabla 4.31 Niveles factores - resultados de Fluencia, Resistencia a la Tracción e Impacto

NIVEL FACTORES - FLUENCIA - TRACCIÓN - IMPACTO	
PARÁMETRO	VALOR
No. repeticiones (<i>n</i>)	5
No. experimentaciones (<i>N</i>)	30
Nivel factor 1 (<i>a</i>)	3
Nivel factor 2 (<i>b</i>)	2

Las ecuaciones a utilizar para el desarrollo de la Prueba de Fisher, las mismas que permiten comparar los valores de F y F_{tabla} , se presentan a continuación:

Los grados de libertad se determinan a través de:

$$GL_A = a - 1 \quad \text{Ec. 19}$$

$$GL_B = b - 1 \quad \text{Ec. 20}$$

$$GL_{AB} = (a - 1)(b - 1) \quad \text{Ec. 21}$$

$$GL_{Error} = a * b * (n - 1) \quad \text{Ec. 22}$$

$$GL_T = a * b * n - 1 \quad \text{Ec. 23}$$

Las sumas de cuadrados están dadas por:

$$SC_A = \frac{\sum Y_i^2}{b * n} - \frac{(\sum Y_{ij})^2}{N} \quad \text{Ec. 24}$$

$$SC_B = \frac{\sum Y_j^2}{a * n} - \frac{(\sum Y_{ij})^2}{N} \quad \text{Ec. 25}$$

$$SC_{AB} = \frac{\sum Y^2}{n} - \frac{(\sum Y_{ij})^2}{N} - SC_A - SC_B \quad \text{Ec. 26}$$

$$SC_T = \sum Y_{ij}^2 - \frac{(\sum Y_{ij})^2}{N} \quad \text{Ec. 27}$$

$$SC_{Error} = SC_T - (SC_A + SC_B + SC_{AB}) \quad \text{Ec. 28}$$

Los valores de los cuadrados medios se determinan mediante:

$$CM_A = \frac{SC_A}{2} \quad \text{Ec. 29}$$

$$CM_B = \frac{SC_B}{2} \quad \text{Ec. 30}$$

$$CM_{AB} = \frac{SC_{AB}}{2} \quad \text{Ec. 31}$$

$$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{2} \quad \text{Ec. 32}$$

Los valores del parámetro F (Fisher) se calculan mediante las ecuaciones:

$$F_A = \frac{CM_A}{CM_{Error}} \quad \text{Ec. 33}$$

$$F_B = \frac{CM_B}{CM_{Error}} \quad \text{Ec. 34}$$

$$F_{AB} = \frac{CM_{AB}}{CM_{Error}} \quad \text{Ec. 35}$$

Las hipótesis nulas y alternativas están definidas de la siguiente manera:

H_{oA} : El porcentaje de Zinc no incide en la propiedad mecánica en estudio.

H_{aA} : El porcentaje de Zinc incide en la propiedad mecánica en estudio.

H_{oB} : La temperatura de sinterización no incide en la propiedad mecánica en estudio.

H_{aB} : La temperatura de sinterización incide en la propiedad mecánica en estudio.

H_{oAB} : No existe interacción entre el porcentaje de zinc y la temp. de sinterización

H_{aAB} : Existe interacción entre el porcentaje de zinc y la temp. de sinterización

La condición de Aceptación/Rechazo de la hipótesis nula es:

$F < F_{tabla}$ se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alternativa.

$F > F_{tabla}$ se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa.

4.3.1 Verificación de la hipótesis – Dureza

Tabla 4.32 Verificación de hipótesis – parámetros previos Dureza Brinell

DUREZA BRINELL (HB)					Total Yi
FACTOR 1 (A)	FACTOR 2 (B)				
Porcentaje elemento aleante	Temperatura de Sinterización				
	B1. 462 °C		B2. 594 °C		
A1. Zinc - 0,5 %	26,08	395,50	20,76	294,83	690,33
	28,07				
	24,87				
	28,07				
	25,77				
	27,05				
	24,30				
	25,17				
	24,30				
	26,40				
	28,42				
	25,47				
	28,07				
	26,08				
	27,38				
A2. Zinc - 1,0 %	30,28	444,31	31,48	481,66	925,98
	29,14				
	28,78				
	29,51				
	29,89				
	29,51				
	29,89				
	29,51				
	30,28				
	29,14				
	30,28				
	30,67				
	29,89				
	28,42				
	29,14				
A3. Zinc - 1,5 %	26,40	372,31	29,14	436,57	808,88
	24,87				
	25,77				
	26,08				
	24,58				
	25,47				
	24,30				
	23,47				
	24,87				
	25,47				
	24,02				
	25,47				
	24,30				
	23,74				
	23,47				
Total Yj	1212,12		1213,07		2425,19

Tabla 4.33 Verificación de hipótesis –Dureza Brinell

EFEECTO	Suma de cuadrados (SC)	Grados de Libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	F tabla	A/R Ho
A	925,50	2	462,75	8,91	3,11	R
B	0,01	1	0,005	0,0001	3,96	A
AB	522,02	2	261,01	5,03	3,11	R
Error	103,82	84	51,91	---	---	---
Total	1551,35	89	---	---	---	---

4.3.2 Verificación de la hipótesis – Límite de Fluencia

Tabla 4.34 Verificación de hipótesis – parámetros previos Límite de Fluencia

LÍMITE DE FLUENCIA (MPa)					Total Yi
FACTOR 1 (A)	FACTOR 2 (B)			Temperatura de Sinterización	
Porcentaje elemento aleante	B1. 462 °C		B2. 594 °C		
A1. Zinc - 0,5 %	13,41	70,37	15,56	76,35	146,72
	11,93		18,52		
	15,85		13,59		
	14,03		15,89		
	15,15		12,79		
A2. Zinc - 1,0 %	12,25	81,11	17,25	100,94	182,05
	20,59		20,56		
	18,59		22,14		
	13,12		19,81		
	16,56		21,18		
A3. Zinc - 1,5 %	17,61	75,17	13,56	61,90	137,07
	13,54		17,81		
	16,25		11,18		
	14,21		9,18		
	13,56		10,17		
Total Yj	226,65		239,19		465,84

Tabla 4.35 Verificación de hipótesis - Límite de Fluencia

EFEECTO	Suma de cuadrados (SC)	Grados de Libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	F tabla	A/R Ho
A	126,45	2	63,23	3,73	3,35	R
B	170,52	1	85,26	5,03	4,21	R
AB	113,91	2	56,96	3,36	3,35	R
Error	33,90	24	16,95	---	---	---
Total	444,78	29	---	---	---	---

4.3.3 Verificación de la hipótesis – Resistencia a la Tracción

Tabla 4.36 Verificación de hipótesis – parámetros previos Resistencia a la Tracción

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)				Total Yi
FACTOR 1 (A)	FACTOR 2 (B)			
Porcentaje elemento aleante	Temperatura de Sinterización			
	B1. 462 °C		B2. 594 °C	
A1. Zinc - 0,5 %	48,90	230,11	52,65	253,61
	48,41		53,65	
	46,76		48,56	
	42,43		50,10	
	43,61		48,65	
A2. Zinc - 1,0 %	50,23	262,12	64,96	302,78
	51,36		59,65	
	54,26		59,04	
	48,65		56,02	
	57,62		63,11	
A3. Zinc - 1,5 %	48,96	253,66	55,23	260,79
	55,32		48,56	
	48,21		58,24	
	52,48		49,58	
	48,69		49,18	
Total Yj	745,89		817,18	1563,07

Tabla 4.37 Verificación de hipótesis – Resistencia a la Tracción

EFEECTO	Suma de cuadrados (SC)	Grados de Libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	F tabla	A/R Ho
A	262,12	2	131,06	3,87	3,35	R
B	313,59	1	156,80	4,63	4,21	R
AB	231,64	2	115,82	3,42	3,35	R
Error	67,73	24	33,87	---	---	---
Total	875,08	29	---	---	---	---

4.3.4 Verificación de la hipótesis – Energía de Impacto

Tabla 4.38 Verificación de hipótesis – parámetros previos Energía de Impacto

ENERGÍA ABSORBIDA (J)				Total Yi
FACTOR 1 (A)	FACTOR 2 (B)			
Porcentaje elemento aleante	Temperatura de Sinterización			
	B1. 462 °C	B2. 594 °C		
A1. Zinc - 0,5 %	0,89	3,85	1,02	4,56
	0,59		1,03	
	0,89		0,74	
	0,59		0,74	
	0,89		1,03	
A2. Zinc - 1,0 %	1,03	6,06	0,59	5,61
	0,74		1,18	
	1,33		1,48	
	1,03		1,18	
	1,93		1,18	
A3. Zinc - 1,5 %	0,62	4,15	0,59	4,71
	1,18		0,88	
	0,88		1,18	
	0,59		1,18	
	0,88		0,88	
Total Yj	14,06		14,88	28,94

Tabla 4.39 Verificación de hipótesis –Energía de Impacto

EFEECTO	Suma de cuadrados (SC)	Grados de Libertad	Cuadrado Medio (CM)	F	F tabla	A/R Ho
A	1,78	2	0,89	3,43	3,35	R
B	2,30	1	1,15	4,43	4,21	R
AB	1,75	2	0,88	3,37	3,35	R
Error	0,52	24	0,26	---	---	---
Total	6,35	29	---	---	---	---

CAPÍTULO 5

5.1 Conclusiones

- El desarrollo del estudio de la incidencia del Zinc sobre el Aluminio 1060 mediante el proceso de pulvimetalurgia, se ejecutó de acuerdo a la planificación establecida, considerando los parámetros de porcentaje de elemento aleante: 0.5%, 1.0% y 1.5% y temperatura de sinterización: 462°C y 594°C correspondientes al 70% y 90% de la temperatura de fusión de la aleación mecánica respectivamente, como variables independientes o controlables.
- Para el correcto desarrollo de la mezcla de los polvos de material base y aleante; en primera instancia se determinó la masa mínima necesaria de los mismos, en función de las dimensiones y número requerido de probetas para cada uno de los ensayos a desarrollar, siendo el requerimiento total de 1695,913 gramos de Aluminio 1060 y 17,149 gramos de Zinc.
- El proceso de obtención de las probetas necesarias para el correcto desarrollo de los ensayos, se muestra a continuación en forma secuencial, donde se indican los parámetros y condiciones utilizadas en cada uno de ellos.
 - Adquisición de materia prima: polvo de aluminio 1060 con 30 *um* de tamaño de partícula, bloque sólido de Zinc.
 - Obtención de polvo de Zinc: mediante la utilización de un molino de bolas.
 - Tamizaje de polvo metálico de Zinc: desarrollado en un tamiz eléctrico para obtener la cantidad necesaria requerida con un tamaño de partícula entre 35 *um* y 63 *um*.
 - Verificación de forma de partícula: desarrollado en un microscopio electrónico, donde se verificó que la forma es irregular y asimétrica.

- Mezclado de polvos: desarrollado en un recipiente en forma de V, con un tiempo aproximado de 45 minutos por cada mezcla.
 - Proceso de compactación: desarrollado a una presión de 270 MPa.
 - Proceso de sinterización: llevado a cabo en un horno eléctrico a temperaturas de 462°C y 594°C.
 - Control dimensional de probetas: inspección y medición de las probetas obtenidas para corroborar que se encuentren dentro de los rangos estipulados por las Normas.
 - Codificación de probetas: asignación de códigos para una mejor identificación y clasificación.
 - Desarrollo de ensayos: tracción e impacto en los laboratorios del Centro de Fomento Carrocero y dureza en el laboratorio de materiales de la FICM-UTA.
- Las formas irregulares de polvo y menor tamaño de partícula permiten conseguir mejores resultados, por lo que se ha optado por utilizar partículas de forma asimétrica para una mejor adhesión en el proceso de compactación, al igual que tamaños de partícula: Aluminio 1060 (30 μm) y Zinc (45 – 63 μm), en función de los equipos disponibles para la obtención del mismo.
 - La presión de compactación utilizada fue de 270 MPa, la cual se encuentra dentro del rango recomendado 70 – 275 MPa, dado por [20] para el polvo metálico de Aluminio como material base.
 - La temperatura de sinterización es otro de los parámetros que incide directamente en los resultados a obtener, de acuerdo a estudios previos se establece que este parámetro debe estar entre el 70 y 90 % de la temperatura de fusión de la aleación mecánica, para este caso específico se optó por trabajar con los límites de esta recomendación, es decir con 462 °C y 594 °C durante un período aproximado de 4 horas una vez alcanzada la temperatura estipulada.
 - La magnitud de la propiedad mecánica de Dureza Brinell presentó un porcentaje de variación positivo en los seis casos de estudio desarrollados, siendo el más alto de 69%, correspondiente a 32,11 HB en la aleación de 1% de Zinc a una

temperatura de sinterización de 594°C, lo cual establece que la adición de zinc por el método de pulvimetalurgia incrementa esta propiedad sobre el material base Aluminio 1060.

- La magnitud de la propiedad mecánica de Límite de Fluencia presentó un porcentaje de variación negativo en los seis casos de estudio desarrollados, siendo el menos afectado de 31,33%, correspondiente a 20,19 MPa en la aleación de 1% de Zinc a una temperatura de sinterización de 594°C.
- La magnitud de la propiedad mecánica de Resistencia Última a la Tracción presentó un porcentaje de variación negativo en cinco de los seis casos de estudio desarrollados, el único porcentaje de variación positivo 12,29%, indicativo de mejora en la propiedad en estudio, correspondiente a un valor de 60,56 MPa se logró en el caso de estudio con un porcentaje de aleación de 1% de Zinc a una temperatura de sinterización de 594°C.
- La magnitud de la propiedad mecánica de energía absorbida en el impacto presentó un porcentaje de variación negativo en los seis casos de estudio desarrollados, siendo el menos afectado de 39,40%, correspondiente a 1,212 J en la aleación de 1% de Zinc a una temperatura de sinterización de 462°C.
- Los mejores resultados de las propiedades mecánicas de dureza Brinell, límite de fluencia, resistencia última a la tracción analizadas dentro del rango de variación establecido, se han obtenido en el caso de estudio donde el porcentaje de elemento aleante Zinc es del 1% y el proceso de aleación desarrollado a una temperatura de sinterización de 594 °C, correspondiente al 90 % de la temperatura de fusión de la aleación mecánica, mientras que la energía absorbida en el impacto consiguió el mejor resultado con un porcentaje de elemento aleante Zinc del 1% con una temperatura de sinterización de 462 °C.
- La temperatura de sinterización no influye en la magnitud del valor de la dureza Brinell, mientras que el porcentaje del elemento aleante Zn si lo hace, además existe interacción entre las variables controlables de acuerdo a la prueba de contraste de hipótesis de Fisher.

- El porcentaje del elemento aleante Zn, al igual que la temperatura de sinterización inciden directamente en la magnitud del límite de fluencia, resistencia última a la tracción y energía de impacto absorbida; existe además interacción entre las variables controlables de acuerdo a la prueba de contraste de hipótesis de Fisher.

5.2 Recomendaciones

- El laboratorio de materiales de la Carrera de Ingeniería Mecánica de la UTA debe ser fortalecido con equipos que faciliten el proceso de obtención del polvo metálico a más de que posean la capacidad de obtener partículas cuyo tamaño esté por debajo de los 40 μm , de manera que se optimice el recurso tiempo en su procesamiento.
- Evitar la contaminación del polvo metálico con impurezas que pueden afectar e incidir negativamente en su composición y por ende en los resultados de los análisis a desarrollar posteriormente.
- Efectuar un control después de cada uno de los procesos a desarrollar, con la finalidad de obtener probetas de calidad, sin imperfecciones, que cumplan con los requerimientos establecidos por las normas ASTM aplicables.
- Los tiempos requeridos en los procesos de molienda y mezclado de los polvos metálicos deben ser desarrollados de acuerdo a las recomendaciones establecidas con el objetivo de desarrollar adecuadamente estas actividades y evitar aglomeraciones del elemento aleante en una zona específica, más bien conseguir una distribución uniforme.
- El proceso de compactación debe obedecer al rango de presiones recomendadas en función del material base, además los moldes a utilizar deben poseer la capacidad de evitar fugas del material, lo cual conllevaría consigo probetas que no cumplan con los requerimientos dimensionales establecidos por la norma respectiva.
- Evitar acciones corrosivas sobre las probetas mediante la utilización de arena refractaria, la cual actúa como un medio aislante y evita el contacto directo con el

oxígeno, fenómeno que puede ser afectado en forma acelerada en el proceso de sinterización, al someter los materiales a temperaturas considerablemente altas.

- Desarrollar cada procedimiento con las respectivas normas de seguridad industrial, para minimizar la ocurrencia de accidentes que involucren afectación a los materiales procesados o al personal encargado.
- Realizar investigaciones complementarias y/o paralelas mediante el control de otras variables como es la presión de compactado y procesos térmicos posteriores a la sinterización.
- Desarrollar investigaciones que permitan obtener otras propiedades mecánicas que colaboren con la caracterización de la aleación en estudio, como es la resistencia a la fatiga para contar con la curva de comportamiento y aumentar las alternativas de aplicación de la misma.

CAPÍTULO 6

6.1 Datos informativos

6.1.1 Título

Rediseño de los pasadores acopladores de las superficies fija y móvil de los planos de vuelo de dirigibles construidos en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana para mejorar su comportamiento mecánico.

6.1.2 Beneficiario

El beneficiario directo del desarrollo de la presente investigación será el departamento de diseño y mantenimiento del CIDFAE, al contar con documentación técnicamente argumentada que permita alargar el tiempo de funcionamiento operativo de las aeronaves y por ende mejorar la confiabilidad de los elementos mecánicos en estudio, aportando de esta manera al desarrollo tecnológico en el área.

6.1.3 Equipo Técnico Responsable

- Investigador: Ing. Giovanni Pineda.
- Tutor FICM – UTA: Ing. Mg. Gonzalo López.

6.2 Antecedentes de la propuesta

6.3 Justificación

Los proyectos previos de investigación desarrollados referente a los planos de vuelo de los dirigibles, han sido enfatizados en el diseño aerodinámico y estructural, donde se ha ido optimizando cada vez más su configuración consiguiendo resultados satisfactorios, pero se ha relegado el estudio de los elementos mecánicos considerados menores, aunque cumplen una función de relevancia en la correcta operatividad de las aeronaves; de acuerdo con el departamento de mantenimiento se registra una tasa de fallos alta de los elementos acopladores de las superficies fija y móvil, las cuales representan una de las causas principales de paradas no programadas.

Al rediseñar los elementos acopladores se pretende prolongar su vida útil y minimizar la probabilidad de ocurrencia de eventos no esperados en operación de vuelo, para de esta manera aumentar la confiabilidad y disminuir el número de mantenimientos correctivos que repercuten negativamente en las misiones asignadas a este tipo de aeronaves.

El beneficio que recibe el CIDFAE es contar con una nueva alternativa de diseño de los pasadores, que sirva como complemento de estudios previos enfocados al resto de componentes y conseguir el funcionamiento acorde a los requerimientos de los planos de vuelo, para de esta manera influir positivamente en la correcta operación de las misiones asignadas a este tipo de aeronave.

6.4 Objetivos

6.4.1 Objetivo General

Rediseñar los pasadores acopladores de las superficies fija y móvil de los planos de vuelo de dirigibles construidos en el Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana.

6.4.2 Objetivos Específicos

- Identificar las posiciones críticas de los planos de vuelo y especificar el tipo de esfuerzo a los que están sometidos los pasadores en operación de vuelo.
- Determinar las cargas que actúan directamente sobre los pasadores de los planos de vuelo vertical y horizontal.
- Calcular el diámetro de los pasadores mediante un proceso de rediseño.

6.5 Análisis de factibilidad

El rediseño de los pasadores acopladores de las superficies fija y móvil de los planos de vuelo se basa en parámetros previos conocidos y estudiados referente a condiciones de operación, así como cargas soportadas por las superficies aerodinámicas de los dirigibles, datos argumentados técnicamente que servirán como punto de partida para identificar y proponer alternativas positivas que se ajusten a las necesidades de operatividad de las aeronaves.

6.6 Fundamentación

6.6.1 Esfuerzos en elementos mecánicos

Los elementos mecánicos están sometidos a diferentes tipos de esfuerzos, los cuales están en función de la dirección y el tipo de carga; es necesario recalcar que sobre la mayoría de componentes mecánicos actúan esfuerzos de diferentes tipos a la vez, por lo que es fundamental calcular esfuerzos principales; se inicia la descripción con los principales tipos de esfuerzos, los cuales se describen a continuación:

6.6.1.1 Esfuerzo normal

El esfuerzo normal se caracteriza porque actúa en forma perpendicular al plano sobre el que se aplica la fuerza que puede ser de tracción o compresión, distribuido de manera uniforme por toda su superficie y se determina a partir de la siguiente ecuación [33]:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \text{Ec. 36}$$

$\sigma \rightarrow$ esfuerzo normal (MPa)

$P \rightarrow$ Carga aplicada (MN)

$A \rightarrow$ área sección transversal perpendicular a la carga aplicada (m^2)

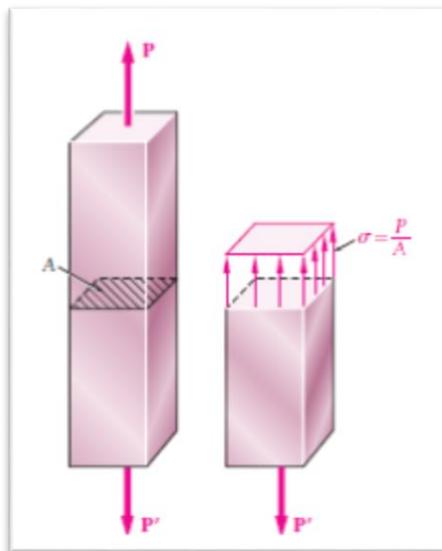


Figura 6.1 Esfuerzo normal [33]

6.6.1.2 Esfuerzo cortante directo

La característica del esfuerzo cortante directo es que actúa de manera tangencial a la superficie del material, donde la fuerza actuante tiende a cortar el elemento mecánico; se asume que el esfuerzo cortante está distribuido uniformemente como se aprecia en la Figura 6.2 c. El esfuerzo cortante es aplicado en el diseño de pernos, pasadores, remaches, cuñas, soldaduras y juntas pegadas [34].

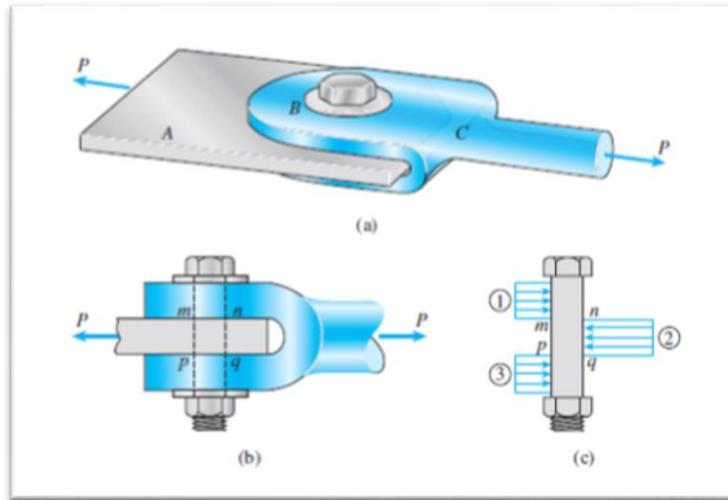


Figura 6.2 Esfuerzo cortante. a) Conexión barra horquilla mediante un perno. b) Vista lateral esquemática. c) Diagrama de cuerpo libre del perno.

El esfuerzo cortante promedio sobre la sección transversal de un elemento se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad \text{Ec. 37}$$

$\tau \rightarrow$ esfuerzo cortante (MPa)

$V \rightarrow$ Fuerza cortante (MN)

$A \rightarrow$ área sección trasversal paralela a la carga aplicada

En función del diseño geométrico de la junta, puede existir un esfuerzo cortante doble, el cual se caracteriza por existir dos áreas de corte, la ecuación a utilizar es:

$$\tau = \frac{V}{2A} \quad \text{Ec. 38}$$

6.6.1.3 Esfuerzo cortante por torsión

Existe una relación directamente proporcional entre el par de torsión aplicado sobre un componente y la magnitud del esfuerzo cortante, la ecuación que permite hallar la magnitud del esfuerzo sobre un elemento mecánico de sección transversal circular se muestra a continuación [35]:

$$\tau = \frac{16T}{\pi D^3} \quad \text{Ec. 39}$$

$\tau \rightarrow$ esfuerzo cortante (MPa)

$T \rightarrow$ momento torsor (MNm)

$D \rightarrow$ diámetro sección circular (m)

Los esfuerzos cortantes producidos por un momento torsor varían linealmente con la distancia medida desde el centro de la barra, esto es consecuencia de la ley de Hooke, como se aprecia en la Figura 6.3.

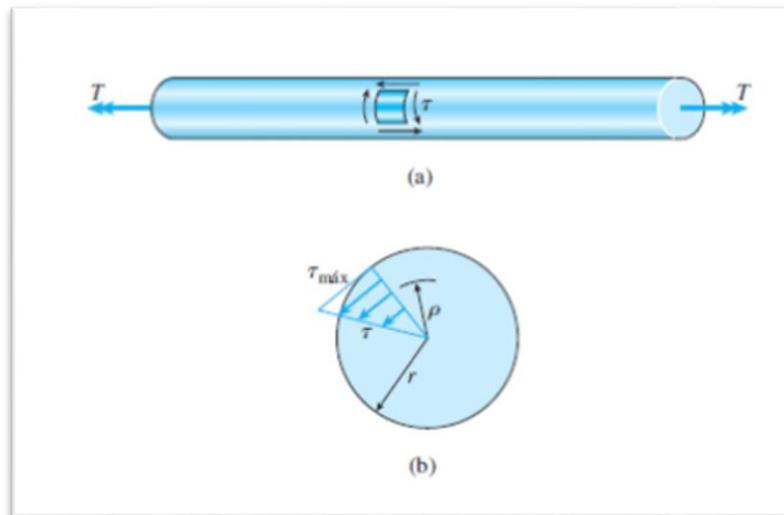


Figura 6.3 Esfuerzo cortante por torsión. a) Dirección de los esfuerzos
b) Variación del esfuerzo cortante por torsión. [35]

En el caso de existir esfuerzos cortantes directos y producidos por torsión, la magnitud del esfuerzo cortante total estaría dado por la suma algebraica de los mismos [34].

6.6.2 Diseño de elementos mecánicos sometidos a carga estática

Una carga estática está definida como la acción estacionaria de una fuerza, momento o torque que actúa sobre un determinado elemento, de manera que su magnitud, dirección y punto o zona de aplicación no varíen con el tiempo, es decir se pueda considerar como constante y tratar como tal [33].

Las teorías de falla aplicables para un diseño a carga estática están en función del comportamiento de un material que se clasifica como dúctil o frágil, aunque bajo situaciones especiales un material considerado normalmente como dúctil puede fallar de manera frágil, en estos últimos no se presenta una resistencia a la fluencia identificable. Las posibles formas o modos de falla en un elemento mecánico se pueden presentar como deformación permanente, agrietamiento y ruptura, cuyas teorías se describen a continuación [33]:

6.6.2.1 Teoría del esfuerzo cortante máximo (ECM)– material dúctil

La teoría del esfuerzo cortante máximo o más comúnmente conocida como teoría de Tresca, estipula que la fluencia de un material comienza cuando el esfuerzo cortante máximo de un elemento mecánico sometido a estados de carga iguala el esfuerzo cortante máximo obtenido en una pieza de ensayo sometida a tensión cuando ésta empieza a fluir como se muestra en la Figura 6.4 [33].

La formulación matemática que permite hallar la magnitud del esfuerzo cortante máximo está dado por las siguientes ecuaciones.

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{S_y}{2n} \quad \text{Ec. 40}$$

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{S_y}{n} \quad \text{Ec. 41}$$

$\tau_{m\acute{a}x}$ → *esfuerzo cortante máximo (MPa)*

S_y → *límite de fluencia del material (MPa)*

n → *factor de seguridad*

σ_1, σ_3 → *esfuerzos principales (MPa)*

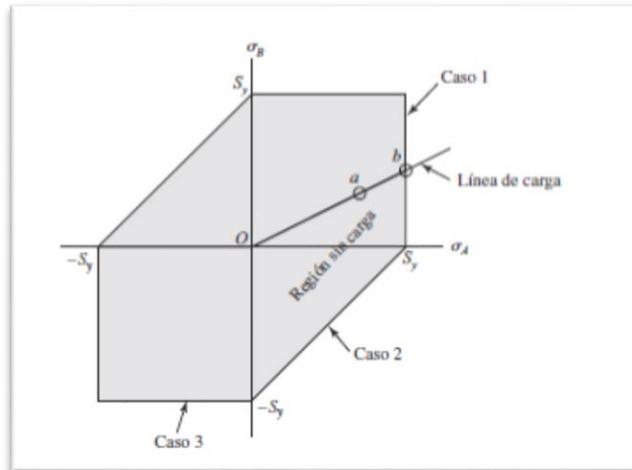


Figura 6.4 Teoría del esfuerzo cortante máximo [33]

6.6.2.2 Teoría de la energía de distorsión (ED)– material dúctil

La teoría de la energía de distorsión, conocida también como teoría de Von Mises, predice que la falla de un elemento mecánico por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen iguala o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o en compresión del mismo material [33].

Las ecuaciones que relacionan el límite de fluencia del material con los esfuerzos principales están dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad \text{Ec. 42}$$

$$\frac{S_y}{n} = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ec. 43}$$

$S_y \rightarrow$ límite de fluencia del material (MPa)

$n \rightarrow$ factor de seguridad

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3 \rightarrow$ esfuerzos principales (MPa)

$\sigma_x \rightarrow$ esfuerzo a lo largo del eje x (MPa)

$\sigma_y \rightarrow$ esfuerzo a lo largo del eje y (MPa)

$\tau_{xy} \rightarrow$ esfuerzo cortante (MPa)

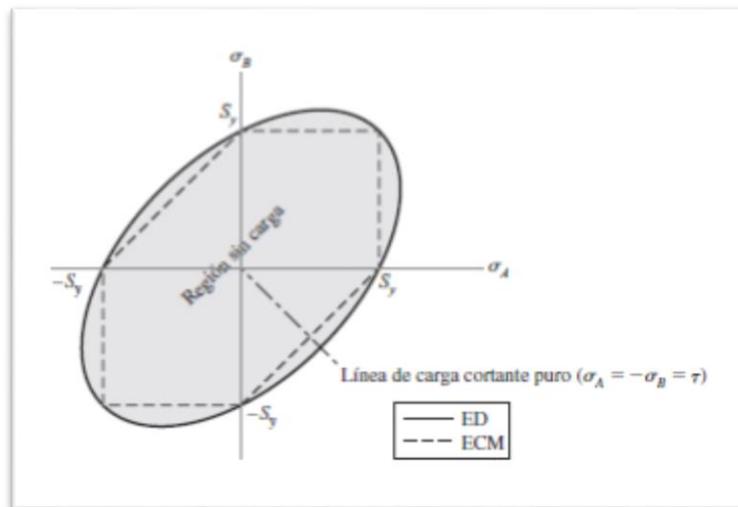


Figura 6.5 Teoría de la energía de distorsión [33]

6.6.2.3 Teoría de Mohr Coulomb (CMD) – material dúctil

Debido a que no todos los materiales tienen magnitudes de resistencias iguales a esfuerzos de compresión y tracción, la teoría de Mohr Coulomb es útil, debido a que la formulación matemática considera los dos parámetros mencionados, que en ciertos materiales difieren significativamente, por lo que otorga una importancia primordial a las hipótesis que pueden usarse para predecir la falla de materiales con estas características [33].

$$\frac{\sigma_1}{S_t} - \frac{\sigma_3}{S_c} = \frac{1}{n} \quad \text{Ec. 44}$$

$S_t \rightarrow$ límite de fluencia del material en tracción (MPa)

$S_c \rightarrow$ límite de fluencia del material en compresión (MPa)

$n \rightarrow$ factor de seguridad

$\sigma_1, \sigma_3 \rightarrow$ esfuerzos principales (MPa)

Algunos materiales pueden presentar una resistencia a la tracción mayor que a la compresión o viceversa; por lo que, en caso de no poseer dichos valores, existe la necesidad de desarrollar ensayos para estimar estos valores y predecir más acertadamente el comportamiento de un elemento mecánico.

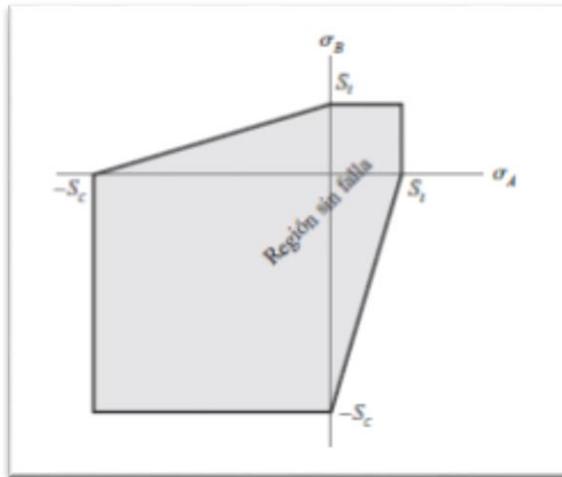


Figura 6.6 Teoría de Mohr Coulomb [33]

6.6.2.4 Teoría del esfuerzo normal máximo (ENM) – material frágil

La teoría del esfuerzo normal máximo, que en la actualidad es poco utilizada y no muy recomendable, es aplicada en materiales considerados como frágiles, es decir, aquellos donde el límite de fluencia no está definido o su magnitud es muy baja con respecto a la resistencia última a la tracción o compresión [34].

Esta teoría estipula que la falla ocurre cuando uno de los tres esfuerzos principales es igual o excede la resistencia del material.

Las ecuaciones de este criterio de diseño se muestran a continuación y están dadas para la resistencia a la tracción y compresión [33].

$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} \quad \text{Ec. 45}$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n} \quad \text{Ec. 46}$$

S_{ut} → resistencia última a la tensión (MPa)

S_{uc} → resistencia última a la compresión (MPa)

n → factor de seguridad

σ_A, σ_B → esfuerzos sobre el elemento (MPa)

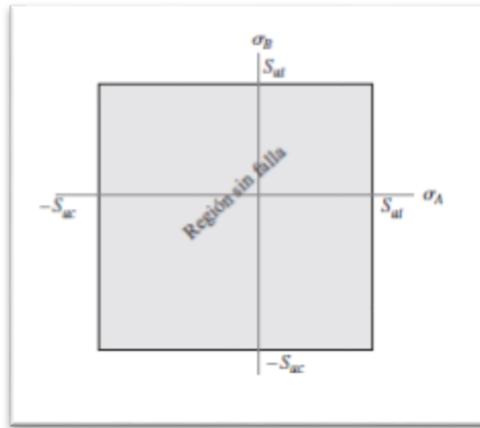


Figura 6.7 Teoría del esfuerzo normal máximo [33]

6.6.2.5 Teoría de Mohr frágil (CMF) y Mohr modificada (MM)– material frágil

Una vez determinados los esfuerzos principales, se puede aplicar una de las modificaciones existentes de la teoría de Mohr, que para ciertas condiciones coincide con la teoría del esfuerzo normal máximo, las ecuaciones dadas se restringirán al esfuerzo plano y se muestran a continuación [33].

Mohr Coulomb frágil:

$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} \quad \sigma_A \geq \sigma_B \geq 0 \quad \text{Ec. 47}$$

$$\frac{\sigma_A}{S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n} \quad \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad \text{Ec. 48}$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n} \quad 0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B \quad \text{Ec. 49}$$

Mohr modificada:

$$\sigma_A = \frac{S_{ut}}{n} \quad \sigma_A \geq \sigma_B \geq 0, \quad \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad y \quad \left| \frac{\sigma_B}{\sigma_A} \right| \leq 1 \quad \text{Ec. 50}$$

$$\frac{(S_{uc} - S_{ut})\sigma_A}{S_{uc} * S_{ut}} - \frac{\sigma_B}{S_{uc}} = \frac{1}{n} \quad \sigma_A \geq 0 \geq \sigma_B \quad y \quad \left| \frac{\sigma_B}{\sigma_A} \right| > 1 \quad \text{Ec. 51}$$

$$\sigma_B = -\frac{S_{uc}}{n} \quad 0 \geq \sigma_A \geq \sigma_B \quad \text{Ec. 52}$$

S_{ut} → resistencia última a la tensión (MPa)

S_{uc} → resistencia última a la compresión (MPa)

n → factor de seguridad

σ_A, σ_B → esfuerzos sobre el elemento (MPa)

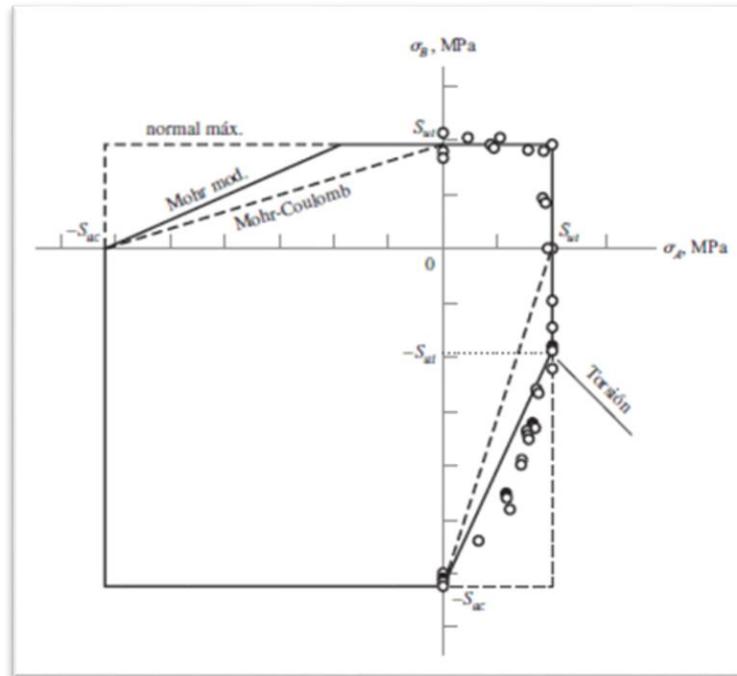


Figura 6.8 Teoría de Mohr y Mohr modificada [33]

6.6.3 Fatiga

El fenómeno de ruptura por fatiga se presenta en la mayoría de elementos de máquinas que están sometidos a esfuerzos variables cíclicos; provocados por fuerzas alternantes que varían su magnitud en función del tiempo, los cuales son causantes de que estos fallen, frecuentemente para un esfuerzo mucho menor que el de ruptura dado para cargas estáticas [33].

La falla de fatiga es de naturaleza frágil y es aplicada para materiales considerados dúctiles y materiales frágiles. Al reducirse la magnitud del esfuerzo máximo, el número de ciclos requeridos para causar la ruptura aumenta hasta que se alcanza un esfuerzo denominado el límite de resistencia o fatiga [34].

El diseño por resistencia a la fatiga, causado por esfuerzos alternados, puede ser desarrollado con la finalidad de determinar el esfuerzo a aplicar sin que el elemento no falle un número indefinido de veces conocido como vida infinita; o a su vez el esfuerzo que puede ser aplicado un número limitado de veces llamado vida finita [33].

Si el fallo se produce con un número de ciclos menor a mil, se le conoce como fatiga de bajo ciclo; sin embargo, muchos componentes metálicos experimentan fallas después de millones de ciclos de esfuerzo aplicado. En la Figura 6.9 se muestra los esfuerzos fluctuantes que conducen a la falla por fatiga en los metales [35].

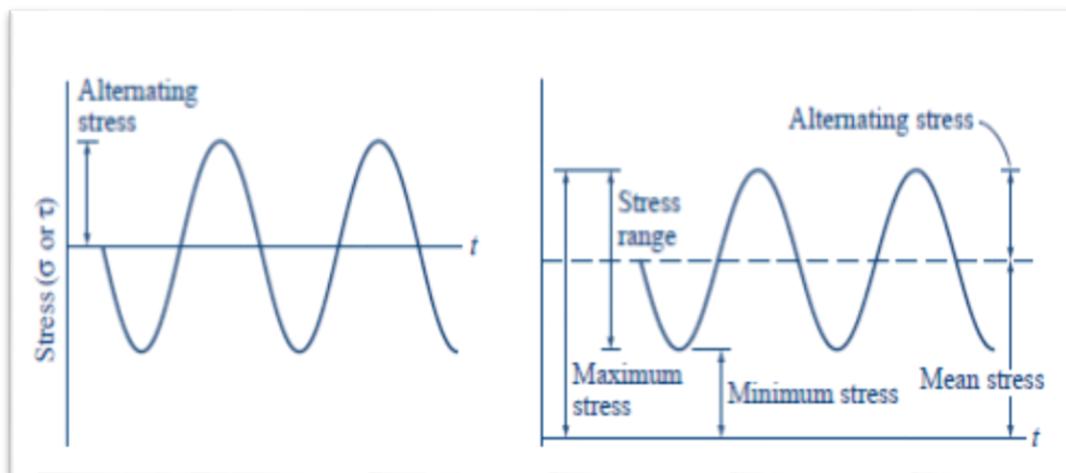


Figura 6.9 Ciclos de esfuerzo típicos que pueden producir falla por fatiga.

a) Esfuerzo completamente invertido. b) Esfuerzo fluctuante sinusoidal [35]

6.6.4 Límite de Resistencia a la Fatiga

El procedimiento para determinar el límite de resistencia a la fatiga amerita un proceso extenso, por lo que en función de varias investigaciones previas desarrolladas se ha podido establecer métodos que permiten obtener este parámetro de manera muy aproximada [36].

Para los aceros el límite de resistencia a la fatiga está dado por:

$$S'_e = \begin{cases} 0,5 S_{ut} & \text{si } S_{ut} \leq 1400 \text{ MPa} \\ 700 \text{ MPa} & \text{si } S_{ut} > 1400 \text{ MPa} \end{cases} \quad \text{Ec. 53}$$

Mientras que para las aleaciones de Aluminio es:

$$S'_e = \begin{cases} 0,4 Sut & \text{si } Sut \leq 280 \text{ MPa} \\ 160 \text{ MPa} & \text{si } Sut > 280 \text{ MPa} \end{cases} \quad \text{Ec. 54}$$

Donde Sut representa la resistencia última a la tracción.

6.6.5 Resistencia a la Fatiga

La Resistencia a la Fatiga está dado por el número de ciclos en el cual un elemento de máquina puede desempeñar correctamente la función para la cual fue diseñado, este método permite estimar el tiempo de vida útil cuando la única información que se posee es el ensayo a tensión simple [36].

La fracción de resistencia a la fatiga se puede aproximar mediante la Figura 6.10:

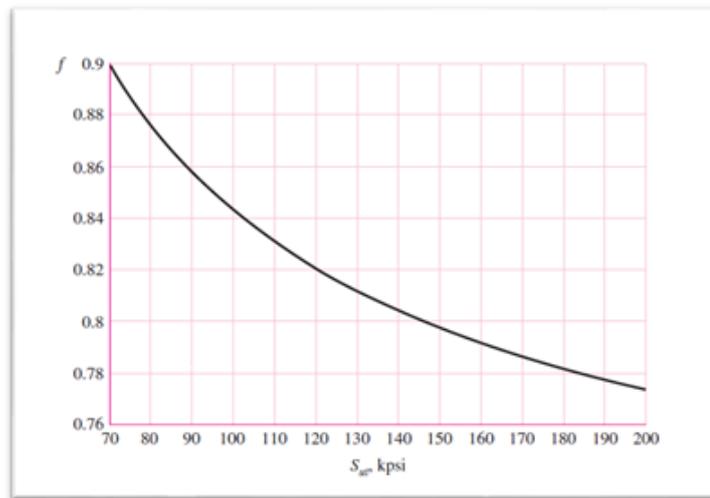


Figura 6.10 Fracción de resistencia a la fatiga [36]

Las ecuaciones que permiten determinar la resistencia a la fatiga son:

$$S_f = a * N^b \quad \text{Ec. 55}$$

$$a = \frac{(f * Sut)^2}{S_e} \quad \text{Ec. 56}$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left[\frac{f * Sut}{S_e} \right] \quad \text{Ec. 57}$$

$S_f \rightarrow$ resistencia del material a vida finita (MPa)

$N \rightarrow$ número de ciclos de vida útil

$f \rightarrow$ fracción de resistencia a la fatiga

$S_{ut} \rightarrow$ resistencia última a la tracción (MPa)

$S_e \rightarrow$ límite de resistencia a la fatiga modificado (MPa)

6.6.6 Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga

El límite de resistencia a la fatiga varía en función de varios parámetros, algunos de los más representativos incluyen [36]:

- Material: composición, base de falla, variabilidad.
- Manufactura: método, tratamiento térmico, corrosión superficial por tratamiento, acabado superficial, concentración de esfuerzo.
- Entorno: corrosión, temperatura, estados de esfuerzo, tiempos de relajación.
- Diseño: tamaño, forma, vida, estado de esfuerzos, velocidad, rozamiento, excoiación.

Se ha identificado factores que permiten cuantificar algunos de los efectos mencionados con anterioridad, a través de la ecuación de Marin:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad \text{Ec. 58}$$

$S_e \rightarrow$ límite de resistencia a la fatiga modificado (MPa)

$S'_e \rightarrow$ límite de resistencia a la fatiga (MPa)

$k_a \rightarrow$ factor de modificación por la consición superficial

$k_b \rightarrow$ factor de modificación por el tamaño

$k_c \rightarrow$ factor de modificación por la carga

$k_d \rightarrow$ factor de modificación por la temperatura

$k_e \rightarrow$ factor de confiabilidad

$k_f \rightarrow$ factor de modificación por efectos varios

A continuación, se especifica las ecuaciones y condiciones necesarias para calcular cada uno de los factores mencionados anteriormente:

6.6.6.1 Factor de superficie k_a

El factor de superficie está en función de los parámetros a y b , los cuales dependen de la calidad del acabado superficial y de la resistencia última a la tracción; se determina mediante la siguiente ecuación:

$$k_a = aSut^b \quad \text{Ec. 59}$$

$k_a \rightarrow$ factor de modificación por la consición superficial

$Sut \rightarrow$ resistencia última a la tracción

Los parámetros a y b están dados en Tabla 6.1:

Tabla 6.1 Parámetros a y b - Factor de superficie k_a [36]

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$Sut, kpsi$	Sut, MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.0	-0.995

6.6.6.2 Factor de tamaño k_b

El factor de tamaño está en función del diámetro del elemento mecánico, es necesario recalcar que en caso de que el componente no posea una sección circular, se debe trabajar con el diámetro equivalente respectivo [36]:

$$k_b = \begin{cases} \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pul} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 \leq d \leq 10 \text{ pul} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 \leq d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{Ec. 60}$$

Para carga axial se debe tomar el valor de $k_b = 1$

6.6.6.3 Factor de carga k_c

Los valores medios del factor de carga en función de varias investigaciones y ensayos desarrollados están dados en función del tipo de esfuerzo al cual está sometido el elemento en análisis y se presentan a continuación [36]:

$$k_c = \begin{array}{ll} 1.00 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{array} \quad \text{Ec. 61}$$

6.6.6.4 Factor de temperatura k_d

Cuando el componente mecánico está sometido a temperaturas de operación considerablemente menores o mayores que la temperatura ambiente, la fractura frágil es muy probable, un ajuste de la curva polinomial del factor de modificación en función de la temperatura está dado por [36]:

$$k_d = 0.975 + 0.432(10^{-3})T_F - 0.115(10^{-5})T_F^2 \\ + 0.104(10^{-8})T_F^3 - 0.595(10^{-12})T_F^4 \quad \text{Ec. 62}$$

Esta ecuación es válida en el intervalo $70 \leq T_F \leq 1000^\circ\text{F}$

6.6.6.5 Factor de confiabilidad k_e

El factor de confiabilidad en función de experimentaciones desarrolladas sobre el estudio de datos de resistencia a la fatiga, presentan desviaciones estándar menores al 8%, por lo tanto, la magnitud de este factor se puede determinar a partir de la siguiente ecuación [36]:

$$k_e = 1 - 0.08z_a \quad \text{Ec. 63}$$

En la Tabla 6.2 se muestra algunos factores de confiabilidad estándar:

Tabla 6.2 Factor de confiabilidad k_e [36]

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_α	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

6.6.6.6 Factor de efectos varios k_f

El factor de efectos varios debe ser considerado por diferentes fenómenos que se pueden presentar en un componente mecánico a lo largo de su vida operativa [36]:

- Corrosión: un elemento sometido a esfuerzos repetidos puede fallar al encontrarse en una atmósfera corrosiva, por lo que en lo posible se debe minimizar la ocurrencia de este fenómeno.
- Recubrimiento electrolítico: los recubrimientos metálicos pueden reducir el límite de resistencia a la fatiga hasta en un 50%, mientras que la oxidación anódica hasta en un 39%.
- Metalizado por aspersión: reducen hasta un 14% la resistencia a la fatiga, este proceso provoca imperfecciones superficiales.
- Frecuencia cíclica: si existe corrosión, temperaturas elevadas y frecuencias bajas, la propagación de grietas será mayor.
- Corrosión por frotamiento: es producido por ajustes a presión, puede variar entre 0,24 y 0,90 en función de los materiales a unir.

6.6.7 Diseño de elementos mecánicos sometidos a carga dinámica

Una carga dinámica está definida como la acción fluctuante de una fuerza, momento o torque que actúa sobre un determinado elemento, de manera que su magnitud, dirección y punto o zona de aplicación varían con el tiempo [37].

La Figura 6.11 muestra varias teorías de falla aplicables para un diseño a carga dinámica, unas más conservadoras que otras y depende del diseñador la selección una de ellas, en función de la aplicabilidad del elemento de máquina [37].

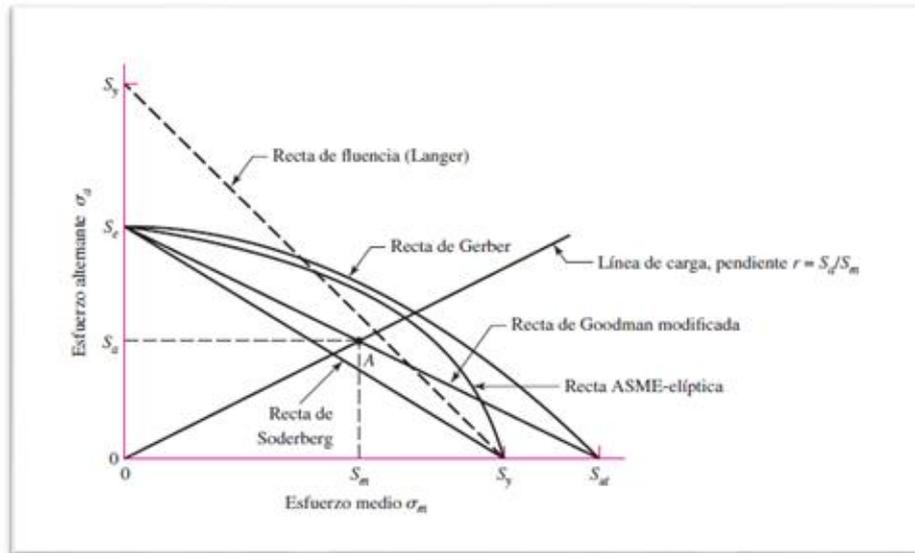


Figura 6.11 Criterios de falla para carga dinámica [36]

- Criterio de Soderberg:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_y} = \frac{1}{n} \quad \text{Ec. 64}$$

- Criterio de Goodman modificado:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n} \quad \text{Ec. 65}$$

- Criterio de Gerber:

$$\frac{n\sigma_a}{S_e} + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1 \quad \text{Ec. 66}$$

- Criterio de ASME - Elíptica:

$$\left(\frac{n\sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2 = 1 \quad \text{Ec. 67}$$

Donde los valores de esfuerzo medio σ_m y amplitud de esfuerzo σ_a , están daos por las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{m}n}}{2} \quad \text{Ec. 68}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{m}n}}{2} \quad \text{Ec. 69}$$

6.7 Metodología

6.7.1 Parámetros de operación dirigibles

Las características de operación de los dirigibles se muestran en la Tabla 6.3, de acuerdo a los registros que presenta el Centro de Investigación y Desarrollo de la FAE, y las respectivas interpolaciones de estos valores con respecto a los factores atmosféricos ISA (ICAO Standard Atmosphere).

Tabla 6.3 Parámetros de operación dirigibles [38] [39]

Parámetro	Magnitud	Unidad
Altitud de vuelo sobre el nivel del mar	3577	m
Velocidad promedio de operación	6,94	m/s
Velocidad de viento	11,97	m/s
Velocidad axial	5,03	m/s
Velocidad de viento cruzado	2,572	m/s
Temperatura	264,921	K
Densidad del aire	0,85662	Kg/m ³

6.7.2 Análisis y cálculo de fuerzas sobre los pasadores

Las fuerzas que inciden sobre los pasadores acopladores de las superficies fija y móvil de los dirigibles están en función de la presión ejercida por la velocidad del viento en dirección axial y transversal a la altura de operación de estas aeronaves, así como del peso propio de la estructura de las superficies aerodinámicas; en la Tabla 6.4, se estipula los estudios a desarrollar en función de las posiciones críticas de la superficie móvil.

Tabla 6.4 Posiciones críticas de los planos de vuelo

Plano de vuelo	Posición
Vertical	Recta y nivelada
	Desfasada 45°
Horizontal	Recta y nivelada
	Desfasada 45°

6.7.2.1 Fuerzas plano vertical

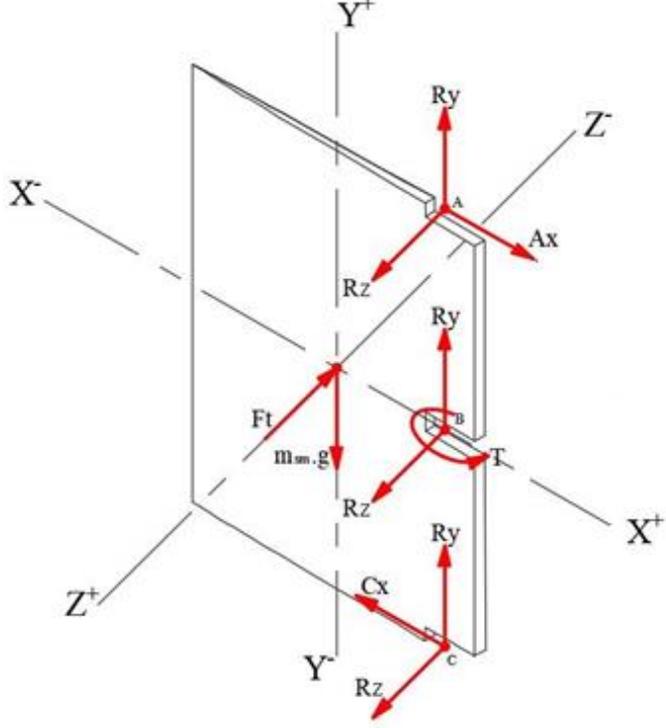
En la Tabla 6.5 se muestran las características de operación del plano vertical, así como las propiedades geométricas y físicas necesarias para el correcto desarrollo del estudio de fuerzas actuantes sobre los pasadores.

Tabla 6.5 Parámetros de operación – físicos y geométricos – plano vertical

PARÁMETROS - PLANO DE VUELO VERTICAL			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Altitud de vuelo sobre el nivel del mar	h_{nm}	3577	m
Velocidad axial	V_a	5,03	m/s
Velocidad transversal	V_t	2,572	m/s
Densidad del aire	δ	0,85662	Kg/m ³
Longitud base superficie móvil	b	1,2026	m
Longitud altura superficie móvil	h	1,6	m
Distancia horizontal centro de gravedad - posición pasador	d_x	0,4083	m
Área superficie móvil	A_{sm}	1,92416	m ²
Masa estructura superficie móvil	m_e	1,465	Kg
Masa recubrimiento superficie móvil	m_r	0,177	Kg
Masa superficie móvil	m_{sm}	1,642	Kg
Aceleración de la gravedad a la altitud de vuelo	g_h	9,799	m/s ²

Una vez definidos los parámetros de entrada, se presenta a continuación los diagramas de cuerpo libre (DCL) para el correcto análisis de las fuerzas que actúan sobre los pasadores acopladores del plano vertical en las posiciones críticas definidas en la Tabla 6.4.

Tabla 6.6 Análisis de fuerzas Plano Vertical – Sup. Recta y nivelada

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA – MENCIÓN DISEÑO</p>	
<p style="text-align: center;">ANÁLISIS DE FUERZAS PLANO VERTICAL SUPERFICIE RECTA Y NIVELADA</p>		<p style="text-align: right;">Hoja: 01 de 02</p>
		
<p style="text-align: center;">Figura 6.12 DCL – Plano Vertical – Superficie recta y nivelada</p> <ul style="list-style-type: none"> • Presión y fuerza tangencial: <div style="text-align: right; margin-left: 200px;"> $P_t = \frac{1}{2} * \delta * V_t^2 \quad \text{Ec. 70}$ $F_t = P_t * A_{sm} \quad \text{Ec. 71}$ </div> • Presión y fuerza axial: <div style="text-align: right; margin-left: 200px;"> $P_a = \frac{1}{2} * \delta * V_a^2 \quad \text{Ec. 72}$ $F_a = P_a * A_{sm} \quad \text{Ec. 73}$ </div> 		
<p>Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda</p>	<p style="text-align: right;">Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López</p>	



- Sumatoria de fuerzas sobre el eje x – y – z:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= 0 & \sum F_y &= 0 & \sum F_z &= 0 \\ -A_x + C_x &= 0 & 3R_y - m_{sm} * g_h &= 0 & 3 * R_z - F_t &= 0 \\ C_x = A_x & \text{ Ec. 74} & R_y = \frac{m_{sm} * g_h}{3} & \text{ Ec. 75} & R_z = \frac{F_t}{3} & \text{ Ec. 76} \end{aligned}$$

- Sumatoria de momentos alrededor del eje z:

$$\begin{aligned} \sum M_{B_z} &= 0 \\ m_{sm} * g_h * d_x - A_x * \frac{h}{2} - C_x * \frac{h}{2} &= 0 \\ m_{sm} * g_h * d_x - A_x * \frac{h}{2} - A_x * \frac{h}{2} &= 0 \\ A_x &= \frac{m_{sm} * g_h * d_x}{h} & \text{ Ec. 77} \end{aligned}$$

- Torque aplicado alrededor del eje y:

$$T_y = F_t * d_x \quad \text{Ec. 78}$$

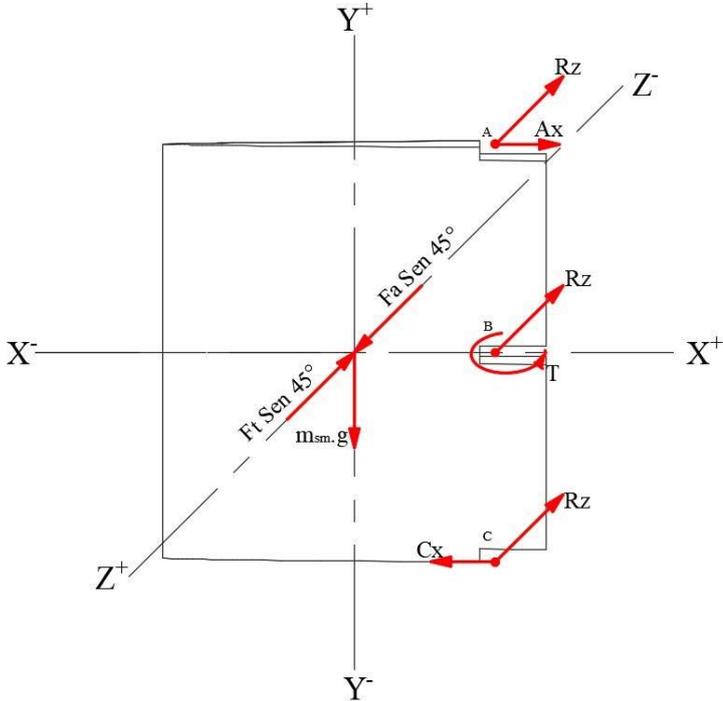
- Fuerzas cortantes pasadores A – B - C:

$$V_A = \sqrt{A_x^2 + R_z^2} \quad \text{Ec. 79}$$

$$V_B = R_z \quad \text{Ec. 80}$$

$$V_C = \sqrt{C_x^2 + R_z^2} \quad \text{Ec. 81}$$

Tabla 6.7 Análisis de fuerzas Plano Vertical – Sup. Desfasada 45°

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA – MENCIÓN DISEÑO</p>	
<p style="text-align: center;">ANÁLISIS DE FUERZAS PLANO VERTICAL SUPERFICIE DESFASADA 45°</p>		<p style="text-align: right;">Hoja: 01 de 02</p>
		
<p>Figura 6.13 DCL – Plano Vertical – Superficie desfasada 45°</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Presión y fuerza tangencial: $P_t = \frac{1}{2} * \delta * V_t^2 \quad \text{Ec. 82}$ $F_t = P_t * A_{sm} \quad \text{Ec. 83}$ • Presión y fuerza axial: $P_a = \frac{1}{2} * \delta * V_a^2 \quad \text{Ec. 84}$ $F_a = P_a * A_{sm} \quad \text{Ec. 85}$ 		
<p>Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda</p>	<p>Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López</p>	



- Sumatoria de fuerzas sobre el eje x – y – z:

$$\sum F_x = 0 \quad \sum F_y = 0 \quad \sum F_z = 0$$

$$-A_x + C_x = 0 \quad 3R_y - m_{sm} * g_h = 0 \quad 3R_z + (F_t - F_a) * \text{sen}(45^\circ) = 0$$

$$C_x = A_x \quad \text{Ec. 86} \quad R_y = \frac{m_{sm} * g_h}{3} \quad \text{Ec. 87} \quad R_z = \frac{(F_a - F_t) * \text{sen}(45^\circ)}{3} \quad \text{Ec. 88}$$

- Sumatoria de momentos alrededor del eje z:

$$\sum M_{B_z} = 0$$

$$m_{sm} * g_h * d_x - A_x * \frac{h}{2} - C_x * \frac{h}{2} = 0$$

$$m_{sm} * g_h * d_x - A_x * \frac{h}{2} - A_x * \frac{h}{2} = 0$$

$$A_x = \frac{m_{sm} * g_h * d_x}{h} \quad \text{Ec. 89}$$

- Torque aplicado alrededor del eje y:

$$T_y = (F_a - F_t) * \text{sen}(45^\circ) * d_x \quad \text{Ec. 90}$$

- Fuerzas cortantes pasadores A – B – C:

$$V_A = \sqrt{A_x^2 + R_z^2} \quad \text{Ec. 91}$$

$$V_B = R_z \quad \text{Ec. 92}$$

$$V_C = \sqrt{C_x^2 + R_z^2} \quad \text{Ec. 93}$$

En las Tablas 6.8 y 6.9, se presentan los resultados obtenidos de las fuerzas actuantes sobre los pasadores acopladores del plano vertical en función de las Ec. 70 – Ec. 93 estipuladas con anterioridad.

Tabla 6.8 Resultados Fuerzas plano vertical – superficie recta y nivelada

PLANO VERTICAL - SUPERFICIE RECTA Y NIVELADA			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Presión transversal	P_t	2,83	Pa
Fuerza transversal	F_t	5,45	N
Reacción pasador A a lo largo del eje x	A_x	4,106	N
Reacción pasador C a lo largo del eje x	C_x	4,106	N
Reacción a lo largo del eje y	R_y	5,363	N
Reacción pasadores a lo largo del eje z	R_z	1,817	N
Torque pasadores alrededor del eje y	T_y	2,226	Nm
Fuerza cortante pasador A	V_A	4,490	N
Fuerza cortante pasador B	V_B	1,817	N
Fuerza cortante pasador C	V_C	4,490	N

Tabla 6.9 Resultados Fuerzas plano vertical – superficie desfasada 45°

PLANO VERTICAL - SUPERFICIE DESFASADA 45°			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Presión transversal	P_t	2,83	Pa
Fuerza transversal	F_t	5,45	N
Presión axial	P_a	10,84	Pa
Fuerza axial	F_a	20,85	N
Reacción pasador A a lo largo del eje x	A_x	4,106	N
Reacción pasador C a lo largo del eje x	C_x	4,106	N
Reacción pasador B a lo largo del eje y	R_y	5,363	N
Reacción pasadores a lo largo del eje z	R_z	3,630	N
Torque pasadores alrededor del eje y	T_y	4,446	Nm
Fuerza cortante pasador A	V_A	5,480	N
Fuerza cortante pasador B	V_B	3,630	N
Fuerza cortante pasador C	V_C	5,480	N

6.7.2.2 Fuerzas plano horizontal

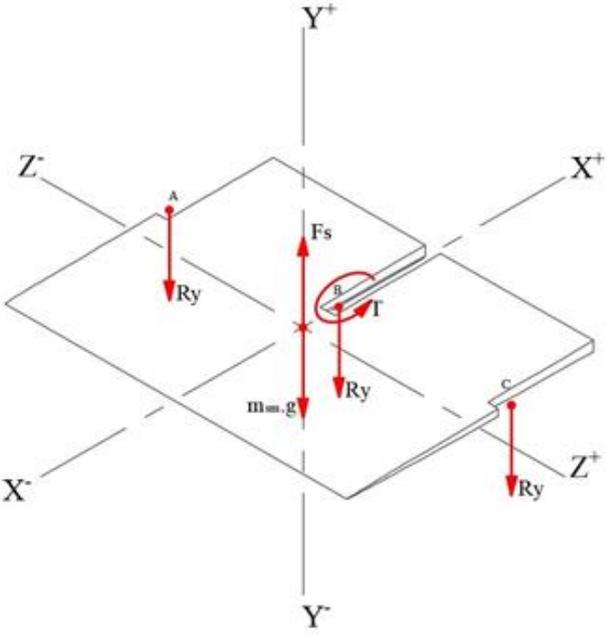
En la Tabla 6.10 se muestran las características de operación del plano horizontal, así como las propiedades geométricas y físicas necesarias para el correcto desarrollo del estudio de fuerzas actuantes sobre los pasadores.

Tabla 6.10 Parámetros de operación – físicos y geométricos – plano horizontal

PARÁMETROS - PLANO DE VUELO HORIZONTAL			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Altitud de vuelo sobre el nivel del mar	h_{nm}	3577	m
Velocidad axial	V_a	5,03	m/s
Velocidad transversal	V_t	2,572	m/s
Densidad del aire	δ	0,85662	Kg/m ³
Longitud base superficie móvil	b	1,20	m
Longitud altura superficie móvil	h	1,60	m
Distancia horizontal centro de gravedad - posición pasador	d_x	0,14	m
Área superficie móvil	A_{sm}	1,92	m ²
Masa estructura superficie móvil	m_e	1,554	Kg
Masa recubrimiento superficie móvil	m_r	0,174	Kg
Masa superficie móvil	m_{sm}	1,728	Kg
Aceleración de la gravedad a la altitud de vuelo	g_h	9,799	m/s ²

Una vez definidos los parámetros de entrada, se presenta a continuación los diagramas de cuerpo libre (DCL) para el correcto análisis de las fuerzas que actúan sobre los pasadores acopladores del plano horizontal en las posiciones críticas definidas en la Tabla 6.4.

Tabla 6.11 Análisis de fuerzas Plano Horizontal – Sup. Recta y nivelada

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA – MENCIÓN DISEÑO</p>	
<p style="text-align: center;">ANÁLISIS DE FUERZAS PLANO HORIZONTAL SUPERFICIE RECTA Y NIVELADA</p>		<p style="text-align: right;">Hoja: 01 de 02</p>
		
<p>Figura 6.14 DCL – Plano Horizontal – Superficie recta y nivelada</p>		
<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad total: 		
$V_T = \sqrt{V_a^2 + V_t^2} \quad \text{Ec. 94}$		
<ul style="list-style-type: none"> • Presión y fuerza de sustentación: 		
$P_s = \frac{1}{2} * \delta * V_T^2 \quad \text{Ec. 95}$		
$F_s = P_s * A_{sm} \quad \text{Ec. 96}$		
<p>Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda</p>	<p style="text-align: center;">Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López</p>	



- Sumatoria de fuerzas sobre el eje y:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_s - m_{sm} * g_h - 3 * R_y = 0$$

$$R_y = \frac{F_s - m_{sm} * g_h}{3} \quad \text{Ec. 97}$$

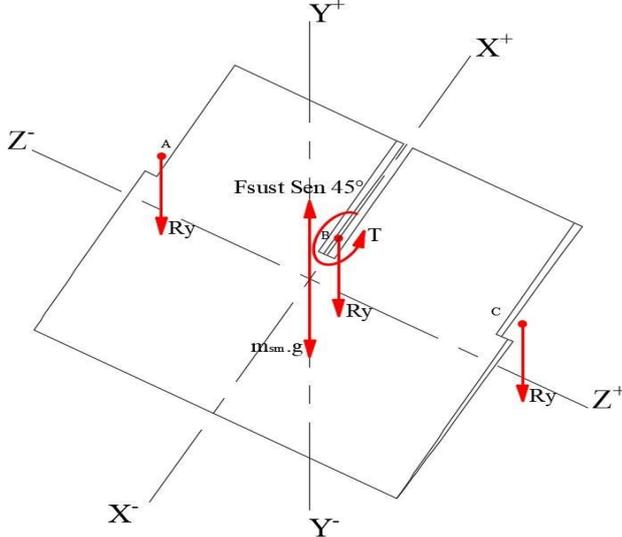
- Torque aplicado alrededor del eje z:

$$T_y = (F_s - m_{sm} * g_h) * d_x \quad \text{Ec. 98}$$

- Fuerzas cortantes pasadores A – B - C:

$$V_A = V_B = V_C = R_y \quad \text{Ec. 99}$$

Tabla 6.12 Análisis de fuerzas Plano Horizontal – Sup. Desfasada 45°

	<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA – MENCIÓN DISEÑO</p>	
<p style="text-align: center;">ANÁLISIS DE FUERZAS PLANO HORIZONTAL SUPERFICIE DESAFASADA 45°</p>		<p style="text-align: right;">Hoja: 01 de 02</p>
		
<p style="text-align: center;">Figura 6.15 DCL – Plano Horizontal – Superficie desfasada 45°</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sumatoria de fuerzas sobre el eje y: $\sum F_y = 0$ $F_s * \text{sen}(45) - m_{sm} * g_h - 3 * R_y = 0$ $R_y = \frac{F_s * \text{sen}(45^\circ) - m_{sm} * g_h}{3} \quad \text{Ec. 100}$ • Torque aplicado alrededor del eje z: $T_y = (F_s * \text{sen}(45^\circ) - m_{sm} * g_h) * d_x \quad \text{Ec. 101}$ • Fuerzas cortantes pasadores A – B - C: $V_A = V_B = V_C = R_y \quad \text{Ec. 102}$ 		
<p>Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda</p>	<p style="text-align: right;">Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López</p>	

En las Tablas 6.13 y 6.14, se presentan los resultados obtenidos de las fuerzas actuantes sobre los pasadores acopladores del plano horizontal en función de las Ec. 94 – Ec. 102 estipuladas con anterioridad.

Tabla 6.13 Resultados Fuerzas plano horizontal – superficie recta y nivelada

PLANO HORIZONTAL - SUPERFICIE RECTA Y NIVELADA			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Velocidad total	V_T	5,65	m/s
Presión de sustentación	P_s	13,67	Pa
Fuerza de sustentación	F_s	26,25	N
Reacción pasadores a lo largo del eje y	R_y	3,105	N
Torque pasadores alrededor del eje z	T_z	1,276	Nm
Fuerza cortante pasador A	V_A	3,105	N
Fuerza cortante pasador B	V_B	3,105	N
Fuerza cortante pasador C	V_C	3,105	N

Tabla 6.14 Resultados Fuerzas plano horizontal – superficie desfasada 45°

PLANO HORIZONTAL - SUPERFICIE DESFASADA 45°			
Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Velocidad total	V_T	5,65	m/s
Presión de sustentación	P_s	13,67	Pa
Fuerza de sustentación	F_s	26,25	N
Reacción pasadores a lo largo del eje y	R_y	0,542	N
Torque pasadores alrededor del eje z	T_z	0,223	Nm
Fuerza cortante pasador A	V_A	0,542	N
Fuerza cortante pasador B	V_B	0,542	N
Fuerza cortante pasador C	V_C	0,542	N

6.7.3 Diseño a carga estática

Con los resultados obtenidos de las fuerzas que inciden directamente sobre los pasadores, (Ver Tablas 6.8, 6.9, 6.13 y 6.14), se procede a realizar el diseño de estos elementos mecánicos mediante el criterio de Mohr Coulomb para materiales frágiles con un factor de seguridad de 2, de acuerdo a lo recomendado por [39], que establece un rango de 2 a 2.5 para aeronaves no tripuladas.

Tabla 6.15 Diseño a carga estática – selección diámetro pasador

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA – MENCIÓN DISEÑO	
ANÁLISIS DE ESFUERZOS - DISEÑO A CARGA ESTÁTICA		Hoja: 01 de 01
<ul style="list-style-type: none"> • Esfuerzo cortante doble $\tau_1 = \frac{V}{2A} = \frac{V}{2 * \frac{\pi * D^2}{4}} = \frac{2 * V}{\pi * D^2} \quad \text{Ec. 103}$ • Esfuerzo cortante por torsión $\tau_2 = \frac{T * r}{J} = \frac{T * \frac{D}{2}}{\frac{\pi * D^4}{32}} = \frac{16 * T}{\pi * D^3} \quad \text{Ec. 104}$ • Esfuerzo cortante total $\tau_T = \tau_1 + \tau_2$ $\tau_T = \frac{2 * V}{\pi * D^2} + \frac{16 * T}{\pi * D^3} \quad \text{Ec. 105}$ • Selección del diámetro $\tau_T = \frac{S_{ut}}{n}$ $\frac{2 * V}{\pi * D^2} + \frac{16 * T}{\pi * D^3} = \frac{S_{ut}}{n}$ $2 * n * V * D + 16 * n * T = \pi * D^3 * S_{ut}$ $\pi * D^3 * S_{ut} - 2 * n * V * D - 16 * n * T = 0 \quad \text{Ec. 106}$ • El diámetro estaría dado por la Ec. 107 hallada mediante la aplicación del método de Newton Raphson sobre la Ec. 106 $D_{n+1} = D_n - \frac{\pi * D_n^3 * S_{ut} - 2 * n * V * D_n - 16 * n * T}{3 * \pi * D_n^2 * S_{ut} - 2 * n * V} \quad \text{Ec. 107}$ 		
Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda		Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López

En las Tablas 6.16 a 6.19, se muestra el proceso iterativo desarrollado para el cálculo del diámetro del pasador, a partir de la Ec. 107.

Tabla 6.16 Diámetro pasadores – plano vertical – superficie recta y nivelada

Plano vertical - Superficie recta y nivelada - Pasador A			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,007473	0,001473	19,713020
0,007473	0,007221	0,000252	3,495275
0,007221	0,007212	0,000009	0,125248
0,007212	0,007212	0,000000	0,000157
Plano vertical - Superficie recta y nivelada - Pasador B			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,007469	0,001469	19,671208
0,007469	0,007218	0,000251	3,479896
0,007218	0,007209	0,000009	0,124090
0,007209	0,007209	0,000000	0,000154
Plano vertical - Superficie recta y nivelada - Pasador C			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,007473	0,001473	19,713020
0,007473	0,007221	0,000252	3,495275
0,007221	0,007212	0,000009	0,125248
0,007212	0,007212	0,000000	0,000157

Tabla 6.17 Diámetro pasadores – plano vertical – superficie desfasada 45°

Plano vertical - Superficie desfasada 45° - Pasador A			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,010936	0,004936	45,134217
0,010936	0,008778	0,002158	24,584187
0,008778	0,008090	0,000688	8,504326
0,008090	0,008001	0,000089	0,011123
Plano vertical - Superficie desfasada 45° - Pasador B			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,010932	0,004932	45,114430
0,010932	0,008632	0,002300	26,645041
0,008632	0,007919	0,000713	9,003662
0,007919	0,007885	0,000034	0,431198
Plano vertical - Superficie desfasada 45° - Pasador C			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,010936	0,004936	45,134217
0,010936	0,008778	0,002158	24,584187
0,008778	0,008090	0,000688	8,504326
0,008090	0,008001	0,000089	0,011123

Tabla 6.18 Diámetro pasadores – plano horizontal – superficie recta y nivelada

Plano horizontal - Superficie recta y nivelada - Pasadores			
D_n (m)	D_{n+1} (m)	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,005991	0,000009	0,153869
0,005991	0,005991	0,000000	0,000237
0,005991	0,005991	0,000000	0,000000
0,005991	0,005991	0,000000	0,000000

Tabla 6.19 Diámetro pasadores – plano horizontal – superficie desfasada 45°

Plano horizontal - Superficie desfasada 45° - Pasadores			
D_n (m)	D_{n+1} (m)	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,004347	0,001652	38,011997
0,004347	0,003559	0,000787	22,121534
0,003559	0,003359	0,000199	5,9512870
0,003359	0,003347	1,237E-05	0,3697161

En la Tabla 6.20 se muestra el resumen del diámetro obtenido y el aceptado para los pasadores de los planos de vuelo vertical y horizontal en las posiciones críticas en estudio para soportar carga estática; es necesario recalcar que se tomará el mayor de los diámetros calculados el cual será aceptado para los dos planos de vuelo.

Tabla 6.20 Diámetro pasador – diseño a carga estática

Plano	Posición	Magnitud	Unidad
Vertical	Recta y nivelada	7,212	mm
	Desfasada 45°	8,001	mm
Horizontal	Recta y nivelada	5,991	mm
	Desfasada 45°	3,347	mm
Diámetro seleccionado		8,000	mm

6.7.4 Diseño a carga dinámica

En vista de que la superficie móvil está en constante movimiento para provocar los giros de la aeronave, los esfuerzos fluctúan en función de la posición de la misma, por lo que a continuación se muestra el diseño a carga dinámica de los pasadores mediante el criterio Goodman modificado, entre las posiciones críticas en estudio.

Tabla 6.21 Diseño a carga dinámica – selección diámetro pasador

	<p align="center">UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA – MENCIÓN DISEÑO</p>	
<p align="center">ANÁLISIS DE ESFUERZOS - DISEÑO A CARGA DINÁMICA</p>		<p align="right">Hoja: 01 de 02</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Límite de resistencia a la fatiga de viga rotatoria $S_{ut} \leq 88 \text{ kpsi (600 MPa) Material frágil – Aluminio}$ $S'_e = 0.4S_{ut} \quad \text{Ec. 108}$ Los factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga son: • Factor de superficie $\text{Maquinado: } \begin{aligned} a &= 4.51 \\ b &= -0.265 \end{aligned}$ $k_a = a * S_{ut}^b$ $k_a = 4.51 * (60.56 \text{ MPa})^{-0.265}$ $k_a = 1.52$ $\therefore k_a = 1 \quad \text{Ec. 109}$ • Factor de tamaño $k_b = 1.24 * d^{-0.107}$ $k_b = 1.24 * (10 \text{ mm})^{-0.107}$ $k_b = 0.97 \quad \text{Ec. 110}$ • Factor de carga $k_c = 0.59 \quad \text{Ec. 111}$ • Factor de temperatura $k_d = 1 \quad \text{Ec. 112}$ • Factor de confiabilidad $k_e = 1 \quad \text{Ec. 113}$ • Factor de efectos diversos $k_f = 1 \quad \text{Ec. 114}$ 		
<p>Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda</p>		<p align="center">Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López</p>



- Límite de resistencia a la fatiga

$$S_e = k_a * k_b * k_c * k_d * k_e * k_f * \frac{1}{K_f} S'_e \quad \text{Ec. 115}$$

- Esfuerzo medio

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad \text{Ec. 116}$$

- Amplitud de esfuerzo

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2} \quad \text{Ec. 117}$$

- Selección del diámetro

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\sigma_{m\acute{a}x} - \sigma_{m\acute{i}n}}{2S_e} + \frac{\sigma_{m\acute{a}x} + \sigma_{m\acute{i}n}}{2S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{\frac{2V_2}{\pi D^2} + \frac{16T_2}{\pi D^3} - \frac{2V_1}{\pi D^2} - \frac{16T_1}{\pi D^3}}{2S_e} + \frac{\frac{2V_2}{\pi D^2} + \frac{16T_2}{\pi D^3} + \frac{2V_1}{\pi D^2} + \frac{16T_1}{\pi D^3}}{2S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$S_{ut}nD(V_2 - V_1) + 8S_{ut}n(T_2 - T_1) + S_e nD(V_2 + V_1) + 8S_e n(T_2 + T_1) - \pi D^3 S_e S_{ut} = 0 \quad \text{Ec. 118}$$

- El diámetro estaría dado por la Ec. 119 hallada mediante la aplicación del método de Newton Raphson sobre la Ec. 118

$$D_{n+1} = D_n - \frac{S_{ut}nD_n(V_2 - V_1) + 8S_{ut}n(T_2 - T_1) + S_e nD_n(V_2 + V_1) + 8S_e n(T_2 + T_1) - \pi D_n^3 S_e S_{ut}}{S_{ut}n(V_2 - V_1) + S_e n(V_2 + V_1) - 3\pi D_n^2 S_e S_{ut}} \quad \text{Ec. 119}$$

A continuación, en la Tabla 6.22 a 6.24 se muestra un resumen de los parámetros que modifican la resistencia del material y las iteraciones desarrolladas para la obtención del diámetro de los pasadores de los planos de vuelo vertical y horizontal.

Tabla 6.22 Parámetros diseño a Carga dinámica

Parámetro	Símbolo	Magnitud	Unidad
Resistencia última a la tensión	S_{ut}	60,56	MPa
Factor de seguridad	n	2	---
Límite de resistencia a la fatiga viga rotatoria	S'_e	24,224	MPa
Factor de superficie	k_a	1	---
Factor de tamaño	k_b	0,97	---
Factor de carga	k_c	0,59	---
Factor de temperatura	k_d	1	---
Factor de confiabilidad	k_e	1	---
Factor de efectos diversos	k_f	1	---
Límite de resistencia a la fatiga	S_e	13,863	MPa

Tabla 6.23 Diámetro pasadores – plano vertical – carga dinámica

Plano vertical - Pasador A – Carga dinámica			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,016770	0,010770	64,222634
0,016770	0,012814	0,003956	30,873582
0,012814	0,011341	0,001473	12,990720
0,009841	0,009833	0,000008	0,0813586
Plano vertical - Pasador B – Carga dinámica			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,016769	0,010769	64,219386
0,016769	0,012813	0,003956	30,870557
0,012813	0,011340	0,001473	12,987307
0,009840	0,009833	0,000007	0,0711888
Plano vertical - Pasador C – Carga dinámica			
$D_n (m)$	$D_{n+1} (m)$	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,016770	0,010770	64,222634
0,016770	0,012814	0,003956	30,873582
0,012814	0,011341	0,001473	12,990720
0,009841	0,009833	0,000008	0,0813586

Tabla 6.24 Diámetro pasadores – plano horizontal– carga dinámica

Plano horizontal - Pasadores – Carga dinámica			
D_n (m)	D_{n+1} (m)	Error Absoluto	% Error
0,006000	0,008762	0,002762	31,523620
0,008762	0,008074	0,000688	8,523772
0,008074	0,008012	0,000062	0,774397
0,008012	0,008011	0,000001	0,006033

En la Tabla 6.25 se muestra el resumen del diámetro obtenido y el aceptado para los pasadores de los planos de vuelo vertical y horizontal en las posiciones críticas en estudio para soportar carga dinámica; es necesario recalcar que se tomará el mayor de los diámetros calculados el cual será aceptado para los dos planos de vuelo.

Tabla 6.25 Diámetro pasador – diseño a carga dinámica

Plano	Magnitud	Unidad
Vertical	9,83	mm
Horizontal	8,01	mm
Diámetro seleccionado	10,00	mm

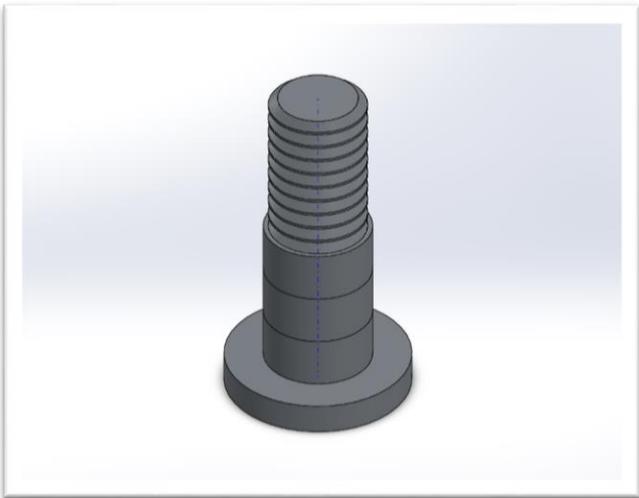
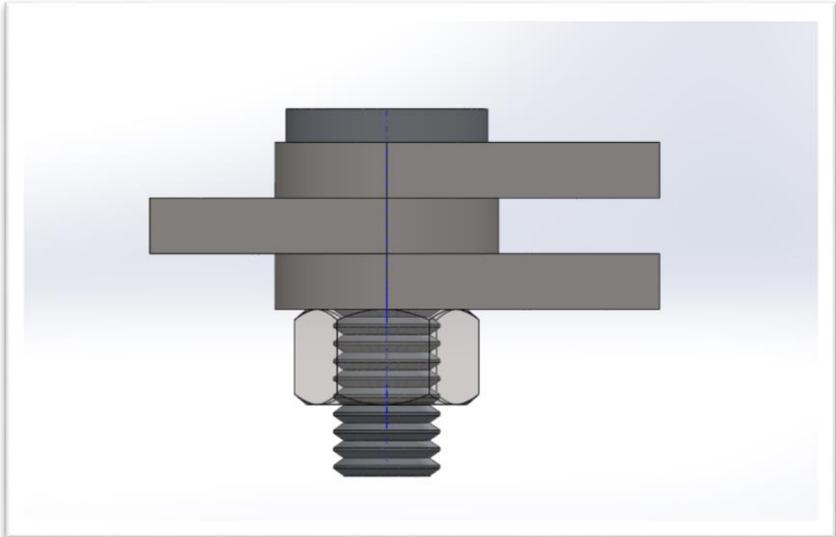
Por lo tanto, en el diseño a carga estática se determinó que el diámetro de los pasadores debe ser de 8,00 mm, mientras que para soportar cargas dinámicas amerita un diámetro de 10,00 mm, se concluye que el diámetro apropiado para los pasadores de los planos de vuelo vertical y horizontal es:

$$D = 10,00 \text{ mm}$$

6.7.5 Simulación diseño a carga estática

Mediante la simulación en un software de diseño, se ha desarrollado el análisis a carga estática de los pasadores que actúan como elementos acopladores entre las superficies fija y móvil de los planos de vuelo, en función de las cargas de fuerza y momento torsor críticos, para corroborar el cálculo desarrollado donde el factor de seguridad resulta ser de 2.331; por lo tanto, el diseño es el adecuado.

Tabla 6.26 Simulación diseño a carga estática

	<p>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN MECÁNICA – MENCIÓN DISEÑO</p>	
<p>SIMULACIÓN - DISEÑO A CARGA ESTÁTICA</p>		<p>Hoja: 01 de 04</p>
 <p>Figura 6.16 Modelación pasador</p>  <p>Figura 6.17 Ensamble pasador - bisagra</p>		
<p>Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda</p>	<p>Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López</p>	

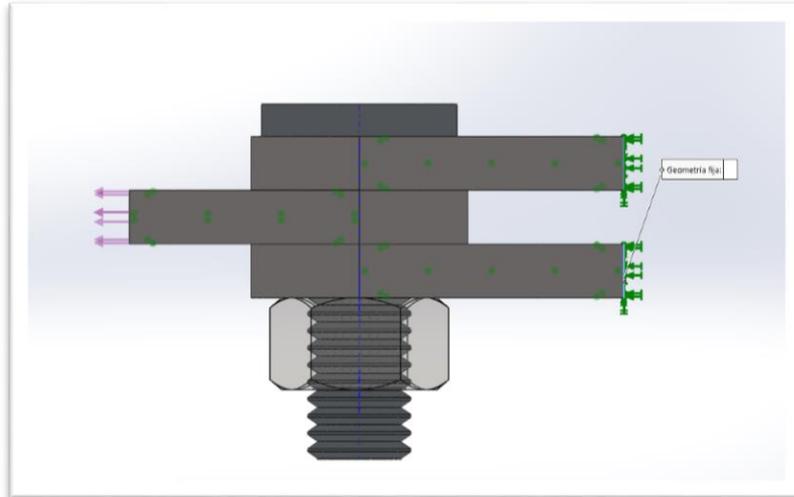


Figura 6.18 Ubicación geometría fija

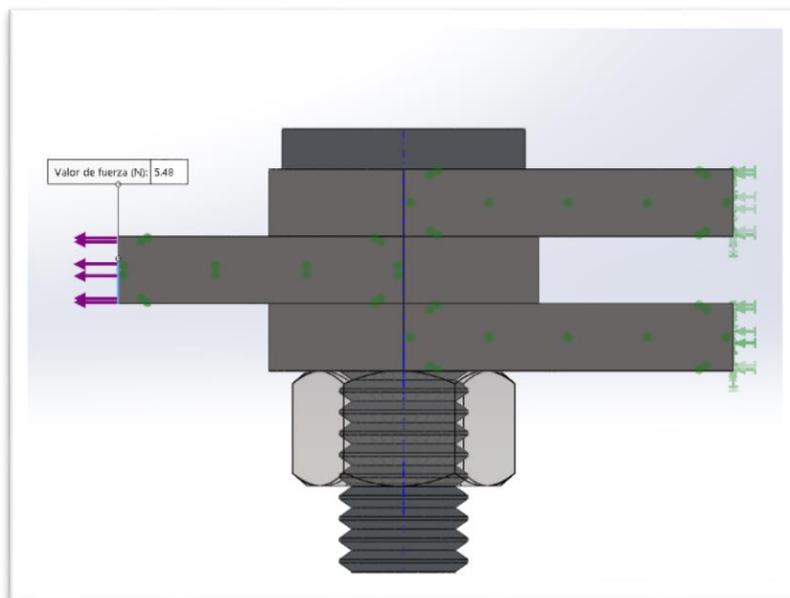


Figura 6.19 Fuerza cortante aplicada

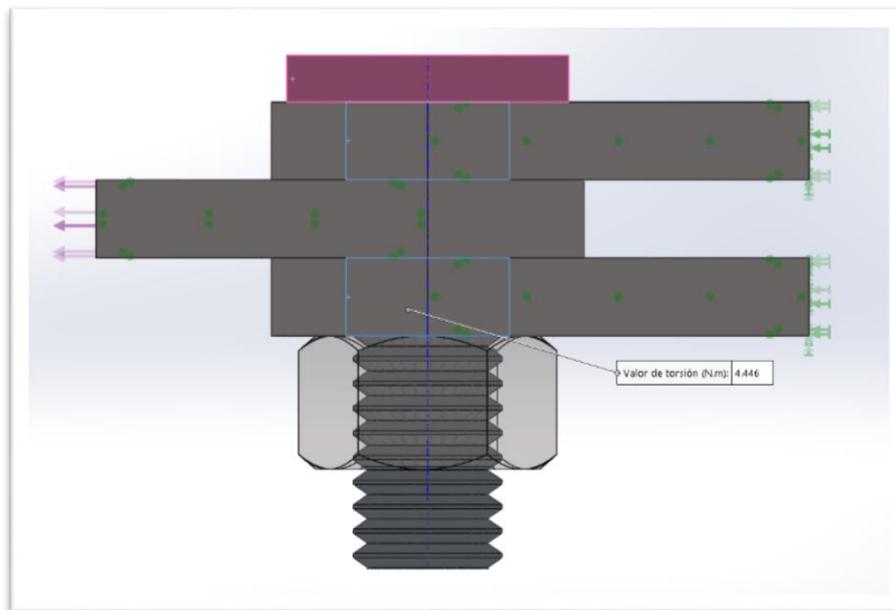
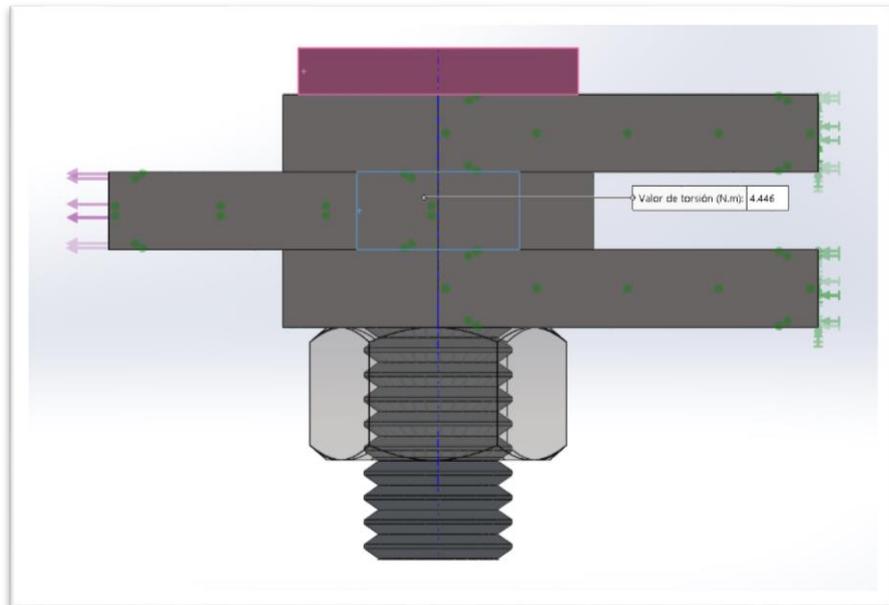


Figura 6.20 Momento torsor aplicado

Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda

Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López

Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López

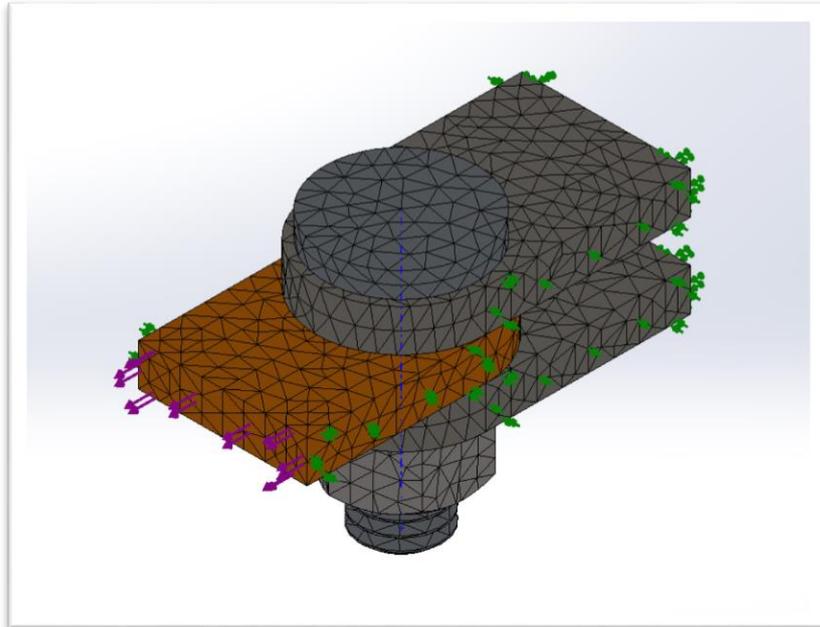


Figura 6.21 Mallado del ensamble

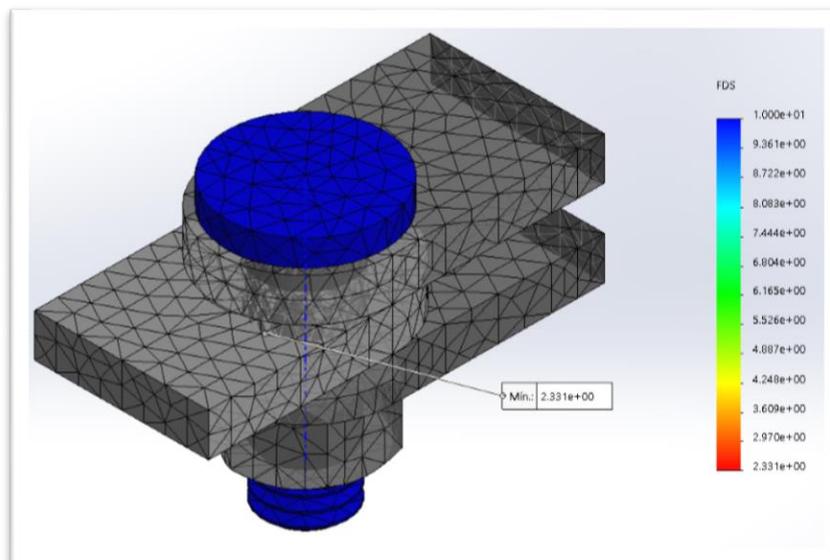


Figura 6.22 Factor de seguridad mínimo pasador

Elaborado por: Ing. Giovanni Pineda

Aprobado por: Ing. Mg. Gonzalo López

Validado por: Ing. Mg. Gonzalo López

6.8 Administración

Una vez concluido el proyecto de investigación en función de los objetivos planteados, es necesario documentar el análisis de costos que conllevó el desarrollo del mismo, con la finalidad de que futuras investigaciones en el área, posean una base referente a los recursos económicos que ésta amerita.

En las Tablas 6.27 a 6.30, se muestran los rubros de los costos directos e indirectos:

6.8.1 Costos directos

Tabla 6.27 Rubros de costos – recursos materiales

RUBROS DE COSTOS - RECURSOS MATERIALES					
No.	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLE	PRECIO UNIT.	VALOR (USD)
1	2	Kg	Aluminio 1060	100,00	\$ 200,00
2	1	Kg	Zinc	50,00	\$ 50,00
3	5	Kg	Arena refractaria	16,00	\$ 80,00
SUBTOTAL					\$ 330,00
IVA 12%					\$ 39,60
TOTAL (1)					\$ 369,60

6.8.2 Costos indirectos

Tabla 6.28 Rubros de costos – máquinas – equipos - ensayos

RUBROS DE COSTOS - MÁQUINAS - EQUIPOS - ENSAYOS					
No.	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLE	PRECIO UNIT.	VALOR (USD)
1	20	h	Uso molino de bolas	5,00	\$ 100,00
2	4	h	Uso tamizadora eléctrica	5,00	\$ 20,00
3	50	h	Uso matrices probetas	2,50	\$ 125,00
4	15	h	Uso máquina de compactado	5,00	\$ 75,00
5	30	h	Uso horno sinterizado	5,00	\$ 150,00
6	2	h	Uso microscopio electrónico	10,00	\$ 20,00
7	36	---	Ensayo de tracción	15,00	\$ 540,00
8	90	---	Ensayo de dureza Brinell	1,25	\$ 112,50
9	36	---	Ensayo de impacto	7,50	\$ 270,00
SUBTOTAL					\$ 1.412,50
IVA 12%					\$ 169,50
TOTAL (2)					\$ 1.582,00

Tabla 6.29 Rubros de costos – recursos humanos

RUBROS DE COSTOS - RECURSOS HUMANOS				
No.	CANTIDAD	DETALLE	PRECIO UNIT.	VALOR (USD)
1	1	Ayudante obtención polvo metálico	100,00	\$ 100,00
2	1	Ayudante elaboración de probetas	100,00	\$ 100,00
TOTAL (3)				\$ 200,00

Tabla 6.30 Rubros de costos – recursos de oficina

RUBROS DE COSTOS - RECURSOS DE OFICINA					
No.	CANTIDAD	UNIDAD	DETALLE	PRECIO UNIT.	VALOR (USD)
1	1000	---	Impresiones	0,10	\$ 100,00
2	500	---	Copias	0,02	\$ 10,00
3	4	---	Anillados	5,00	\$ 20,00
4	3	---	Empastados	30,00	\$ 90,00
5	200	h	Uso internet	0,50	\$ 100,00
6	1	---	Movilización	50,00	\$ 50,00
SUBTOTAL					\$ 370,00
IVA 12%					\$ 44,40
TOTAL (4)					\$ 414,40

6.8.3 Costos Total

El costo total de la Investigación desarrollada está dado por la sumatoria de los costos directos e indirectos estipulados, como se muestra en la Tabla 6.31.

Tabla 6.31 Rubro de costo total

RUBRO DE COSTO TOTAL		
No.	DETALLE	VALOR (USD)
1	Recursos materiales	\$ 369,60
2	Recursos máquinas - equipos - ensayos	\$ 1.582,00
3	Recursos humanos	\$ 200,00
4	Recursos de oficina	\$ 414,40
SUBTOTAL		\$ 2.566,00
Imprevistos (10%)		\$ 256,60
TOTAL		\$ 2.822,60

6.9 Previsión de la evaluación

El desarrollo de la investigación será de aporte significativo para nuevos proyectos en el ámbito de metalurgia de polvos, debido a que se muestra el procedimiento apropiado para la consecución de la aleación; además se demostró que se puede obtener resultados favorables sobre algunas propiedades mecánicas al desarrollar aleaciones por este método, controlando dos de las variables más influyentes, porcentaje de elemento aleante y temperatura de sinterización.

Es necesario el desarrollo y ejecución de nuevas investigaciones complementarias y/o paralelas para establecer parámetros de entrada en función del manejo de rangos de nuevas variables: tamaño de partícula, presión de compactación, tratamiento térmico posterior como posibles alternativas, con la finalidad de encontrar materiales con mejores características que aporten al desarrollo y evolución industrial de este proceso de fabricación, en función de las ventajas que presenta con respecto a los procesos tradicionales.

Referencias Bibliográficas

- [1] S. Molenkovic. Dr., “Tratamiento termo mecánico de la aleación Zamac 2”, Instituto Madrileño de Estudios Avanzados en Materiales, España, 2018.
- [2] L. Manriquez. Dr., 2016, Investigador Departamento Pulvimetalurgia ETAL-GRUPO MARMEX. México. Available: www.etal.mx/mercados/metalurgia-de-polvos.
- [3] Empresa FILARET S.A. 2017. Guayaquil. Ecuador. Available: www.ekosnegocios.com/empresas/empresas.aspx?ide=2391&b=1
- [4] C. Martínez, F. Briones, P. Rojas, C. Aguilar, D. Guzmán, S. Ordóñez. “Microstructural and Mechanical Characterization of Copper, Nickel, and Cu-Based Alloys Obtained by Mechanical Alloying and Hot Pressing”, *Materials Letters*, Agosto 2017. Available: [dx.doi.org/10.1016/j.matlet.2017.08.082](https://doi.org/10.1016/j.matlet.2017.08.082)
- [5] R. Ramírez. “Efecto del zinc en las propiedades mecánicas de una aleación Al-Si Tipo A319”, Tesis Maestría en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales”, UANL, Nuevo León, 2012.
- [6] G. López, A. Moreta, J. Molina. “Rediseño y construcción de una máquina de pulvimetalurgia para la obtención de polvo de aluminio, en la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, en la Carrera de Ingeniería Mecánica, Laboratorio de Materiales”, Proyecto académico de Servicio Comunitario para vinculación con la Sociedad, UTA, Ambato, 2012.
- [7] J. Beltrán. “Análisis de material sinterizado aluminio 1060 con Babbit B23 Alloy 2 y su incidencia en la resistencia a la tracción, dureza y desgaste combinados por mezcla de polvos”, Proyecto técnico previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, UTA, Ambato, 2017.
- [8] J. Solá, J. Llumá, J. Jorba. “Estudio de la influencia de las variables de molienda en las propiedades del polvo de aluminio nanocristalino”, UPC, Barcelona, 2010.

- [9] H. Bawa, “Procesos de Manufactura”, 1ra ed., México D.F., McGraw- Hill, 2007.
- [10] Empresa RADVER, 2016, México DF, México, Available: www.radver.com/procesos/fundicion-en-arena-sand-casting.html
- [11] M. Groover, “Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems”, 5ta ed., Estados Unidos de América, Wiley, 2013.
- [12] Aceros LLOBEGAT S.A. 2016. Barcelona. España. Available: www.acerosllobregat.com/
- [13] E. Ruiz, F. C. da Costa, F. Velasco, J. Torralba. “Aleación Mecánica: Método de obtención de polvos metálicos y de materiales compuestos”, Revistas de metalurgia, Madrid 2000. Available: revistademetalurgia.revistas.csic.es
- [14] C. Suryanarayana, “Mechanical Alloying and Milling”, New York, Marcel Dekker, 2004.
- [15] M. Sherif. “Mechanical Alloying for fabrication of advanced Engineering Materials”, Estados Unidos de América, Noyes Publications, 2001.
- [16] Retsch Lab Equipment. 2018. Haan. Alemania. Available: www.retsch.es
- [17] SIEHE Industry. 2017. Shanghai. China. Available: www.sieheindustry.com
- [18] ASM Metal Handbook, Vol.7, “Powder Metal Technologies and Applications”, Advisory Board, 1997.
- [19] C. Arcos, “Pulvimetalurgia”, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Universidad de Santiago de Chile, Chile, 2015.
- [20] S. Kalpakjian y S. Schmid, “Procesamiento de polvos metálicos – Manufactura, Ingeniería y Tecnología”, 5ta ed., México, Pearson, 2008.
- [21] ASM Metal Handbook, Vol.3, “Alloy Phase Diagrams”, Advisory Board, 1997.
- [22] D. Askeland, “Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, 6ta ed., México DF, Cengage, 2011.

- [23] W. Callister, “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, 2da ed., España, Reverte, 2007
- [24] M. Ashby, D. Jones, “Engineering Materials 1”, 4ta ed., Estados Unidos, Copyrighted Materials, 2012.
- [25] ASTM E 8M-04, Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials, ASTM International Standards, Estados Unidos, 2004.
- [26] Sistemas de Ensayo, 2016. Madrid. España. Available: www.sistemasdeensayo.com
- [27] ASTM E 10-01, Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials, ASTM International Standards, Estados Unidos, 2001.
- [28] ASTM E 23-01, Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, ASTM International Standards, Estados Unidos, 2001.
- [29] J. Shackelford, “Introducción a la Ciencia de materiales para Ingenieros”, 6ta ed., España, Pearson Educación S.A., 2007.
- [30] W. Smith, J. Hashemi, “Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales”, 4ta ed., México, McGrawHill Companies, 2006.
- [31] Cedal Aluminio. 2017. Quito. Ecuador. Available: www.cedal.com.ec/
- [32] H. Gutiérrez, R. de la Vara. “Análisis y diseño de Experimentos”, 2da ed., México, McGrawHill Companies, 2008.
- [33] R. Craig, “Mecánica de Materiales”, 3ra ed., Estados Unidos de América, John Wiley & Sons, 2011.
- [34] R. Hibbeler, “Mecánica de Materiales”, 6ta ed., México, Pearson, 2006.
- [35] G. James, G. Barry, “Mecánica de Materiales”, 7ma ed., México, Cengage Learning Editores S.A, 2009.
- [36] R. Budynas, J. Keith, “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”, 9na ed., México, McGrawHill Companies, 2012.

- [37] R. Johnston, F. Beer, “Mecánica de Materiales”, 5ta ed., México, McGrawHill Companies, 2010.
- [38] Centro de Investigación y Desarrollo de la Fuerza Aérea Ecuatoriana, Departamento de Diseño, Ambato, 2018.
- [39] S. Brandt, “Introduction to Aeronautics: A Design Perspective”, 2da ed., New York, AIAA Education Series, 2004.

ANEXOS

ANEXO 1

Características polvo de aluminio 1060 – LOBA CHEMIE



ALUMINIUM FINE POWDER (30 µm)

Article No.	00580	Grade	A11060
Purity	99%	CAS No.	7429-90-5
Molecular Formula	Al	Molecular Weight	26.98
H.S. Code	7603.1010	Shelf Life	60 Months

Al 1060

Physical Properties

Physical state at 20 °C	Solid	Colour	Grey powder
Odour	Odorless	Melting point/ Freezing point [°C]	660.37 °C
Auto-ignition temperature [°C]	760 °C	Boiling point [°C]	2327 °C
Density [g/cm ³]	2.7	Solubility in water [% weight]	Insoluble in water



Packings

500 g	00500
5000 g	05000
25 Kg	0025K
50 Kg	0050K

Safety Information

Symbol: GHS02
Signal Word: Danger
UN No.: 1396
IMCO Class No.: 4.3
Packing Group: II
Hazardous Statement: H250-H261
Precaution Statement: P222-P231 + P232-P402+404

Hazard Symbols



ANEXO 2

Características zinc – Metalquímica Galvano

Zinc 99.995 %
AZSA 37 101



USOS

Galvanización y otros recubrimientos protectores. Ánodos para electrozincado y ánodos de protección catódica. Polvo de zinc, óxido de zinc y otros productos químicos. Aleaciones base zinc. Latones. Zinc laminado

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS

Pb %	Cd %	Fe %	Sn %	Cu %	Al %	Zn %
≤ 0.003	≤ 0.003	≤ 0.002	≤ 0.001	≤ 0.001	≤ 0.001	≥ 99.995

Conforme a las normas:

UNE -EN 1179 designación: Z1
ISO 752 designación: ZN -1
ASTM B6 designación: LME grade [Z12002]

PROPIEDADES FÍSICAS

Densidad a 20°C (sólido)	7.14	g/cm ³
Densidad a 419.5 °C (líquido)	6.62	g/cm ³
Viscosidad líquido a 419.5 °C	0.00385	Kg/m-s
Punto de fusión	419.5	°C
Punto de ebullición	907	°C
Contracción al solidificar	17	mm/m
Coefficiente de dilatación	29	10 ⁻⁶ K ⁻¹
Calor de fusión	100.9	kJ/kg
Calor de vaporización	1782	kJ/kg
Calor específico	382	J/kg-K
Conductividad térmica a 18 °C	113	W/m-K
Conductividad eléctrica	28	% IACS

ADVERTENCIA DE SEGURIDAD

La presencia de humedad en los lingotes puede originar explosiones en la fusión al cargar sobre metal líquido.
Para más información consúltese la correspondiente ficha de datos de seguridad.

Industria Metalquímica Galvano

Juan Barrezueta 158 Y Moisés Luna Andrade - Panamericana Norte Km. 5 1/2

Quito - Ecuador

Teléfonos: 2481 285 / 2485 124 / 2800 860 / 2806 106 / 2800 539

Extensiones: Información:102 / Fax:103 / Ventas:109 / Contabilidad:111 / Rrh:112

ANEXO 3

Molde probeta ensayo de tracción – pulvimetalurgia



ANEXO 4

Molde probeta ensayo de impacto- pulvimetalurgia



ANEXO 5

Probetas para ensayo de tracción codificadas



ANEXO 6

Probetas para ensayo de impacto codificadas



ANEXO 7

Informe ensayo de tracción – Centro de fomento productivo metalmecánico carrocerero



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocerero



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180406214720181114-ETM	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Ing. Giovanni Vinicio Pineda Silva.	
Dirección: Barrio la Carolina.	
Núm. de cédula / RUC: 1804062147	Teléfono: 0995100164
E-mail: giopineda2009@hotmail.com	

DATOS INFORMATIVOS	
Laboratorio: Resistencia de Materiales.	
Designación del material: Combinación aluminio zinc combinada por el método de pulvimetalurgia.	
Método de ensayo: ASTM E8/E8M-16a: Métodos de prueba estándar para Prueba de tensión de materiales metálicos.	

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Característica	Configuración	Temperatura	Probetas a ensayar
1	180406214720181114-ETM 01	TT-P0.5-LT	0,5% Zn- 99,5% Al1060	462 °C	5
2	180406214720181114-ETM 02	TT-P0.5-HT	0,5% Zn- 99,5% Al1060	594 °C	5
3	180406214720181114-ETM 03	TT-P1.0-LT	1,0% Zn- 99,0% Al1060	462 °C	5
4	180406214720181114-ETM 04	TT-P1.0-HT	1,0% Zn- 99,0% Al1060	594 °C	5
5	180406214720181114-ETM 05	TT-P1.5-LT	1,5% Zn- 98,5% Al1060	462 °C	5
6	180406214720181114-ETM 06	TT-P1.5-HT	1,5% Zn- 98,5% Al1060	594 °C	5
Total					30

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	IDENTIFICACION DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180406214720181114-ETM 01-1	TT-P0.5-LT-01	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
2	180406214720181114-ETM 01-2	TT-P0.5-LT-02	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
3	180406214720181114-ETM 01-3	TT-P0.5-LT-03	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
4	180406214720181114-ETM 01-4	TT-P0.5-LT-04	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
5	180406214720181114-ETM 01-5	TT-P0.5-LT-05	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
6	180406214720181114-ETM 02-1	TT-P0.5-HT-01	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
7	180406214720181114-ETM 02-2	TT-P0.5-HT-02	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
8	180406214720181114-ETM 02-3	TT-P0.5-HT-03	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
9	180406214720181114-ETM 02-4	TT-P0.5-HT-04	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
10	180406214720181114-ETM 02-5	TT-P0.5-HT-05	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
11	180406214720181114-ETM 03-1	TT-P1.0-LT-01	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
12	180406214720181114-ETM 03-2	TT-P1.0-LT-02	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
13	180406214720181114-ETM 03-3	TT-P1.0-LT-03	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
14	180406214720181114-ETM 03-4	TT-P1.0-LT-04	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
15	180406214720181114-ETM 03-5	TT-P1.0-LT-05	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
16	180406214720181114-ETM 04-1	TT-P1.0-HT-01	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
17	180406214720181114-ETM 04-2	TT-P1.0-HT-02	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
18	180406214720181114-ETM 04-3	TT-P1.0-HT-03	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
19	180406214720181114-ETM 04-4	TT-P1.0-HT-04	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
20	180406214720181114-ETM 04-5	TT-P1.0-HT-05	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
21	180406214720181114-ETM 05-1	TT-P1.5-LT-01	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
22	180406214720181114-ETM 05-2	TT-P1.5-LT-02	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
23	180406214720181114-ETM 05-3	TT-P1.5-LT-03	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
24	180406214720181114-ETM 05-4	TT-P1.5-LT-04	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
25	180406214720181114-ETM 05-5	TT-P1.5-LT-05	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018



26	180406214720181114-ETM 06-1	TT-P1.5-HT-01	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
27	180406214720181114-ETM 06-2	TT-P1.5-HT-02	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
28	180406214720181114-ETM 06-3	TT-P1.5-HT-03	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
29	180406214720181114-ETM 06-4	TT-P1.5-HT-04	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018
30	180406214720181114-ETM 06-5	TT-P1.5-HT-05	Cumple criterios dimensionales	14/11/2018

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

Elaborado por:	Aprobado por:
Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	



LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES METÁLICOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180406214720181114-ETM

DATOS GENERALES

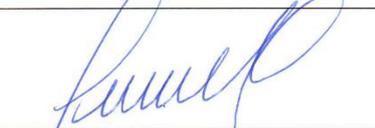
N° de proforma: RM_2018_040
Empresa / Clientes: Ing. Giovanni Vinicio Pineda Silva.
RUC/C.I.: 1804062147001 **Ciudad:** Ambato.
Dirección: Barrio la Carolina.
Teléfono: 0995100164. **Correo:** giopineda2009@hotmail.com
DATOS DEL ENSAYO
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Rio de Janeiro.
Método de ensayo: ASTM E8/E8M-16a: Métodos de prueba estándar para Prueba de tensión de materiales metálicos.
Tipo de ensayo: Cuantitativo
Tipo de probeta: Plana **Longitud calibrada:** 25,4 mm
Equipo utilizado: Máquina de ensayos universal Metrotest 50 KN.
Modelo: MTE 50. **Serie:**8210M002
Velocidad de ensayo: 10 mm/min. **Precarga:** 100 N
Designación del material: Combinación aluminio zinc combinada por el método de pulvimetalurgia.
Fecha de Inicio de Ensayo: 19/11/2018 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 19/11/2018
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales metálicos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Característica	Configuración	Temperatura	Probetas a ensayar
1	180406214720181114-ETM 01	TT-P0.5-LT	0,5% Zn- 99,5% Al1060	462 °C	5

Observaciones: La fabricación de las probetas y su configuración, están de acuerdo según especificaciones declaradas por el cliente.
Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.

		
Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Esteban López Espinel MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 20 de noviembre de 2018
N°. Factura: 001-002-000005969



2	180406214720181114-EIM 02	IT-P0.5-HT	0,5% Zn- 99,5% Al1060	594 °C	5
3	180406214720181114-EIM 03	IT-P1.0-LT	1,0% Zn- 99,0% Al1060	462 °C	5
4	180406214720181114-EIM 04	IT-P1.0-HT	1,0% Zn- 99,0% Al1060	594 °C	5
5	180406214720181114-EIM 05	IT-P1.5-LT	1,5% Zn- 98,5% Al1060	462 °C	5
6	180406214720181114-EIM 06	IT-P1.5-HT	1,0% Zn- 98,5% Al1060	594 °C	5
Total					30



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrizero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Resultados:

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Fuerza de rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor									
1	180406214720181114-ETM 01-1	22,4	53,2	8,01	4,73	25,4	27,717	1830,76	508,58	1822,96	48,90	13,41	48,12	9,12
2	180406214720181114-ETM 01-2	22,4	53,2	8,07	4,28	25,4	27,025	1672,03	412,35	1672,03	48,41	11,93	48,41	6,40
3	180406214720181114-ETM 01-3	22,4	53,2	7,98	4,62	25,4	28,387	1691,71	584,60	1689,75	46,76	15,85	45,83	11,76
4	180406214720181114-ETM 01-4	22,4	53,2	7,75	4,32	25,4	27,148	1420,71	468,86	1420,71	42,43	14,03	42,43	6,88
5	180406214720181114-ETM 01-5	22,4	53,2	8,17	4,53	25,4	27,912	1590,55	561,56	1587,45	43,61	15,15	42,89	9,89
							Promedio \bar{X}	1641,152	507,189	1638,580	46,022	14,074	45,536	8,81
							Desviación estándar S_{n-1}	150,511	69,667	148,165	2,883	1,529	2,814	2,208
							Coefficiente de Variación CV	9,17	13,74	9,04	6,26	10,86	6,18	25,06

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Fuerza de rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor									
6	180406214720181114-ETM 02-1	23,9	57,1	8,19	5,43	25,4	27,717	1949,08	590,12	1940,77	52,65	15,56	51,23	6,14
7	180406214720181114-ETM 02-2	23,9	57,1	8,22	5,20	25,4	27,025	1837,47	640,12	1837,47	53,65	18,52	53,20	10,81
8	180406214720181114-ETM 02-3	23,9	57,1	8,05	5,09	25,4	28,387	1792,48	501,24	1790,41	48,56	13,59	48,56	15,81
9	180406214720181114-ETM 02-4	23,9	57,1	7,80	4,63	25,4	27,148	1669,83	531,02	1669,83	50,10	15,89	49,87	11,69
10	180406214720181114-ETM 02-5	23,9	57,1	8,06	4,60	25,4	27,912	1804,16	474,08	1800,64	48,65	12,79	48,65	16,21
							Promedio \bar{X}	1810,604	547,317	1807,824	50,722	15,270	50,302	12,132
							Desviación estándar S_{n-1}	100,106	67,447	97,405	2,326	2,236	1,950	4,123
							Coefficiente de Variación CV	5,53	12,32	5,39	4,59	14,64	3,88	33,99



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrasco



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Fuerza de rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor									
11	180406214720181114-ETM 03-1	23,8	56,2	8,01	4,52	25,4	28,656	1883,65	464,58	1875,61	50,23	12,25	49,51	12,82
12	180406214720181114-ETM 03-2	23,8	56,2	8,18	5,21	25,4	27,957	1773,91	711,67	1773,91	51,36	20,59	51,36	10,07
13	180406214720181114-ETM 03-3	23,8	56,2	7,98	4,95	25,4	27,282	2002,88	685,66	2000,56	54,26	18,59	54,26	7,41
14	180406214720181114-ETM 03-4	23,8	56,2	7,86	4,98	25,4	28,743	1596,84	438,45	1596,84	48,65	13,12	47,69	13,16
15	180406214720181114-ETM 03-5	23,8	56,2	8,01	5,11	25,4	27,543	2136,80	613,82	2132,64	57,62	16,56	57,62	8,44
						Promedio \bar{X}		1878,817	582,838	1875,915	52,424	16,222	52,088	10,380
						Desviación estándar S_{n-1}		207,658	125,460	205,993	3,555	3,543	3,932	2,567
						Coeficiente de Variación CV		11,05	21,53	10,98	6,78	21,84	7,55	24,73

Probeta	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Fuerza de rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor									
16	180406214720181114-ETM 04-1	24,1	56,3	8,53	4,96	25,4	27,396	2458,14	654,21	2447,66	64,96	17,25	64,61	7,86
17	180406214720181114-ETM 04-2	24,1	56,3	8,18	5,36	25,4	27,876	2060,24	710,63	2060,24	59,65	20,56	59,65	9,75
18	180406214720181114-ETM 04-3	24,1	56,3	8,05	5,11	25,4	25,636	2161,61	816,59	2159,11	59,04	22,14	58,56	0,93
19	180406214720181114-ETM 04-4	24,1	56,3	8,01	4,96	25,4	27,568	1875,76	662,02	1875,76	56,02	19,81	56,02	8,54
20	180406214720181114-ETM 04-5	24,1	56,3	7,95	4,98	25,4	26,546	2309,62	785,07	2305,12	63,11	21,18	62,28	4,51
						Promedio \bar{X}		2173,072	725,706	2169,576	60,556	20,188	60,224	6,318
						Desviación estándar S_{n-1}		224,256	72,765	220,280	3,522	1,851	3,326	3,584
						Coeficiente de Variación CV		10,32	10,03	10,15	5,82	9,17	5,52	56,73

Código: RG-RM-013
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última actualización: 10-01-2017
Revisión: 1

INFORME ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES METÁLICOS

Página 4 de 5



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Cameroero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

Prueba	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Fuerza de rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor									
21	180406214720181114-ETM 05-1	24,0	55,4	8,56	4,22	25,4	27,219	1830,76	667,86	1822,96	48,96	17,61	48,12	7,16
22	180406214720181114-ETM 05-2	24,0	55,4	7,98	5,03	25,4	26,219	1886,86	468,00	1886,86	55,32	13,54	54,63	3,22
23	180406214720181114-ETM 05-3	24,0	55,4	8,35	4,98	25,4	27,138	1779,56	599,35	1777,50	48,21	16,25	48,21	6,84
24	180406214720181114-ETM 05-4	24,0	55,4	8,18	5,23	25,4	28,285	1730,77	474,88	1730,77	52,48	14,21	51,69	11,36
25	180406214720181114-ETM 05-5	24,0	55,4	8,32	5,03	25,4	26,501	1805,64	502,62	1802,12	48,69	13,56	48,69	4,33
							Promedio X	1806,718	542,542	1804,042	50,732	15,034	50,268	6,582
							Desviación estándar S_{n-1}	58,109	87,552	57,646	3,073	1,816	2,846	3,147
							Coefficiente de Variación CV	3,22	16,14	3,20	6,06	12,08	5,66	47,81

Prueba	Identificación de probeta	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Dimensiones mm		Longitud Inicial (mm)	Longitud Final (mm)	Fuerza Máxima (N)	Fuerza de fluencia (N)	Fuerza de rotura (N)	Resistencia a la tracción (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Resistencia de rotura (MPa)	% Elongación (Calculado)
				Ancho	Espesor									
26	180406214720181114-ETM 06-1	24,8	51,8	7,90	4,36	25,4	27,188	2101,27	514,27	2092,31	55,23	13,56	55,23	7,04
27	180406214720181114-ETM 06-2	24,8	51,8	8,08	5,04	25,4	28,050	1656,14	615,38	1656,14	48,56	17,81	47,95	10,43
28	180406214720181114-ETM 06-3	24,8	51,8	8,35	5,05	25,4	27,707	2149,79	412,35	2147,31	58,24	11,18	58,24	9,08
29	180406214720181114-ETM 06-4	24,8	51,8	8,29	4,97	25,4	28,087	1660,12	306,78	1660,12	49,58	9,18	49,58	10,58
30	180406214720181114-ETM 06-5	24,8	51,8	7,97	5,40	25,4	26,613	1823,81	376,97	1820,26	49,18	10,17	49,18	4,78
							Promedio X	1878,226	445,191	1875,227	52,158	12,380	52,036	8,382
							Desviación estándar S_{n-1}	236,300	121,134	233,690	4,327	3,444	4,460	2,464
							Coefficiente de Variación CV	12,58	27,21	12,46	8,30	27,82	8,57	29,40

Código: RG-RM-013
Fecha de Elaboración: 11-05-2016
Fecha de última aprobación: 10-01-2017
Revisión: 1

INFORME ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES METÁLICOS

Página 5 de 5



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocer



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180406214720181114-ETM
DATOS DEL CLIENTE
Empresa / Cliente: Ing. Giovanni Vinicio Pineda Silva.
Dirección: Barrio la Carolina.
Núm. de cédula / RUC: 1804062147
E-mail: giopineda2009@hotmail.com
Teléfono: 0995100164

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.
Designación del material: Combinación aluminio zinc combinada por el método de pulvimetalurgia.
Método de ensayo: ASTM E8/E8M-16a: Métodos de prueba estándar para Prueba de tensión de materiales metálicos.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180406214720181114-ETM 01-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180406214720181114-ETM 01-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180406214720181114-ETM 01-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180406214720181114-ETM 01-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180406214720181114-ETM 01-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	180406214720181114-ETM 02-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
7	180406214720181114-ETM 02-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
8	180406214720181114-ETM 02-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
9	180406214720181114-ETM 02-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
10	180406214720181114-ETM 02-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
11	180406214720181114-ETM 03-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
12	180406214720181114-ETM 03-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
13	180406214720181114-ETM 03-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
14	180406214720181114-ETM 03-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
15	180406214720181114-ETM 03-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS

Página 2 de 4



Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
16	180406214720181114-ETM 04-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
17	180406214720181114-ETM 04-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
18	180406214720181114-ETM 04-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
19	180406214720181114-ETM 04-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
20	180406214720181114-ETM 04-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	

Nº	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
21	180406214720181114-ETM 05-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
22	180406214720181114-ETM 05-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
23	180406214720181114-ETM 05-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
24	180406214720181114-ETM 05-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
25	180406214720181114-ETM 05-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	



N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
26	180406214720181114-ETM 06-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
27	180406214720181114-ETM 06-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
28	180406214720181114-ETM 06-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
29	180406214720181114-ETM 06-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
30	180406214720181114-ETM 06-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	

Por acuerdo con el cliente las muestras son entregadas en su totalidad, el centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las mismas, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
	Cliente



ANEXO 8

Informe ensayo de impacto – Centro de fomento productivo metalmecánico carrocerero



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocerero



RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE MUESTRAS

Informe N°: 180406214720181114-EIM	
DATOS DEL CLIENTE	
Empresa / Cliente: Ing. Giovanni Vinicio Pineida Silva	
Dirección: Barrio La Carolina.	
Núm. de cédula / RUC: 1804062147001	Teléfono: 0995100164
E-mail: giopineda2009@hotmail.com	

DATOS INFORMATIVOS
Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Combinación Aluminio Zinc combinada por el método de pulvimetalurgia.
Método de ensayo: ASTM E23 – 16b Método de prueba estándar para Prueba de Impacto de Barras de Materiales Metálicos

Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Característica de la probeta	Configuración	Temperatura	Probetas a Ensayar
1	180406214720181114-EIM 01	IT-P0.5-LT	0,5% Zn- 99,5% Al1060	462 °C	5
2	180406214720181114-EIM 02	IT-P0.5-HT	0,5% Zn- 99,5% Al1060	594 °C	5
3	180406214720181114-EIM 03	IT-P1.0-LT	1,0% Zn- 99,0% Al1060	462 °C	5
4	180406214720181114-EIM 04	IT-P1.0-HT	1,0% Zn- 99,0% Al1060	594 °C	5
5	180406214720181114-EIM 05	IT-P1.5-LT	1,5% Zn- 98,5% Al1060	462 °C	5
6	180406214720181114-EIM 06	IT-P1.5-HT	1,5% Zn- 98,5% Al1060	594 °C	5
Total					30

Nota: La fabricación de las probetas en tipo y cantidad es declarada por el cliente.



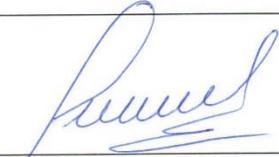
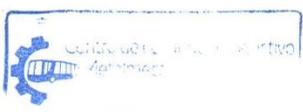
ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	IDENTIFICACIÓN DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS RECEPCIÓN
1	180406214720181114-EIM 01-1	IT-P0.5-LT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
2	180406214720181114-EIM 01-2	IT-P0.5-LT-02	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
3	180406214720181114-EIM 01-3	IT-P0.5-LT-03	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
4	180406214720181114-EIM 01-4	IT-P0.5-LT-04	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
5	180406214720181114-EIM 01-5	IT-P0.5-LT-05	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
6	180406214720181114-EIM 02-1	IT-P0.5-HT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
7	180406214720181114-EIM 02-2	IT-P0.5-HT-02	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
8	180406214720181114-EIM 02-3	IT-P0.5-HT-03	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
9	180406214720181114-EIM 02-4	IT-P0.5-HT-04	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
10	180406214720181114-EIM 02-5	IT-P0.5-HT-05	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
11	180406214720181114-EIM 03-1	IT-P1.0-LT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
12	180406214720181114-EIM 03-2	IT-P1.0-LT-02	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
13	180406214720181114-EIM 03-3	IT-P1.0-LT-03	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
14	180406214720181114-EIM 03-4	IT-P1.0-LT-04	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
15	180406214720181114-EIM 03-5	IT-P1.0-LT-05	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
16	180406214720181114-EIM 04-1	IT-P1.0-HT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
17	180406214720181114-EIM 04-2	IT-P1.0-HT-02	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
18	180406214720181114-EIM 04-3	IT-P1.0-HT-03	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
19	180406214720181114-EIM 04-4	IT-P1.0-HT-04	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
20	180406214720181114-EIM 04-5	IT-P1.0-HT-05	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
21	180406214720181114-EIM 05-1	IT-P1.5-LT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
22	180406214720181114-EIM 05-2	IT-P1.5-LT-02	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
23	180406214720181114-EIM 05-3	IT-P1.5-LT-03	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
24	180406214720181114-EIM 05-4	IT-P1.5-LT-04	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
25	180406214720181114-EIM 05-5	IT-P1.5-LT-05	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
26	180406214720181114-EIM 06-1	IT-P1.5-HT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
27	180406214720181114-EIM 06-2	IT-P1.5-HT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
28	180406214720181114-EIM 06-3	IT-P1.5-HT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14



29	180406214720181114-EIM 06-4	IT-P1.5-HT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14
30	180406214720181114-EIM 06-5	IT-P1.5-HT-01	Cumple con los criterios dimensionales	2018/11/14

DATOS INFORMATIVOS: De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con el número mínimo de muestras para el ensayo y en las dimensiones.

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.

		
Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente		

LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES
ENSAYO DE IMPACTO CHARPY DE MATERIALES METÁLICOS
INFORME DE RESULTADOS N°: 180406214720181114-EIM

DATOS GENERALES

N° de proforma: RM_2018_040
Empresa / Cliente: Ing. Giovanni Vinicio Pineida Silva.
RUC/C.I.: 1804062147001 **Ciudad:** Ambato
Dirección: Barrio La Carolina. **Teléfono:** 0995100164
Correo: giopineda2009@hotmail.com.
Datos del ensayo
Lugar de Ejecución del Ensayo: Laboratorio de Resistencia de Materiales.
Dirección: Ambato/Catiglata. Toronto y Río de Janeiro.
Método de ensayo: ASTM E23. Ensayo de impacto para materiales metálicos a temperatura ambiente.
Tipo de ensayo: Cuantitativo
Energía utilizada (J): 450(J)
Tipo de muestra: Sin entalle.
Equipo utilizado: Máquina de ensayos Charpy. PIC 450 J.
Modelo: PIC 450/C **Serie:** M152552AR14.
Fecha de Inicio de Ensayo: 16/11/2018 **Fecha de Finalización de Ensayo:** 20/11/2018

Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de *combinación Aluminio Zinc realizadas por el método de pulvimetalurgia*. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

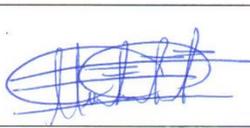
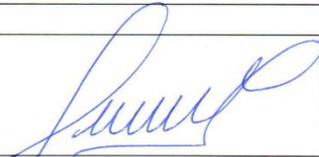
OBJETOS DE ENSAYO

Número de Probetas cuantificadas:

N°	Identificación del grupo	Característica de la probeta	Configuración	Temperatura	Probetas a Ensayar
1	180406214720181114-EIM 01	IT-P0.5-LT	0,5% Zn- 99,5% Al1060	462 °C	5

Observaciones: La fabricación de la probeta para la ejecución del ensayo de Resistencia al impacto es responsabilidad del cliente.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.

		
Elaborado por:	Aprobado por:	
Ing. Fernando Galarza Mg.	Ing. Fernando Tibán R.	Ing. Esteban López Espinel MEng.
Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

Lugar y fecha de emisión de Informe: Ambato, 20 de noviembre de 2018.

N°. Factura: 001-002-000005969.

2	180406214720181114-EIM 02	IT-P0.5-HT	0,5% Zn- 99,5% Al1060	594 °C	5
3	180406214720181114-EIM 03	IT-P1.0-LT	1,0% Zn- 99,0% Al1060	462 °C	5
4	180406214720181114-EIM 04	IT-P1.0-HT	1,0% Zn- 99,0% Al1060	594 °C	5
5	180406214720181114-EIM 05	IT-P1.5-LT	1,5% Zn- 98,5% Al1060	462 °C	5
6	180406214720181114-EIM 06	IT-P1.5-HT	1,0% Zn- 98,5% Al1060	594 °C	5
Total					30

Resultados:

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Sección transversal de la probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm ²)	Aspecto de la fractura (% de cizallamiento)	Fractura de la probeta	
				Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)				SI	NO
1	180406214720181114-EIM 01-1	24,2	50,6	0,1156	0,1081	0,01250	0,89	71,221	90	X	
2	180406214720181114-EIM 01-2	24,2	50,6	0,1127	0,1027	0,01157	0,59	50,975	100	X	
3	180406214720181114-EIM 01-3	24,2	50,6	0,1131	0,1063	0,01202	0,89	74,028	100	X	
4	180406214720181114-EIM 01-4	24,2	50,6	0,1078	0,0957	0,01032	0,59	57,190	80	X	
5	180406214720181114-EIM 01-5	24,2	50,6	0,1165	0,0943	0,01099	0,89	81,013	60	X	
							Promedio \bar{X}	66,885			
							Desviación estándar S_{n-1}	0,164			
							Coefficiente de variación CV	21,340			
								12,415			
								18,562			

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Sección transversal de la probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm ²)	Aspecto de la fractura (% de cizallamiento)	Fractura de la probeta	
				Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)				SI	NO
6	180406214720181114-EIM 02-1	25,1	47,6	0,1019	0,0864	0,00880	1,02	115,854	90	X	
7	180406214720181114-EIM 02-2	25,1	47,6	0,1208	0,106	0,01280	1,03	80,439	80	X	
8	180406214720181114-EIM 02-3	25,1	47,6	0,1038	0,1015	0,01054	0,74	70,237	60	X	
9	180406214720181114-EIM 02-4	25,1	47,6	0,1156	0,1029	0,01190	0,74	62,210	80	X	
10	180406214720181114-EIM 02-5	25,1	47,6	0,1138	0,0969	0,01103	1,03	93,405	80	X	
							Promedio \bar{X}	84,429			
							Desviación estándar S_{n-1}	0,157			
							Coefficiente de variación CV	17,222			
								21,090			
								24,979			

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Sección transversal de la probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm ²)	Aspecto de la fractura (% de cizallamiento)	Fractura de la probeta	
				Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)				SI	NO
11	180406214720181114-EIM 03-1	24,9	47,5	0,1091	0,0868	0,00947	1,03	108,766	80	X	
12	180406214720181114-EIM 03-2	24,9	47,5	0,1102	0,091	0,01003	0,74	73,792	80	X	
13	180406214720181114-EIM 03-3	24,9	47,5	0,1077	0,0969	0,01044	1,33	127,442	80	X	
14	180406214720181114-EIM 03-4	24,9	47,5	0,1103	0,1066	0,01176	1,03	87,600	90	X	
15	180406214720181114-EIM 03-5	24,9	47,5	0,1079	0,1007	0,01087	1,93	177,626	70	X	
							Promedio \bar{X}	1,212	115,045		
							Desviación estándar S_{n-1}	0,452	40,511		
							Coefficiente de variación CV	37,323	35,213		

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Sección transversal de la probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm ²)	Aspecto de la fractura (% de cizallamiento)	Fractura de la probeta	
				Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)				SI	NO
16	180406214720181114-EIM 04-1	24,2	54,5	0,1117	0,1037	0,01158	0,59	50,935	90	X	
17	180406214720181114-EIM 04-2	24,2	54,5	0,1079	0,1062	0,01146	1,18	102,976	100	X	
18	180406214720181114-EIM 04-3	24,2	54,5	0,1108	0,0962	0,01066	1,48	138,850	90	X	
19	180406214720181114-EIM 04-4	24,2	54,5	0,1124	0,1098	0,01234	1,18	95,612	80	X	
20	180406214720181114-EIM 04-5	24,2	54,5	0,1134	0,1052	0,01193	1,18	98,913	90	X	
							Promedio \bar{X}	1,122	97,457		
							Desviación estándar S_{n-1}	0,325	31,280		
							Coefficiente de variación CV	28,924	32,096		

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Sección transversal de la probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm ²)	Aspecto de la fractura (% de cizallamiento)	Fractura de la probeta	
				Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)				SI	NO
21	180406214720181114-EIM 05-1	24,2	53,0	0,1155	0,1012	0,01169	0,62	53,043	80	X	
22	180406214720181114-EIM 05-2	24,2	53,0	0,1162	0,0974	0,01132	1,18	104,260	90	X	
23	180406214720181114-EIM 05-3	24,2	53,0	0,1123	0,1118	0,01256	0,88	70,091	70	X	
24	180406214720181114-EIM 05-4	24,2	53,0	0,1067	0,0976	0,01041	0,59	56,655	90	X	
25	180406214720181114-EIM 05-5	24,2	53,0	0,1021	0,1011	0,01032	0,88	85,252	70	X	
							Promedio \bar{X}	73,860			
							Desviación estándar S_{n-1}	0,239			
							Coefficiente de variación CV	28,840			

Ítem	Identificación de probeta	Temperatura °C	Humedad Relativa %	Sección transversal de la probeta			Energía absorbida (J)	Resistencia al impacto (KCU) (J/cm ²)	Aspecto de la fractura (% de cizallamiento)	Fractura de la probeta	
				Altura (cm)	Ancho (cm)	Área (cm ²)				SI	NO
26	180406214720181114-EIM 06-1	25,1	51,8	0,1031	0,0942	0,00971	0,59	60,749	90	X	
27	180406214720181114-EIM 06-2	25,1	51,8	0,1087	0,1048	0,01139	0,88	77,249	80	X	
28	180406214720181114-EIM 06-3	25,1	51,8	0,1062	0,0965	0,01025	1,18	115,141	60	X	
29	180406214720181114-EIM 06-4	25,1	51,8	0,1111	0,0954	0,01060	1,18	111,352	80	X	
30	180406214720181114-EIM 06-5	25,1	51,8	0,1073	0,1017	0,01091	0,88	80,642	80	X	
							Promedio \bar{X}	89,023			
							Desviación estándar S_{n-1}	0,247			
							Coefficiente de variación CV	26,266			

Observaciones: Ninguna



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180406214720181114-EIM
DATOS DEL CLIENTE
Empresa / Cliente: Ing. Giovanni Vinicio Pineda Silva
DIRECCIÓN: Barrio La Carolina.
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1804062147001
E-MAIL: giopineda2009@hotmail.com
TELÉFONO: 0995100164

DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales
Designación del material: Combinación Aluminio Zinc combinada por el método de pulvimetalurgia.
Método de ensayo: ASTM E23 – 16b Método de prueba estándar para Prueba de Impacto de Barras de Materiales Metálicos.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
1	180406214720181114-EIM 01-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
2	180406214720181114-EIM 01-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
3	180406214720181114-EIM 01-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180406214720181114-EIM 01-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180406214720181114-EIM 01-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Turgurahua

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
6	180406214720181114-EIM 02-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
7	180406214720181114-EIM 02-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
8	180406214720181114-EIM 02-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
9	180406214720181114-EIM 02-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
10	180406214720181114-EIM 02-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
11	180406214720181114-EIM 03-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
12	180406214720181114-EIM 03-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
13	180406214720181114-EIM 03-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
14	180406214720181114-EIM 03-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
15	180406214720181114-EIM 03-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
16	180406214720181114-EIM 04-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
17	180406214720181114-EIM 04-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
18	180406214720181114-EIM 04-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
19	180406214720181114-EIM 04-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
20	180406214720181114-EIM 04-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
21	180406214720181114-EIM 05-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
22	180406214720181114-EIM 05-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
23	180406214720181114-EIM 05-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
24	180406214720181114-EIM 05-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
25	180406214720181114-EIM 05-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS

Página 2 de 3

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3



Centro de Fomento Productivo
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno
Provincial de Tungurahua

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	EVIDENCIAS
26	180406214720181114-EJM 06-1	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
27	180406214720181114-EJM 06-2	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
28	180406214720181114-EJM 06-3	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
29	180406214720181114-EJM 06-4	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	
30	180406214720181114-EJM 06-5	14/11/2018	21/11/2018	Cliente	Se entrega al cliente	

Todas las probetas ensayadas por acuerdo, son entregadas al cliente, el CFPMC no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

Elaborado por: Ing. Fernando Galarza Chacón Mg. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Fernando Tibán R. Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Aprobado por: Ing. Esteban López Espinel MEng. Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente		

Código: RG-RM-003
Fecha de Elaboración: 06-07-2016
Fecha de última aprobación: 17-01-2017
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO
DE MUESTRAS

Página 3 de 3

ANEXO 9

Tabla de distribución de la prueba de Fisher

Puntos críticos al 5% de la distribución F [32]

		Grados de libertad en el numerador																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	20	25	30	40	50	75	100	∞
Grados de libertad en el denominador	1	161	199	216	225	230	234	237	239	241	242	243	244	245	245	246	248	249	250	251	252	253	253	254
	2	18.5	19.0	19.2	19.2	19.3	19.3	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.4	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5	19.5
	3	10.1	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.76	8.74	8.73	8.71	8.70	8.66	8.63	8.62	8.59	8.58	8.56	8.55	8.53
	4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.94	5.91	5.89	5.87	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.70	5.68	5.66	5.63
	5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.70	4.68	4.66	4.64	4.62	4.56	4.52	4.50	4.46	4.44	4.42	4.41	4.37
	6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.03	4.00	3.98	3.96	3.94	3.87	3.83	3.81	3.77	3.75	3.73	3.71	3.67
	7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.60	3.57	3.55	3.53	3.51	3.44	3.40	3.38	3.34	3.32	3.29	3.27	3.23
	8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.31	3.28	3.26	3.24	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.02	2.99	2.97	2.93
	9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.10	3.07	3.05	3.03	3.01	2.94	2.89	2.86	2.83	2.80	2.77	2.76	2.71
	10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.94	2.91	2.89	2.86	2.85	2.77	2.73	2.70	2.66	2.64	2.60	2.59	2.54
	11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.82	2.79	2.76	2.74	2.72	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.47	2.46	2.41
	12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.72	2.69	2.66	2.64	2.62	2.54	2.50	2.47	2.43	2.40	2.37	2.35	2.30
	13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.63	2.60	2.58	2.55	2.53	2.46	2.41	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.21
	14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.48	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.24	2.21	2.19	2.13
	15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.51	2.48	2.45	2.42	2.40	2.33	2.28	2.25	2.20	2.18	2.14	2.12	2.07
	16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.46	2.42	2.40	2.37	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.12	2.09	2.07	2.01
	17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.41	2.38	2.35	2.33	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.08	2.04	2.02	1.96
	18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.37	2.34	2.31	2.29	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.04	2.00	1.98	1.92
	19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.34	2.31	2.28	2.26	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.96	1.94	1.88
	20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.31	2.28	2.25	2.22	2.20	2.12	2.07	2.04	1.99	1.97	1.93	1.91	1.84
	21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.28	2.25	2.22	2.20	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.90	1.88	1.81
	22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.26	2.23	2.20	2.17	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.87	1.85	1.78
	23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.24	2.20	2.18	2.15	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.88	1.84	1.82	1.76
	24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.22	2.18	2.15	2.13	2.11	2.03	1.97	1.94	1.89	1.86	1.82	1.80	1.73
	25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.20	2.16	2.14	2.11	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.80	1.78	1.71
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.18	2.15	2.12	2.09	2.07	1.99	1.94	1.90	1.85	1.82	1.78	1.76	1.69	
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.17	2.13	2.10	2.08	2.06	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.76	1.74	1.67	
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.15	2.12	2.09	2.06	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.75	1.73	1.65	
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.14	2.10	2.08	2.05	2.03	1.94	1.89	1.85	1.81	1.77	1.73	1.71	1.64	
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.13	2.09	2.06	2.04	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.76	1.72	1.70	1.62	
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.04	2.00	1.97	1.95	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.66	1.61	1.59	1.51	
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.95	1.92	1.89	1.86	1.84	1.75	1.69	1.65	1.59	1.56	1.51	1.48	1.39	
100	3.94	3.09	2.70	2.46	2.31	2.19	2.10	2.03	1.97	1.93	1.89	1.85	1.82	1.79	1.77	1.68	1.62	1.57	1.52	1.48	1.42	1.39	1.28	
∞	3.84	3.00	2.61	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67	1.57	1.51	1.46	1.40	1.35	1.28	1.25	1.03	

ANEXO 10

Velocidad del viento en función de la altura [38]

VELOCIDAD DEL VIENTO - ALTURA					
h(m)	V(m/s)	h(m)	V(m/s)	h(m)	V(m/s)
2789	3,60	3210	7,57	3455	12,30
2810	3,67	3216	7,89	3462	12,48
2824	3,72	3222	8,20	3469	12,25
2834	3,75	3229	8,49	3475	12,60
2843	3,76	3237	8,78	3481	12,55
2852	3,75	3244	9,04	3487	12,60
2864	3,72	3251	9,30	3494	12,48
2875	3,66	3257	9,54	3500	12,66
2885	3,58	3262	9,76	3505	12,52
2897	3,48	3267	9,97	3510	12,82
2909	3,36	3271	10,17	3513	12,86
2922	3,22	3275	10,35	3516	13,05
2935	3,05	3279	10,52	3519	13,00
2948	3,20	3282	10,67	3522	13,12
2957	3,80	3287	10,81	3524	13,15
2964	3,70	3292	10,93	3527	13,23
2970	4,05	3298	11,04	3530	13,30
2977	4,02	3305	11,14	3533	13,36
2986	4,24	3313	11,23	3536	13,43
2996	4,28	3322	11,30	3540	13,49
3007	4,33	3331	11,36	3542	13,56
3017	4,42	3340	11,43	3544	13,62
3027	4,51	3347	11,49	3547	13,54
3040	4,36	3352	11,56	3551	13,48
3052	4,45	3357	11,62	3554	13,25
3063	4,52	3363	11,69	3558	13,12
3072	4,68	3371	11,75	3561	12,95
3082	4,48	3378	11,82	3565	12,76
3092	4,70	3386	11,88	3569	12,35
3104	4,95	3394	11,95	3573	12,17
3116	4,92	3402	12,01	3578	11,92
3130	5,06	3411	12,08	3583	11,67
3144	5,44	3419	12,14	3587	11,42
3159	5,82	3426	12,21	3591	11,17
3174	6,18	3432	12,27	3596	11,02
3188	6,54	3437	12,34	3601	10,85
3198	6,90	3442	12,40	3606	10,64
3204	7,24	3448	12,47	3612	10,24

VELOCIDAD DEL VIENTO - ALTURA (Cont.)					
h(m)	V(m/s)	h(m)	V(m/s)	h(m)	V(m/s)
3617	10,28	3877	8,95	4106	7,13
3623	10,34	3885	8,95	4111	7,07
3629	10,40	3892	8,95	4117	7,03
3636	10,47	3900	8,96	4122	7,00
3642	10,54	3908	8,98	4127	6,97
3649	10,61	3915	8,99	4132	6,96
3655	10,67	3922	9,00	4137	6,94
3662	10,71	3930	9,01	4143	6,94
3668	10,74	3937	9,01	4148	6,93
3674	10,76	3944	9,01	4154	6,93
3680	10,75	3951	9,00	4160	6,92
3686	10,72	3957	8,97	4165	6,92
3692	10,67	3963	8,95	4170	6,91
3697	10,61	3970	8,91	4176	6,91
3702	10,53	3976	8,87	4181	6,91
3708	10,43	3982	8,82	4186	6,91
3714	10,33	3988	8,77	4191	6,91
3720	10,22	3994	8,73	4196	6,92
3727	10,12	4000	8,68	4202	6,94
3734	10,02	4007	8,63	4207	6,96
3741	9,92	4013	8,57	4212	6,99
3748	9,84	4019	8,52	4218	7,03
3755	9,76	4024	8,46	4223	7,07
3763	9,68	4029	8,40	4228	7,11
3770	9,62	4034	8,33	4234	7,16
3778	9,56	4039	8,26	4240	7,21
3786	9,50	4045	8,18	4246	7,25
3793	9,44	4050	8,10	4251	7,29
3800	9,38	4056	8,01	4257	7,33
3807	9,32	4061	7,92	4262	7,36
3815	9,26	4067	7,82	4268	7,38
3822	9,21	4072	7,72	4274	7,39
3830	9,15	4077	7,63	4280	7,40
3838	9,10	4081	7,53	4285	7,39
3846	9,05	4086	7,43	4291	7,38
3855	9,01	4091	7,35	4297	7,36
3862	8,98	4096	7,26	4303	7,34
3870	8,96	4102	7,19	4309	7,31

VELOCIDAD DEL VIENTO - ALTURA (Cont.)					
h(m)	V(m/s)	h(m)	V(m/s)	h(m)	V(m/s)
4315	7,29	4594	6,35	4906	7,41
4321	7,26	4602	6,36	4915	7,53
4327	7,24	4610	6,36	4923	7,66
4333	7,23	4618	6,36	4931	7,77
4339	7,22	4626	6,36	4939	7,88
4347	7,22	4633	6,36	4948	7,98
4354	7,22	4641	6,35	4956	8,07
4361	7,22	4649	6,34	4965	8,15
4367	7,22	4657	6,32	4974	8,22
4374	7,22	4664	6,30	4983	8,29
4381	7,20	4672	6,28	4990	8,35
4390	7,18	4680	6,27	4998	8,41
4399	7,13	4688	6,26	5006	8,46
4407	7,08	4696	6,25	5014	8,51
4414	7,00	4705	6,27	5022	8,57
4421	6,92	4713	6,30	5030	8,63
4428	6,82	4722	6,34	5039	8,70
4436	6,73	4729	6,40	5048	8,76
4444	6,63	4736	6,47	5056	8,83
4451	6,55	4743	6,54	5066	8,91
4458	6,47	4750	6,61	5076	8,98
4465	6,41	4758	6,68	5085	9,06
4473	6,37	4766	6,73	5095	9,13
4480	6,35	4774	6,78	5105	9,20
4488	6,34	4783	6,82	5115	9,26
4495	6,34	4792	6,84	5123	9,32
4502	6,35	4802	6,84	5131	9,37
4510	6,37	4812	6,84	5140	9,42
4517	6,38	4820	6,83	5148	9,45
4525	6,40	4828	6,83	5157	9,48
4532	6,41	4837	6,84	5167	9,51
4540	6,41	4846	6,85	5177	9,54
4547	6,41	4854	6,88	5186	9,56
4555	6,40	4863	6,93	5194	9,57
4562	6,39	4872	6,99	5202	9,60
4570	6,38	4880	7,08	5210	9,62
4579	6,37	4888	7,18	5217	9,64
4586	6,36	4897	7,29	5225	9,65

ANEXO 11

Factores Atmosféricos ISA [39]

FACTORES ATMOSFÉRICOS ISA					
ALTITUD	TEMPERATURE	PRESSURE	DENSITY	SPEED OF SOUND	VISCOSITY
h (m)	T (K)	P (N/m ²)	ρ (Kg/m ³)	a (m/s)	μ (Kg/ms)
0	288,16	101325	1,22500	340,3	1,79E-05
500	284,91	95461	1,16730	338,4	1,77E-05
1000	281,66	89876	1,11170	336,4	1,76E-05
1500	278,41	84560	1,05810	334,5	1,74E-05
2000	275,16	79501	1,00660	332,5	1,73E-05
2500	271,92	74692	0,95696	330,6	1,71E-05
3000	268,67	70121	0,90926	328,6	1,69E-05
3500	265,42	65780	0,86341	326,6	1,68E-05
4000	262,18	61660	0,81935	324,6	1,66E-05
4500	258,93	57752	0,77704	322,6	1,65E-05
5000	255,69	54048	0,73643	320,5	1,63E-05
5500	252,44	50539	0,69747	318,5	1,61E-05
6000	249,20	47217	0,66011	316,5	1,76E-05
6500	245,95	44075	0,62431	314,4	1,60E-05
7000	242,71	41105	0,59002	312,3	1,58E-05
7500	239,47	38299	0,55719	310,2	1,56E-05
8000	236,23	35651	0,52578	308,1	1,54E-05
8500	232,98	33154	0,49575	306,0	1,53E-05
9000	229,74	30800	0,46706	303,9	1,51E-05
9500	226,50	28584	0,43966	301,7	1,49E-05
10000	223,26	26500	0,41351	299,6	1,48E-05
10500	220,02	25540	0,38857	297,4	1,46E-05
11000	216,78	22700	0,36480	295,2	1,44E-05
11500	216,66	20985	0,33743	295,1	1,42E-05
12000	216,66	19399	0,31194	295,1	1,42E-05
12500	216,66	17934	0,28837	295,1	1,42E-05
13000	216,66	16579	0,26659	295,1	1,42E-05
13500	216,66	15327	0,24646	295,1	1,42E-05

FACTORES ATMOSFÉRICOS ISA (Cont.)					
ALTITUD	TEMPERATURE	PRESSURE	DENSITY	SPEED OF SOUND	VISCOSITY
h (m)	T (K)	P (N/m ²)	ρ (Kg/m ³)	a (m/s)	μ (Kg/ms)
14000	216,66	14170	0,22785	295,1	1,42E-05
14500	216,66	13101	0,21065	295,1	1,42E-05
15000	216,66	12112	0,19475	295,1	1,42E-05
16000	216,66	10353	0,16647	295,1	1,42E-05
17000	216,66	8849,6	0,14230	295,1	1,42E-05
18000	216,66	7565,2	0,12165	295,1	1,42E-05
19000	216,66	6467,4	0,10399	295,1	1,42E-05
20000	216,66	5529,3	0,08891	295,1	1,42E-05
21000	216,66	4728,9	0,07572	295,1	1,42E-05
22000	216,66	4047,5	0,06451	295,1	1,42E-05
23000	216,66	3466,9	0,05558	295,1	1,42E-05
24000	216,66	2955,4	0,04752	295,1	1,42E-05
25000	216,66	2527,3	0,04064	295,1	1,42E-05
30000	231,24	1185,5	0,01786	295,1	1,49E-05

(Fuente: Brandt, Steven A. (2004). *Introduction to Aeronautics: A Design Perspective*. (2^a Ed.). AIAA Education Series.)

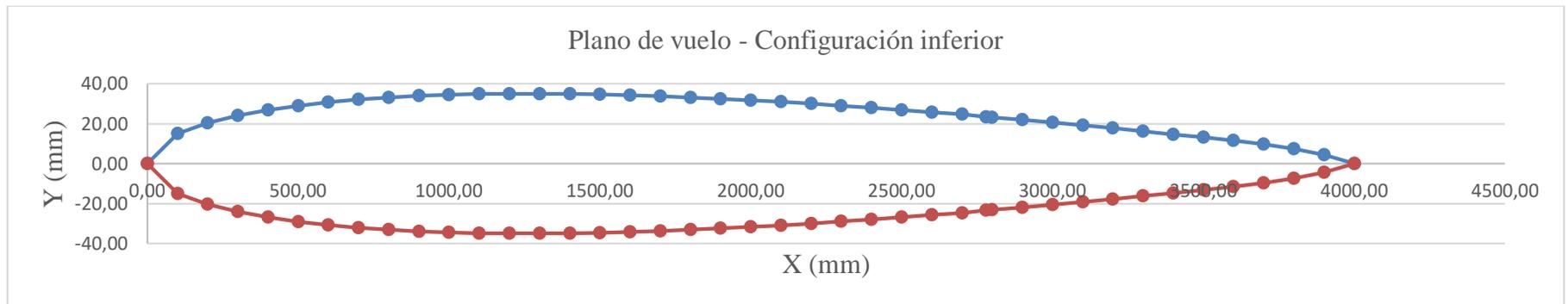
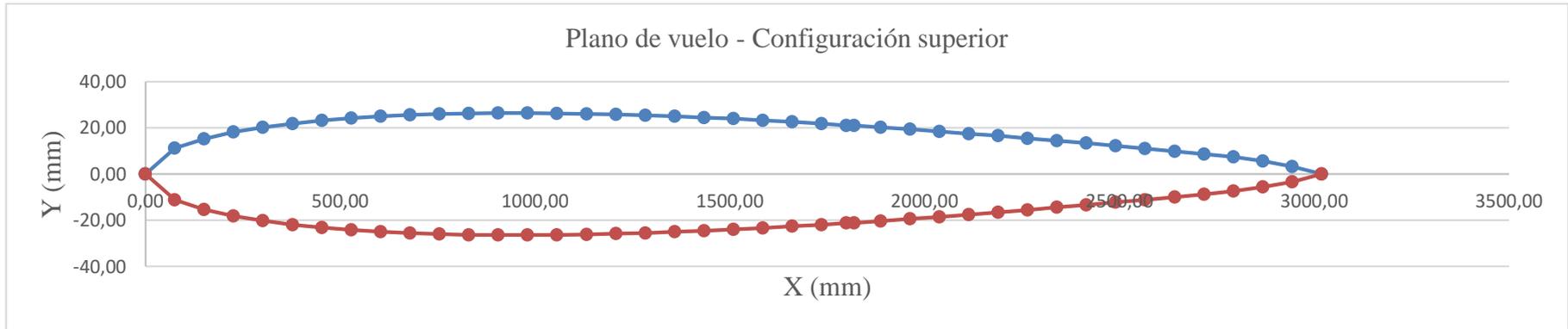
ANEXO 12

Coordenadas plano de vuelo [38]

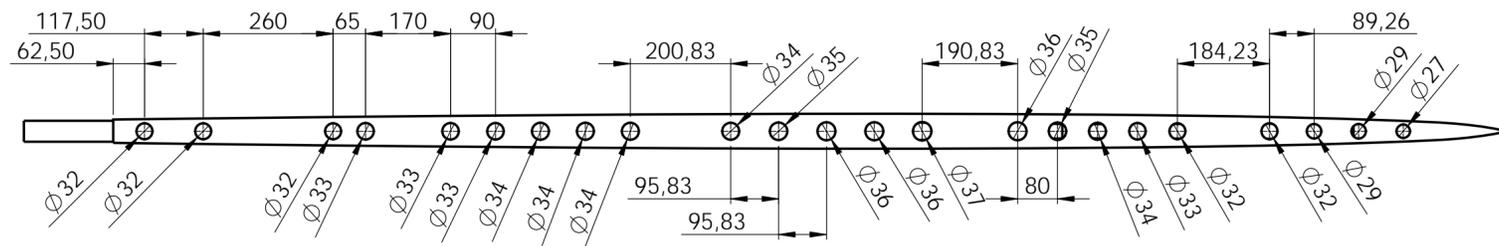
PLANO DE VUELO					
CONFIGURACIÓN SUPERIOR			CONFIGURACIÓN INFERIOR		
X (mm)	Y (mm)		X (mm)	Y (mm)	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75,50	11,26	-11,26	100,00	14,92	-14,92
151,00	15,33	-15,33	200,00	20,31	-20,31
226,50	18,14	-18,14	300,00	24,03	-24,03
302,00	20,26	-20,26	400,00	26,86	-26,86
377,50	21,91	-21,91	500,00	29,02	-29,02
453,00	23,21	-23,21	600,00	30,74	-30,74
528,50	24,23	-24,23	700,00	32,09	-32,09
604,00	25,01	-25,01	800,00	33,15	-33,15
679,50	25,60	-25,60	900,00	33,91	-33,91
755,00	26,02	-26,02	1000,00	34,46	-34,46
830,50	26,28	-26,28	1100,00	34,81	-34,81
906,00	26,41	-26,41	1200,00	34,98	-34,98
981,50	26,43	-26,43	1300,00	35,00	-35,00
1057,00	26,33	-26,33	1400,00	34,87	-34,87
1132,50	26,13	-26,13	1500,00	34,61	-34,61
1208,00	25,84	-25,84	1600,00	34,23	-34,23
1283,50	25,48	-25,48	1700,00	33,75	-33,75
1359,00	25,04	-25,04	1800,00	33,16	-33,16
1434,50	24,52	-24,52	1900,00	32,48	-32,48
1510,00	23,95	-23,95	2000,00	31,72	-31,72
1585,50	23,31	-23,31	2100,00	30,88	-30,88
1661,00	22,63	-22,63	2200,00	29,97	-29,97
1736,50	21,89	-21,89	2300,00	28,99	-28,99
1800,00	21,12	-21,12	2400,00	27,95	-27,95
1820,00	21,10	-21,10	2500,00	26,85	-26,85
1887,50	20,27	-20,27	2600,00	25,69	-25,69
1963,00	19,40	-19,40	2700,00	24,84	-24,84
2038,50	18,48	-18,48	2780,00	23,38	-23,38
2114,00	17,53	-17,53	2800,00	23,22	-23,22
2189,50	16,54	-16,54	2900,00	21,91	-21,91
2265,00	15,52	-15,52	3000,00	20,55	-20,55
2340,50	14,46	-14,46	3100,00	19,15	-19,15
2416,00	13,37	-13,37	3200,00	17,71	-17,71
2491,50	12,25	-12,25	3300,00	16,22	-16,22
2567,00	11,08	-11,08	3400,00	14,68	-14,68
2642,50	9,89	-9,89	3500,00	13,10	-13,10
2718,00	8,67	-8,67	3600,00	11,48	-11,48
2793,50	7,41	-7,41	3700,00	9,81	-9,81
2869,00	5,66	-5,66	3800,00	7,50	-7,50
2944,50	3,32	-3,32	3900,00	4,40	-4,40
3020,00	0,00	0,00	4000,00	0,00	0,00

ANEXO 13

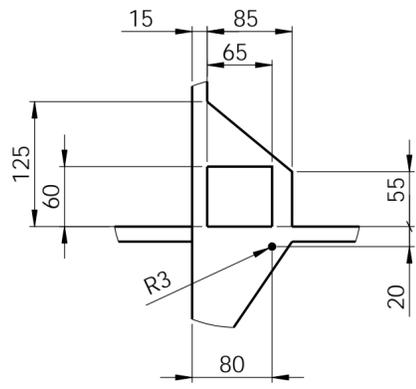
Perfil geométrico plano de vuelo [38]



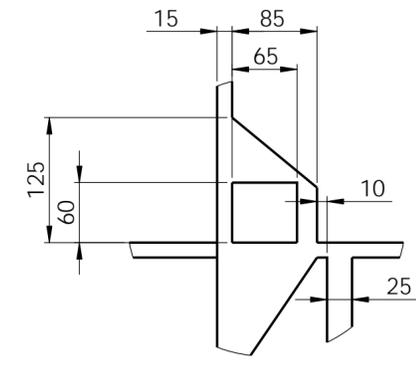
PLANOS



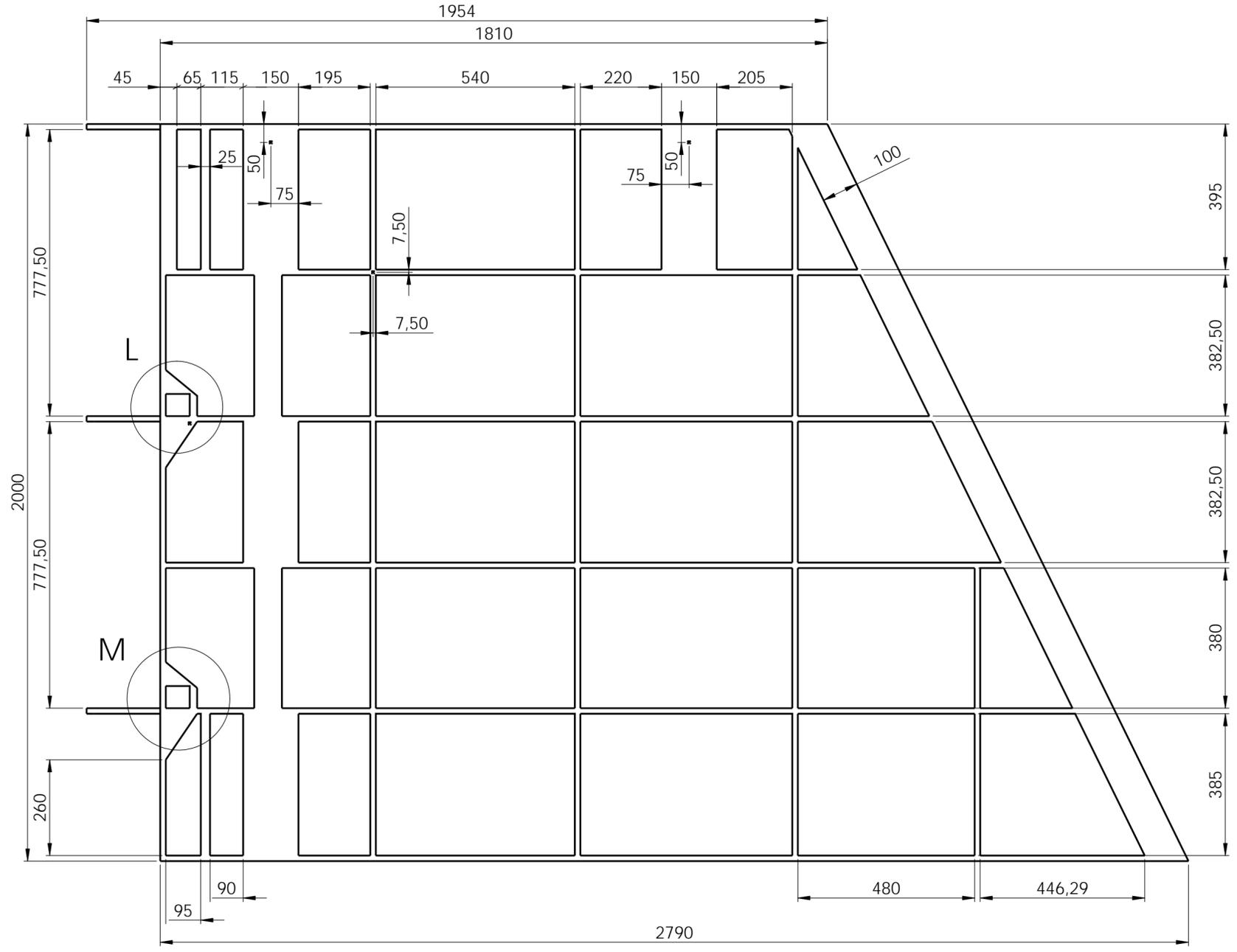
N2



DETALLE L
ESCALA 1 : 5



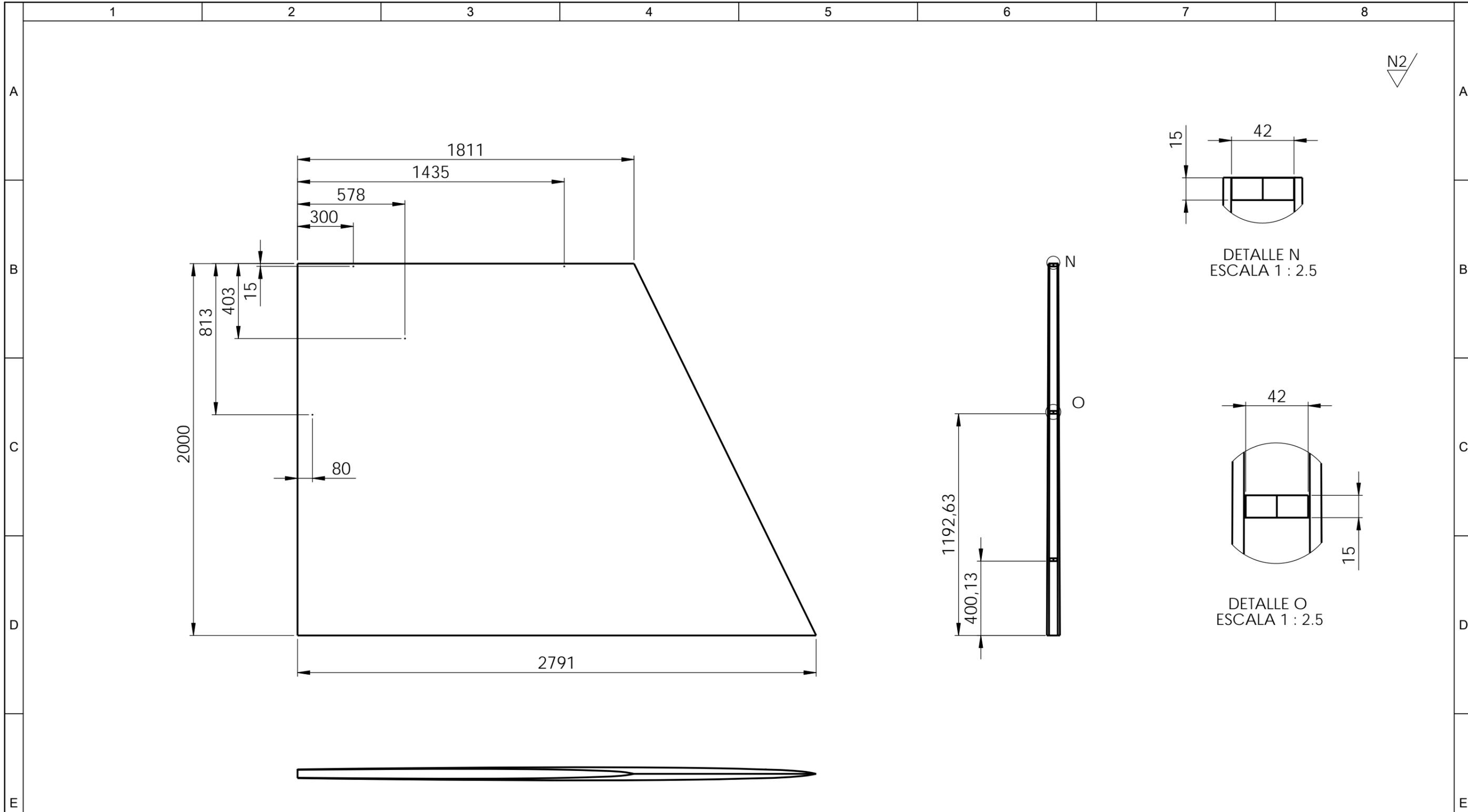
DETALLE M
ESCALA 1 : 5



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	5.85 Kg	Balsa	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				19/6/2019	Ing. Pineda G.	PERFIL VERTICAL	
				Revisó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	ESTRUCTURA PARTE FIJA
				Aprobó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	
				UTA		Número del dibujo:	02 de 12
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
				Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Escala:
1:10





N2

					Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
					±1	0.44 Kg	Monokote	
						Fecha	Nombre	Denominación:
					Dibujó:	19/6/2019	Ing. Pineda G.	PERFIL VERTICAL RECUBRIMIENTO PARTE FIJA
					Revisó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	
					Aprobó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	
					UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo:	03 de 12
							(Sustitución)	
								Escala: 1:20
Edición	Modificación	Fecha	Nombre					

F

1 2 3 4

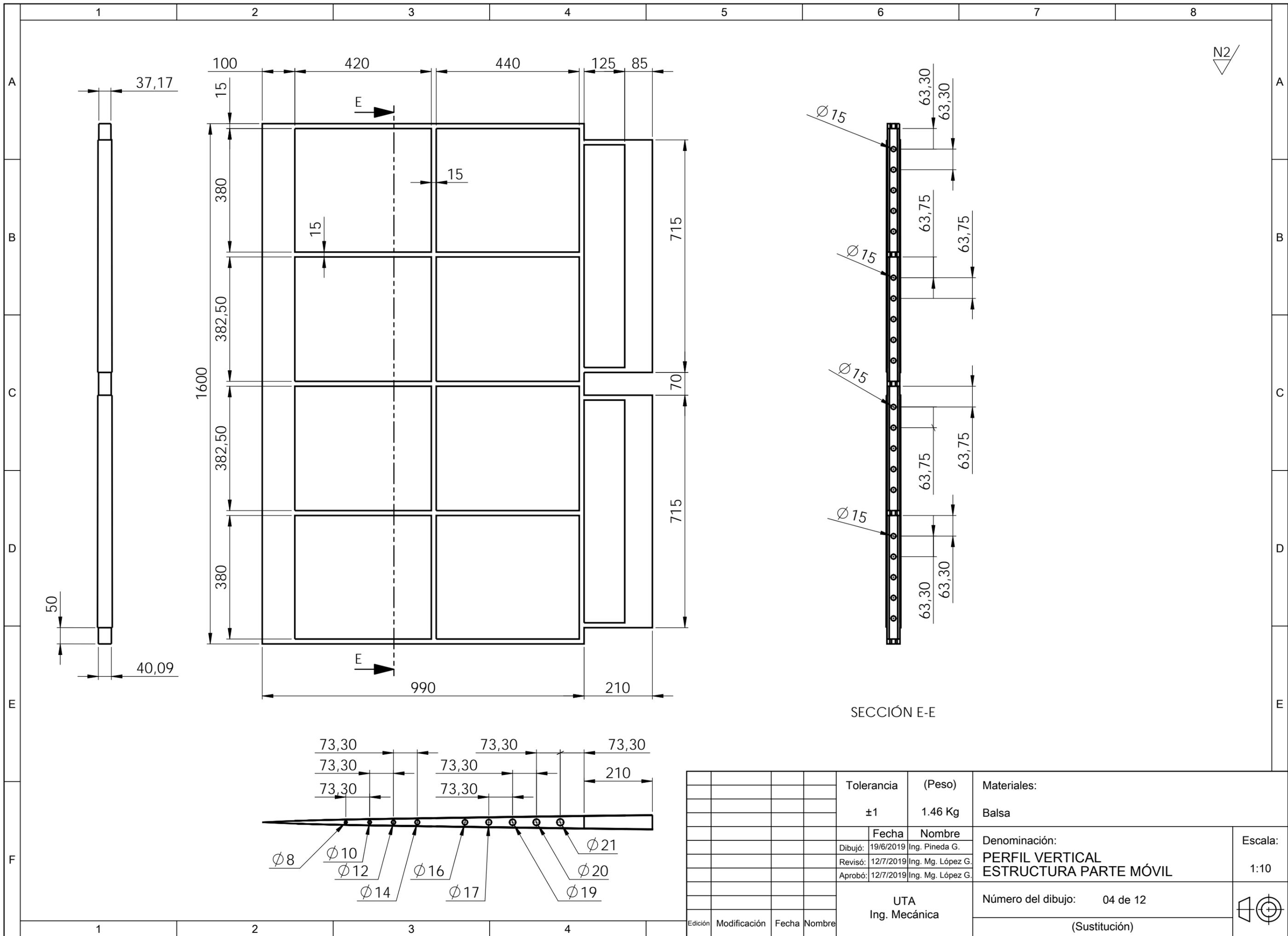
E

D

C

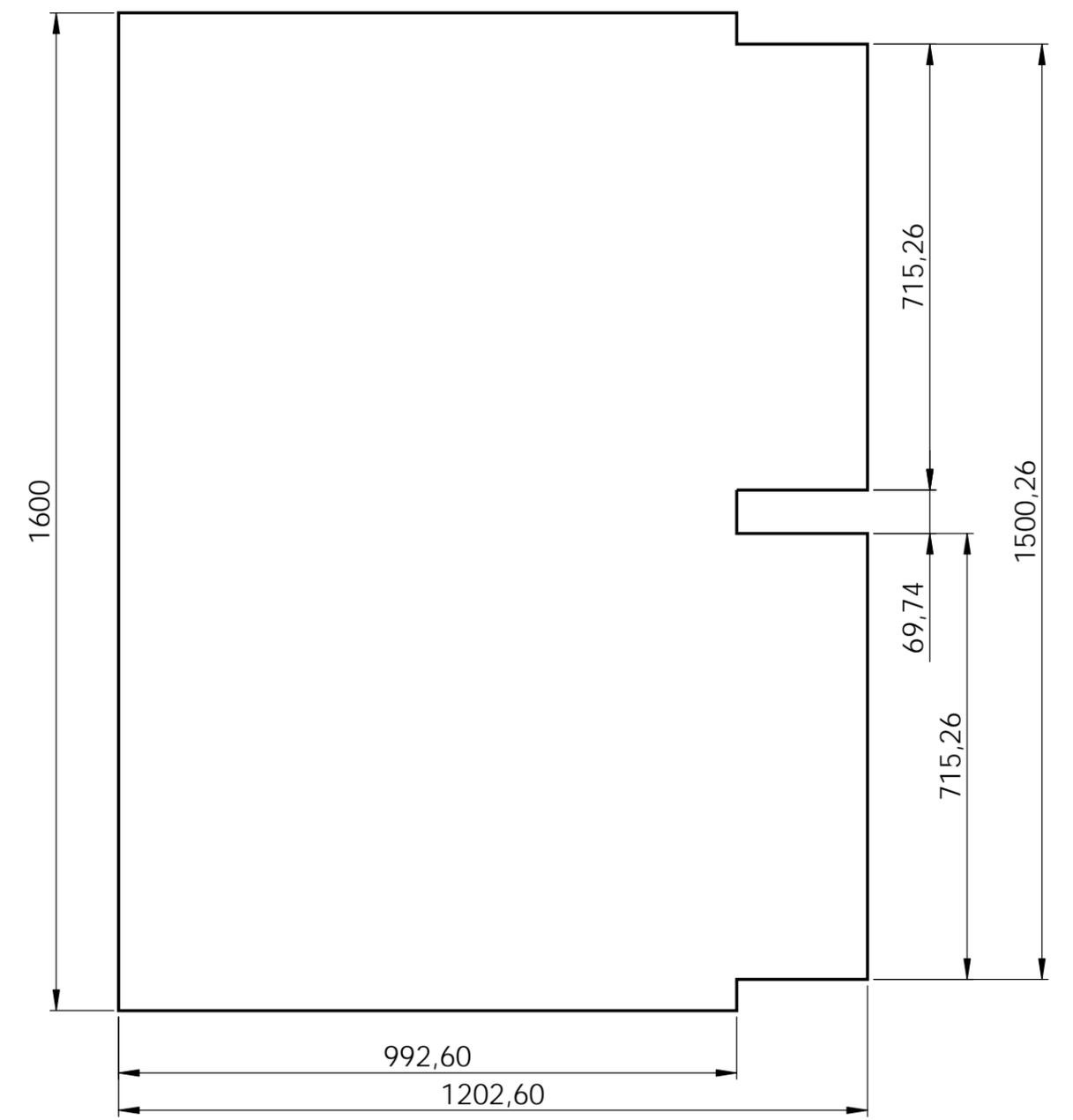
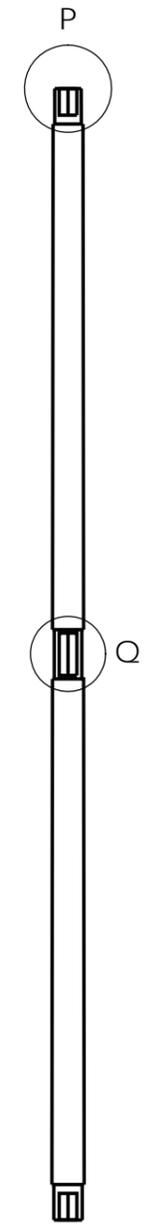
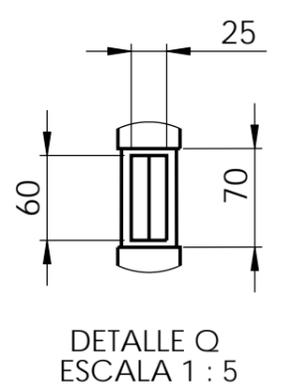
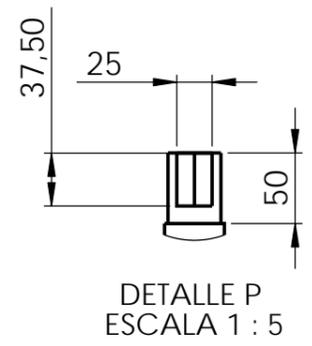
B

A



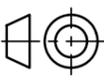
SECCIÓN E-E

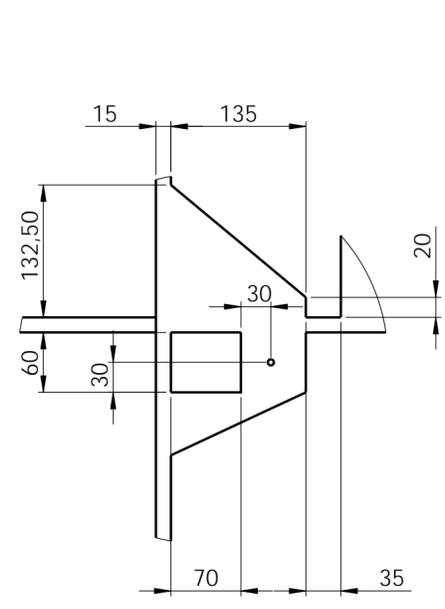
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	1.46 Kg	Balsa	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				Dibujó: 19/6/2019	Ing. Pineda G.	PERFIL VERTICAL	
				Revisó: 12/7/2019	Ing. Mg. López G.	ESTRUCTURA PARTE MÓVIL	
				Aprobó: 12/7/2019	Ing. Mg. López G.	Escala:	
				UTA		Número del dibujo: 04 de 12	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



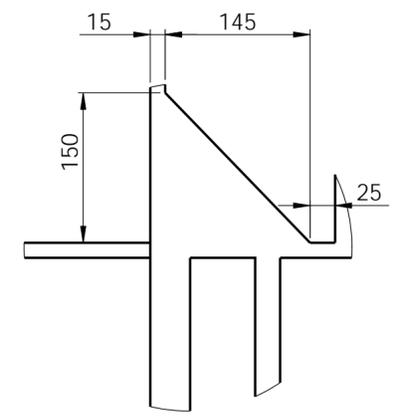
N2

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0.177 Kg	Monokote	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	19/6/2019	Ing. Pineda G.	PERFIL VERTICAL RECUBRIMIENTO PARTE MÓVIL
				Revisó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	
				Aprobó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	
				UTA		Número del dibujo: 05 de 12	
				Ing. Mecánica		(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala: 1:10

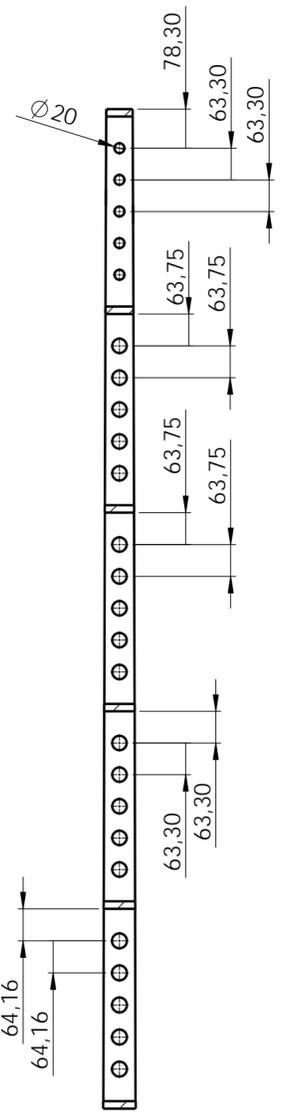
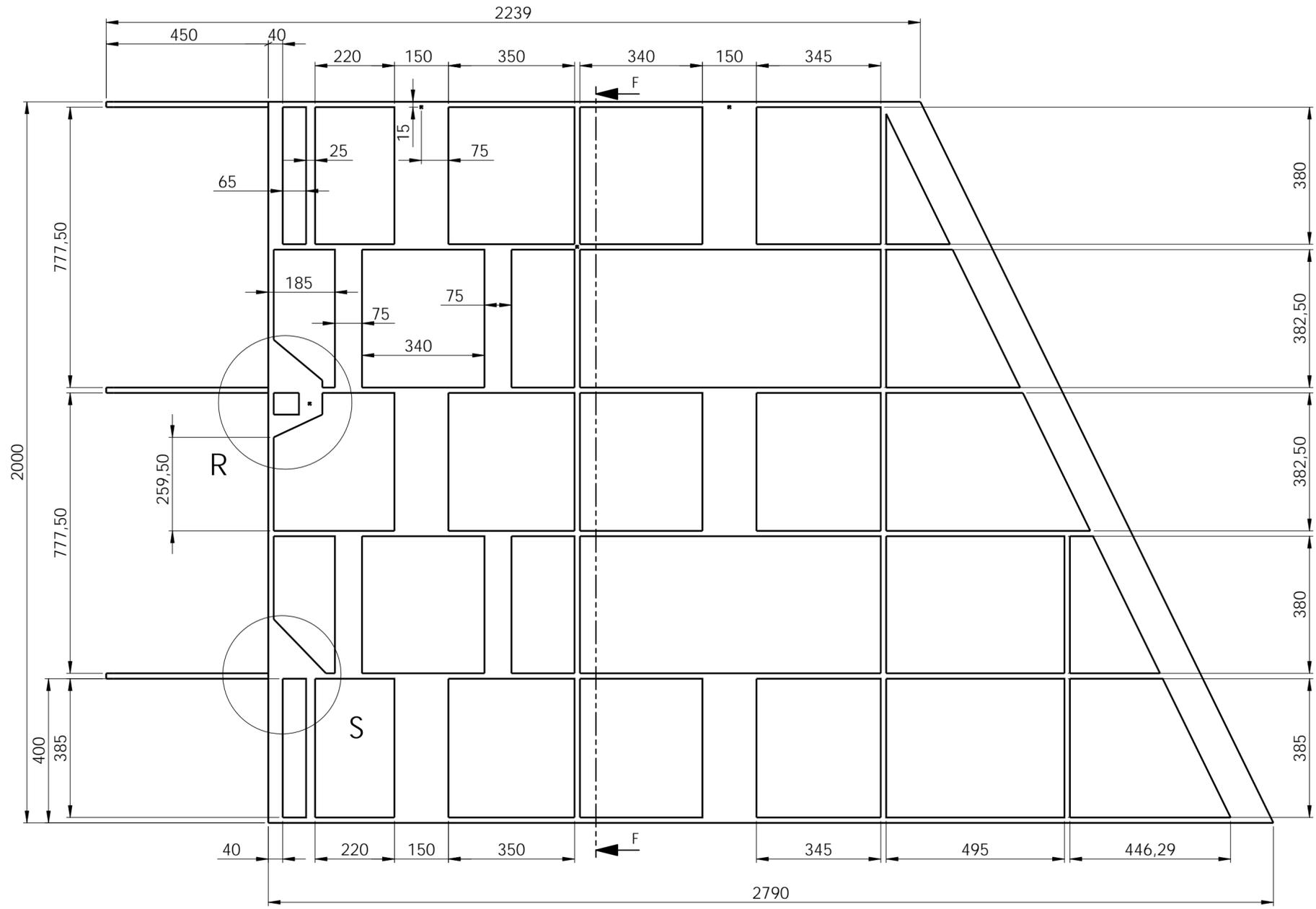




DETALLE R
ESCALA 1 : 5

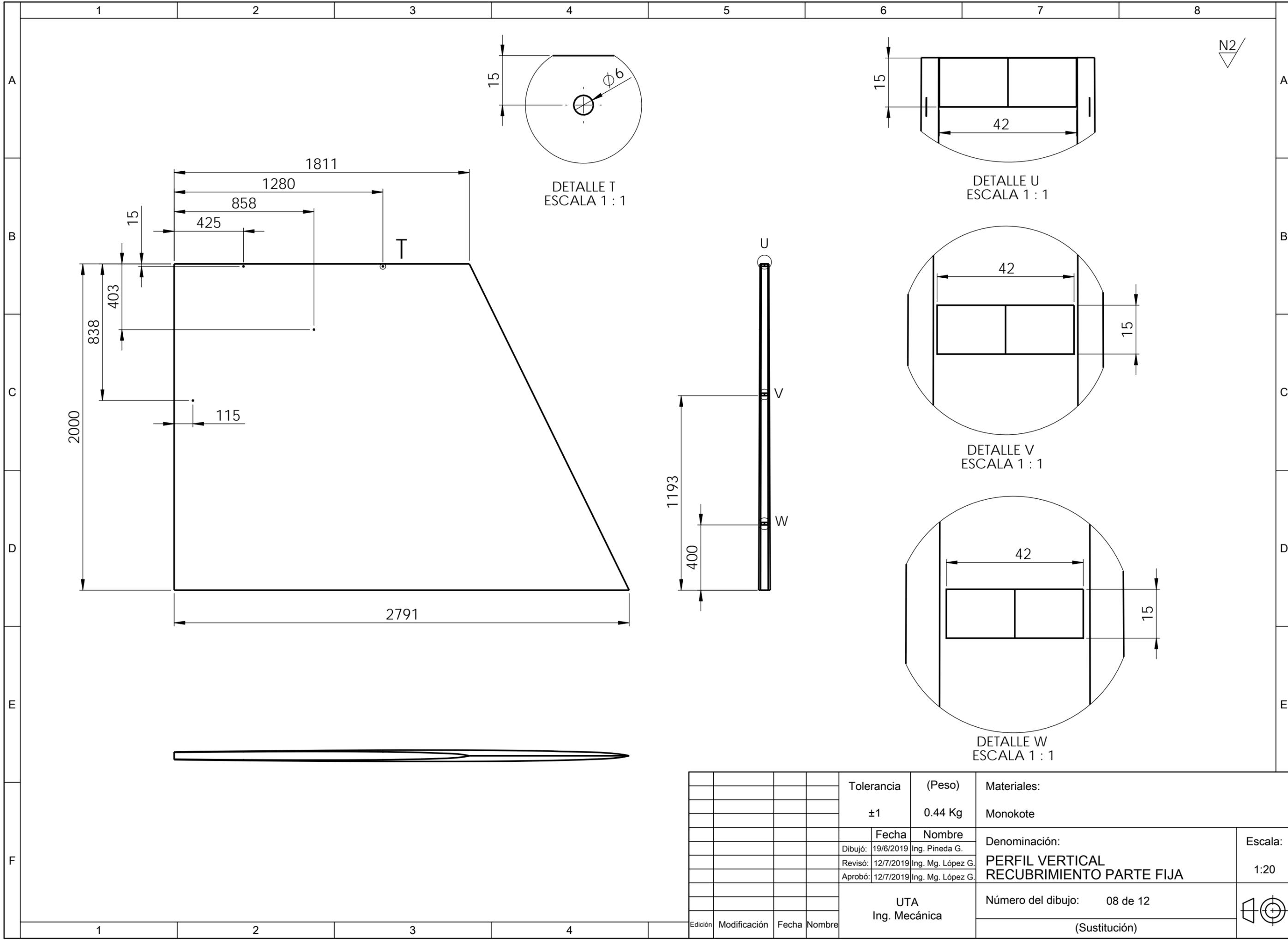


DETALLE S
ESCALA 1 : 5



SECCIÓN F-F

				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	7.65 Kg	Balsa	
				Fecha	Nombre	Denominación:	
				19/6/2019	Ing. Pineda G.	PERFIL HORIZONTAL ESTRUCTURA PARTE FIJA	
				Revisó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	Escala: 1:10
				Aprobó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 07 de 12	
						(Sustitución)	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



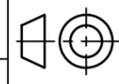
DETALLE T
ESCALA 1 : 1

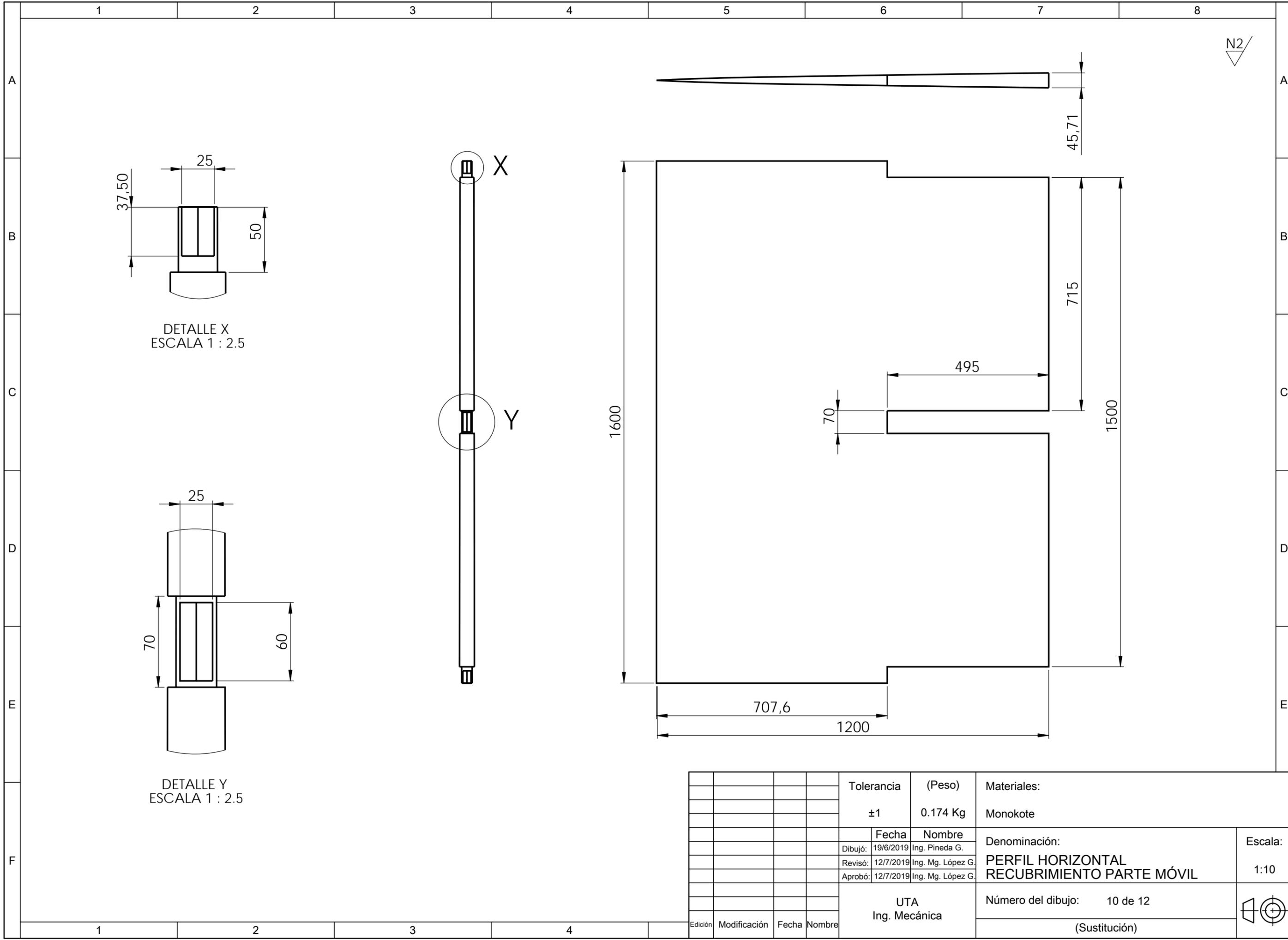
DETALLE U
ESCALA 1 : 1

DETALLE V
ESCALA 1 : 1

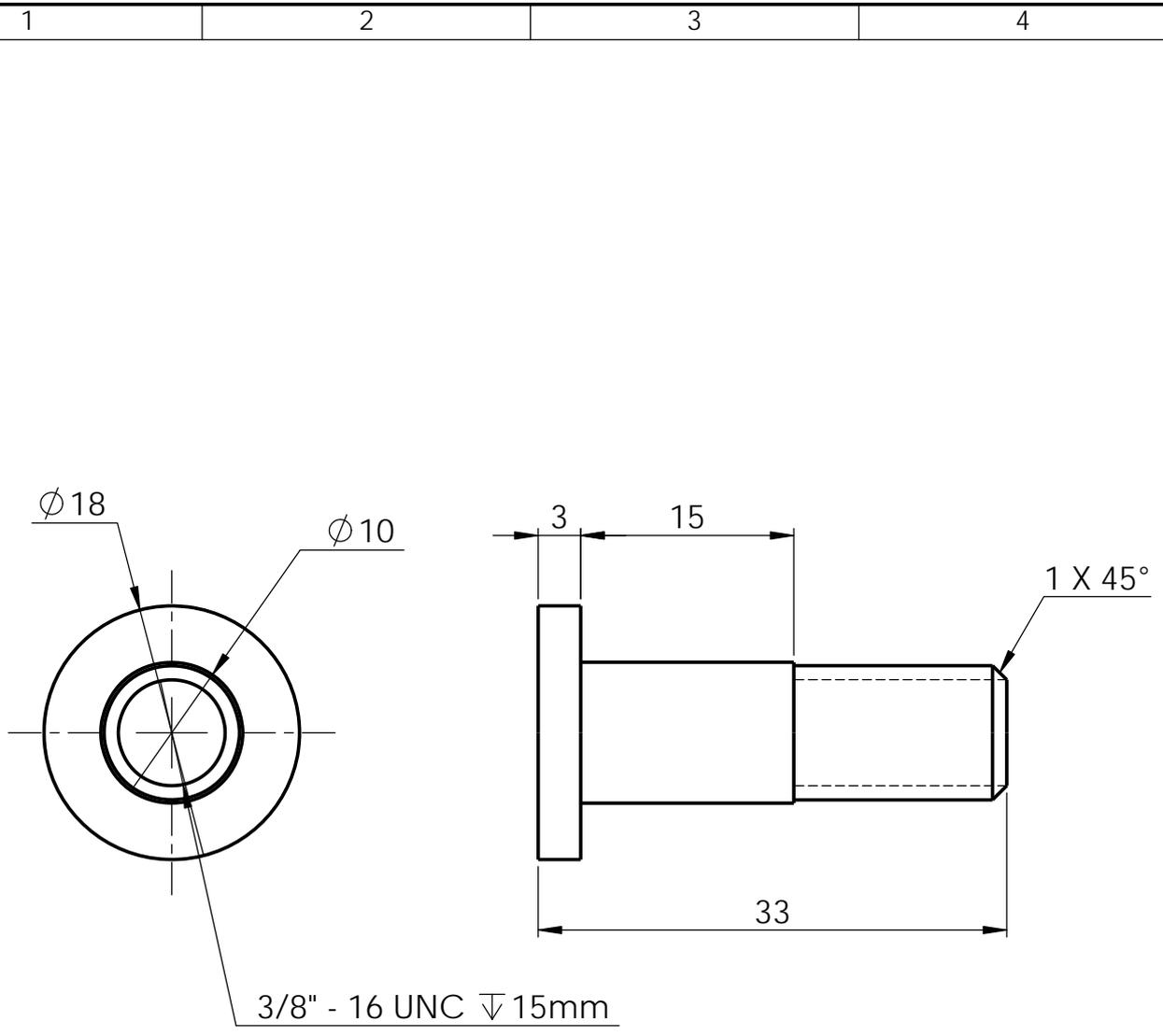
DETALLE W
ESCALA 1 : 1

					Tolerancia	(Peso)	Materiales:		
					±1	0.44 Kg	Monokote		
						Fecha	Nombre	Denominación: PERFIL VERTICAL RECUBRIMIENTO PARTE FIJA	
						Dibujó: 19/6/2019	Ing. Pineda G.		
						Revisó: 12/7/2019	Ing. Mg. López G.		
						Aprobó: 12/7/2019	Ing. Mg. López G.	Número del dibujo: 08 de 12	
						UTA Ing. Mecánica			
					Edición	Modificación	Fecha	Nombre	Escala: 1:20
									(Sustitución)





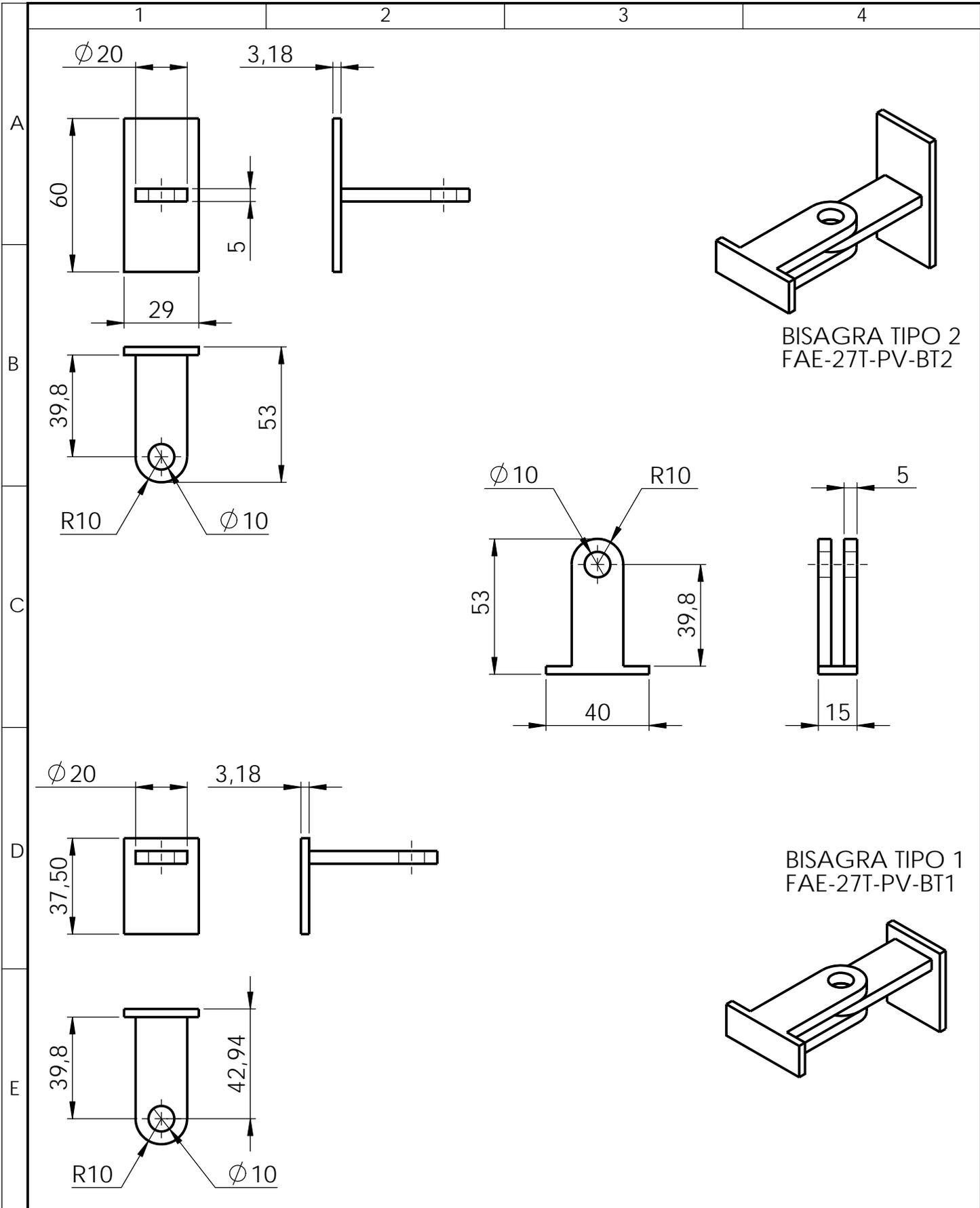
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±1	0.174 Kg	Monokote	
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	19/6/2019	Ing. Pineda G.	
				Revisó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	
				Aprobó:	12/7/2019	Ing. Mg. López G.	PERFIL HORIZONTAL RECUBRIMIENTO PARTE MÓVIL
				UTA Ing. Mecánica		Número del dibujo: 10 de 12	
						(Sustitución)	Escala: 1:10
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



A
B
C
D
E

1 2 3 4

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 8,09 gr	MATERIAL: Aleación Al-Zn1%	
						TÍTULO: PASADOR - REDISEÑO	ESCALA: 2:1
				DIBUJO:	19/6/2019	Ing. Pineda G.	
				REVISO:	12/7/2019	Ing. Mg. López G	
				APROBO:	12/7/2019	Ing. Mg. López G	
				U.T.A.		N.º DE LAMINA HOJA 11 DE 12	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	INGENIERIA MECANICA		SUSTITUCION:	



BISAGRA TIPO 2
FAE-27T-PV-BT2

BISAGRA TIPO 1
FAE-27T-PV-BT1

				TOLERANCIA: ±1	PESO: 105,31 gr	MATERIAL: Aleación 1060		
						TÍTULO: BISAGRAS	ESCALA: 1:2	
				DIBUJO: 19/6/2019	Ing. Pineda G.		N.º DE LAMINA HOJA 12 DE 12	REGISTRO:
				REVISO: 12/7/2019	Ing. Mg. López G.			SUSTITUCION:
				APROBO: 12/7/2019	Ing. Mg. López G.			
EDICIÓN:	MODIFICACION:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERIA MECANICA				